

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเบื้องต้นโดยสารรวมตะกอนและไมโครฟิลเตรชัน

อรุณ พันธุ์กว้าง

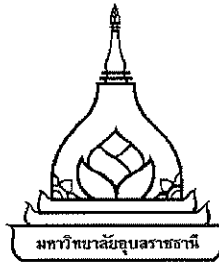
การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



**PERFORMANCE OF PRETREATMENT USING COAGULATION AND
MICROFILTRATION**

AROON PHANKWANG

**AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
MAJOR IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
YEAR 2011**

COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองการค้นคว้าอิสระ
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเบื้องต้นโดยสารรวมตะกอนและไมโครฟิลเตรชัน

ผู้วิจัย นางสาวอรุณ พันธุ์กว้าง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัฒน์พงษ์ มัตราข)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์)

..... กรรมการ
(ดร.กรรณิภา รัตนพงศ์เลขา)

..... คณบดี
(รองศาสตราจารย์ ดร.สถาพร โทคา)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ
ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2554

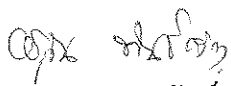
กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้ได้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยเพราะความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวัฒน์พงษ์ มัตราช อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการค้นคว้าและแก้ไขปัญหา

ขอขอบพระคุณประธานหลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษาเกี่ยวกับขอบเขตของการค้นคว้าอิสระและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่จะทำให้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมถึงเจ้าหน้าที่ธุรการบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่กรุณาช่วยเหลือในระหว่างดำเนินงานการค้นคว้าอิสระครั้งนี้

ขอขอบคุณ เพื่อนร่วมงานบริษัท เอส. เอส. การสุรา ทุกท่านที่ให้กำลังใจ ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกรุ่น เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และที่สำคัญเพื่อนๆ รุ่น 3 ที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการศึกษาครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อไพฑูล – คุณแม่กิสหนา พันธุ์กว้าง และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้สนับสนุนและคอยให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา


(นางสาวอรุณ พันธุ์กว้าง)
ผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 คุณสมบัติของน้ำดิบตามธรรมชาติ	4
2.2 กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และฟล็อกกูเลชัน (Flocculation)	10
2.3 กระบวนการเมมเบรน	15
2.4 ประเภทของเมมเบรน	17
2.5 ชนิดของเมมเบรน	19
2.6 หลักการกรองผ่านเมมเบรน	20
2.7 กลไกของการกรอง	20
2.8 กระบวนการแยกสารของเมมเบรน	21
2.9 ข้อจำกัดของกระบวนการเมมเบรน	23
2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเมมเบรน	25
2.11 กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน (MF)	26
2.12 กลไกการทำงานของกระบวนการ MF	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.13 ลักษณะการกรองในกระบวนการ MF	31
2.14 สรุปลักษณะทั่วไปของไมโครฟิลเตรชัน	32
2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
3 ระเบียบและวิธีดำเนินการ	
3.1 การเตรียมน้ำตัวอย่าง	38
3.2 ขั้นตอนการทำจาร์เทส	39
3.3 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ศึกษา	40
3.3.1 เครื่องมือ	40
3.3.2 วัสดุอุปกรณ์	44
3.3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	44
3.4 การเตรียมสารเคมี	45
3.5 วิธีการเก็บน้ำตัวอย่าง	45
3.6 การทดลอง	46
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล	46
4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
4.1 คุณลักษณะของน้ำตัวอย่าง	48
4.2 ประสิทธิภาพของชนิดสารเคมีที่มีผลต่อการลดค่าความขุ่น	49
4.3 ผลของ pH ที่มีผลต่อการลดค่าความขุ่น	54
4.4 ประสิทธิภาพของชนิดสารเคมีที่มีผลต่อการลดลงของฟลักซ์	57
4.5 ผลของ pH ที่มีผลต่อการลดลงของฟลักซ์	60
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	63
5.2 ข้อเสนอแนะ	65
เอกสารอ้างอิง	66

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	
ก ความเหมาะสมของสารเคมีในการดำเนินระบบของ น้ำผิวดินผ่านเมมเบรน	72
ข pH ที่เหมาะสมของ สารเคมีในการดำเนินระบบของ น้ำผิวดินผ่านเมมเบรน	76
ค ความเหมาะสมของสารเคมีในการดำเนินระบบของ น้ำสังเคราะห์ผ่านเมมเบรน	80
ง pH ที่เหมาะสมของ สารเคมีในการดำเนินระบบของ น้ำสังเคราะห์ผ่านเมมเบรน	84
จ ความเหมาะสมของสารเคมีที่มีผลในการลดลงของฟลักซ์ ของน้ำผิวดิน	88
ฉ pH ที่เหมาะสมของสารเคมีที่มีผลในการลดลงของฟลักซ์ ของน้ำผิวดิน	92
ช ความเหมาะสมของสารเคมีที่มีผลในการลดลงของฟลักซ์ ของน้ำสังเคราะห์	96
ซ pH ที่เหมาะสมของสารเคมีที่มีผลในการลดลงของฟลักซ์ ของน้ำสังเคราะห์	100
ฅ วิธีคำนวณเตรียมสารเคมี	104
ประวัติผู้วิจัย	108

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ข้อมูลความขุ่นของน้ำประเภทต่าง ๆ	4
2.2	แสดงคุณสมบัติของโพลีเมอร์ที่ใช้ทำเมมเบรน	5
2.3	สรุปลักษณะทั่วไปของไมโครฟิลเตรชัน	30
3.1	ค่าความเข้มข้นเกลือกับความขุ่น	35
4.1	คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของแหล่งน้ำ	37
4.2	ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของสารเคมีช่วยในการสร้างและรวมตะกอนของสาร $Al_2(SO_4)_3$	47
4.3	ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของสารเคมีช่วยในการสร้างและรวมตะกอนของสาร $FeCl_3$	48
4.4	ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของสารเคมีช่วยในการสร้างและรวมตะกอนของสาร PACI	49
4.5	ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในการหา pH ที่เหมาะสมของสารเคมีช่วยในการสร้างและรวมตะกอนของสาร $Al_2(SO_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 200 mg/l ของน้ำผิวดิน และที่ความเข้มข้น 400 mg/l ของน้ำสังเคราะห์	51
4.6	ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในการหา pH ที่เหมาะสมของสารเคมีช่วยในการสร้างและรวมตะกอนของสาร $FeCl_3$	52
4.7	ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในการหา pH ที่เหมาะสมของสารเคมีช่วยในการสร้างและรวมตะกอนของสาร PACI ของน้ำสังเคราะห์	53
ก.1	ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหาความเหมาะสมของ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน	54
ก.2	ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหาความเหมาะสมของ $FeCl_3$ ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	72
ก.3	ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหาความเหมาะสมของ PACI ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.1	ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหา pH ที่ เหมาะสมของ pH 4, 5, 7, 9 และ 10 ของสาร $Al_2(SO_4)_3$ ที่ ความเข้มข้น 200 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบ ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	76
ข.2	ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหา pH ที่ เหมาะสมของ pH 4, 5, 7, 9 และ 10 ของ $FeCl_3$ ที่ ความเข้มข้น 200 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบ ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	77
ข.3	ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหา pH ที่ เหมาะสมของ pH 4, 5, 7, 9 และ 10 ของ PACl ที่ความเข้มข้น 400 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบ ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	78
ค.1	ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหาความเหมาะสมของ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบ ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	80
ค.2	ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหาความเหมาะสมของ $FeCl_3$ ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบ ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	81
ค.3	ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหาความเหมาะสมของ PACl ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบ ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	82
ง.1	ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหา pH ที่ เหมาะสมของ pH 4, 5, 7, 9 และ 10 ของ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 200 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบ ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	84
ง.2	ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหา pH ที่ เหมาะสมของ pH 4, 5, 7, 9 และ 10 ของ $FeCl_3$ ที่ความเข้มข้น 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบ ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	85
ง.3	ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหา pH ที่ เหมาะสมของ pH 4, 5, 7, 9 และ 10 ของ PACl ที่ความเข้มข้น 400 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบ ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	86

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
จ.1	ผลการลดลงของฟลักซ์ ในการหาความเหมาะสมของ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	88
จ.2	ผลการลดลงของฟลักซ์ ในการหาความเหมาะสมของ $FeCl_3$ ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	89
จ.3	ผลการลดลงของฟลักซ์ ในการหาความเหมาะสมของ PACl ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	90
ฉ.1	ผลการลดลงของฟลักซ์ ในการหา pH ที่เหมาะสมของ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ pH 4, 5, 7, 9 และ 10 ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	92
ฉ.2	ผลการลดลงของฟลักซ์ ในการหา pH ที่เหมาะสมของ $FeCl_3$ ที่ pH 4, 5, 7, 9 และ 10 ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	93
ฉ.3	ผลการลดลงของฟลักซ์ ในการหา pH ที่เหมาะสมของ PACl ที่ pH 4, 5, 7, 9 และ 10 ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	94
ช.1	ผลการลดลงของฟลักซ์ ในการหาความเหมาะสมของ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	96
ช.2	ผลการลดลงของฟลักซ์ ในการหาความเหมาะสมของ $FeCl_3$ ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	97
ช.3	ผลการลดลงของฟลักซ์ ในการหาความเหมาะสมของ PACl ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	98

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ซ.1	ผลการทดลองของฟลักซ์ ในการหาความเหมาะสมของ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	100
ซ.2	ผลการทดลองของฟลักซ์ ในการหาความเหมาะสมของ $FeCl_3$ ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	102
ซ.3	ผลการทดลองของฟลักซ์ ในการหาความเหมาะสมของ PACl ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi	103

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
2.1	เปรียบเทียบการกรองน้ำผ่านแผ่นกรองธรรมดา กับแผ่นเมมเบรน	16
2.2	ประเภทของเมมเบรนตามโครงสร้างของเมมเบรน	17
2.3	การเกิด Concentration Polarization บนผิวเมมเบรน	24
2.4	เส้นโค้งการกักของเมมเบรนไมโครฟิลเตรชันสองแบบ	28
3.1	ชุดทดลอง พร้อมถังบรรจุก๊าซไนโตรเจน และอุปกรณ์ในการทดลอง	40
3.2	ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน Sartor us membrane filter ชนิด Cellulose Nitrate	40
3.3	เครื่องจาร์เทส (Jar test)	41
3.4	เครื่องมือวิเคราะห์ค่าพีเอช	41
3.5	เครื่องมือวิเคราะห์ค่าความขุ่น	42
3.6	เครื่องมือวิเคราะห์ค่า Total Organic Carbon	42
3.7	เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง	43
3.8	เตาเผาอุณหภูมิ 500° C	43
3.9	ขั้นตอนในการทดลอง	47
4.1	ค่าฟลักซ์กับเวลาที่ความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ของน้ำผิวดิน	58
4.2	ค่าฟลักซ์กับเวลาที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	59
4.3	ค่าฟลักซ์กับเวลาที่ pH ต่าง ๆ ของน้ำผิวดิน	60
4.4	ค่าฟลักซ์กับเวลาที่ pH ต่าง ๆ ของน้ำสังเคราะห์	62

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเบื้องต้นโดยสารรวมตะกอนและไมโครฟิลเตรชัน
 โดย : อรุณ พันธุ์กว้าง
 ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
 สาขาวิชา : วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
 ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวัฒน์พงษ์ มัตราช

ศัพท์สำคัญ : การตกตะกอน เยื่อกรอง ไมโครฟิลเตรชัน

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเบื้องต้น โดยสารรวมตะกอนและไมโครฟิลเตรชัน โดยการนำน้ำผิวดินที่มีความขุ่นต่ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติหนองอีเจมในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี น้ำผิวดินนำมาผ่านการบำบัดน้ำเบื้องต้นด้วยกระบวนการรวมตะกอนโดยใช้อะลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) เฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) และ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PACI) จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นไปผ่านกระบวนการกรองเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชัน โดยทำการศึกษานิตสารเคมีและค่า pH ที่มีผลต่อการลดค่าฟลักซ์และการกำจัดความขุ่นของน้ำผิวดิน ผลการศึกษพบว่าสารเคมีที่ทำให้การลดลงของฟลักซ์น้อยที่สุดได้แก่สาร $FeCl_3$ ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร สาร $Al_2(SO_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และสาร PACI ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ประมาณร้อยละ 25.96, 25.88 และ 18.35 ตามลำดับ ค่าการกำจัดความขุ่นของสาร $FeCl_3$ ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร สาร PACI ที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ประมาณร้อยละ 44.87, 43.67 และ 36.14 ตามลำดับ

ค่าการลดลงของฟลักซ์น้อยที่สุดของสาร PACI คือที่ค่า pH 5 ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับสาร $Al_2(SO_4)_3$ คือที่ pH 4 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และสาร $FeCl_3$ คือที่ pH 7 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ค่าเท่ากับร้อยละ 17.35, 14.07 และ 6.61 ตามลำดับ ค่าการกำจัดความขุ่นที่สูงที่สุดได้แก่สาร $Al_2(SO_4)_3$ ที่ค่า pH 4 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร สาร $FeCl_3$ ที่ pH 7 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และสาร PACI ที่ pH 4 ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งให้ค่าการกำจัดความขุ่นเท่ากับร้อยละ 85.62, 49.56 และ 31.04 ตามลำดับ

ABSTRACT

TITLE : PERFORMANCE OF PRETREATMENT USING COAGULATION AND
MICRO FILTRATION

BY : AROON PHANKWANG

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : ENVIRONMENTAL ENGINEERING

CHAIR : ASST. PROF. SUPATPONG MATTARAJ, Ph.D.

KEYWORDS : COAGULATION / MEMBRANE / MICROFILTRATION

This research studied the pretreatment efficiency of water treatment using coagulation and microfiltration. Surface water containing low turbidity was obtained from natural water at Nong E-Jame in the campus of Ubon Ratchathani University. Surface was pretreated by coagulation process using aluminium sulphate, ferric chloride, and polyaluminium chloride. The pretreated water was subsequently passed through microfiltration membrane. Chemical types and solution pH were selected to determine the effect of flux decline and turbidity rejection of surface water. Experimental results revealed that chemicals which provided the least flux decline were ferric chloride (at 200 mg/L), aluminium sulphate (at 200 mg/L) and polyaluminium chloride (at 400 mg/L) about 25.96%, 25.88%, and 18.35%, respectively. The turbidity rejections of ferric chloride (at 200 mg/L), polyaluminium sulphate (300 mg/L), and aluminium sulphate (200 mg/L) were about 44.87%, 43.67%, and 36.14%, respectively.

The least flux declines of polyaluminium chloride (at pH 5 and 400 mg/L), aluminium sulphate (at pH 4 and 200 mg/L) and ferric chloride (at pH 7 and 200 mg/L) were 17.35%, 14.07% and 6.61%, respectively. The highest turbidity rejections of aluminium sulphate (at pH 4 and 200 mg/L), ferric chloride (at pH 7 and 200 mg/L), and polyaluminium chloride (at pH 4 and 400 mg/L) were 85.62%, 49.56% and 31.04%, respectively.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การบำบัดน้ำให้ได้มาตรฐานเพื่อใช้ในการอุปโภคและบริโภคมีขั้นตอนและเทคนิคที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำในแต่ละพื้นที่ การบำบัดน้ำในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้วิธีการเติมสารรวมตะกอน (Coagulation) เช่น สารส้ม (Alum) เพื่อรวมสารแขวนลอย (Suspended solids) ให้เป็นตะกอนขนาดใหญ่หรือฟล็อก (Floc) และแยกออกจากน้ำโดยตกตะกอน (Sedimentation) น้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังตกตะกอนจะถูกรองผ่านชั้นหินและชั้นทรายละเอียดและผ่านเข้าสู่ระบบ ทำลายเชื้อโรคด้วยคลอรีนก่อนจ่ายสู่ผู้บริโภค การบำบัดน้ำด้วยวิธีนี้ต้องใช้พื้นที่มาก ต้นทุนการลงทุนสูง การบำบัดน้ำมีการเติมสารเคมีทั้งในกระบวนการผลิตและในน้ำดิบก่อนเข้ากระบวนการผลิต ทั้งนี้ปริมาณสารเคมีที่ใช้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำดิบที่เข้าสู่ระบบการบำบัดน้ำ การเติมปริมาณสารเคมีมากเกินไปหรือน้อยไปอาจส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำและประสิทธิภาพการผลิตน้ำประปาตามลำดับ ยิ่งไปกว่านั้นการใช้สารเคมีบางชนิดอาจทำให้เกิดปัญหาที่ต้องกำจัดการตามมา ตัวอย่างเช่น การใช้สารเคมีบางชนิดอาจให้ปริมาณของตะกอนที่มากขึ้นและเป็นการยากต่อการกำจัดตะกอนหรืออาจใช้พื้นที่การบำบัดเพิ่มขึ้น

ปัจจุบันประชากรมีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ปัจจัยต่าง ๆ เจริญก้าวหน้าตามไปด้วย เช่น การขยายตัวด้านอุตสาหกรรม การเพิ่มผลผลิตซึ่งมีการใช้ปุ๋ยเคมี การใช้สารปราบศัตรูพืชและอื่น ๆ กิจกรรมเหล่านี้จะก่อให้เกิดของเสียขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแหล่งน้ำผิวดิน แหล่งน้ำผิวดินนับเป็นแหล่งน้ำที่ส่วนใหญ่ใช้ผลิตเป็นน้ำประปา ซึ่งปัญหาที่พบมากของแหล่งน้ำ ผิวดิน ได้แก่ สภาพการปนเปื้อนของน้ำอาจมาจากสภาพพื้นที่หรือสภาพของฤดูกาลที่ส่งผลทำให้ดัชนีคุณภาพของน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น ความขุ่นของน้ำหรือการเจือจางขององค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำการเปลี่ยนแปลงสภาพขององค์ประกอบของน้ำอาจส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับกระบวนการบำบัดน้ำดังที่กล่าวมา

การเติมสารเคมีเพื่อช่วยในการสร้างและรวมตะกอน ซึ่งเป็นวิธีการกำจัดความขุ่นสามารถทำได้หลายวิธีได้แก่ การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation) การสร้างและรวมตะกอน (Coagulation-Flocculation) การกรองโดยผ่านกระบวนการเมมเบรน (Membrane Filtration) การเกิดออกซิเดชันทางเคมี (Chemical Oxidation) โดยวิธีที่เป็นที่นิยมมากที่สุดคือ กระบวนการเมม

เบรน วิธีดังกล่าวแม้สามารถกำจัดความขุ่นได้แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในอัตราที่สูงและจำเป็นอย่างยิ่ง ที่ต้องมีการบำบัดน้ำในขั้นต้น (Pretreatment) ก่อนที่จะนำมาผ่านกระบวนการเมมเบรน เพื่อเป็นการ ยืดอายุการใช้งานของเมมเบรน

เมมเบรนเทคโนโลยีมีพื้นฐานมาจากเทคโนโลยีการแยกความเข้มข้น และใช้คุณลักษณะ แบบการปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพ (Physical treatment) ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ การกรอง ด้วย เมมเบรนจะแยกสสาร (ตัวถูกละลาย หรือ ของแข็ง) ออกโดยการไหลผ่านของน้ำ โดยมี แรงดันผ่านเมมเบรน (Trans membrane pressure) เป็นแรงขับเคลื่อน ซึ่งแบ่งออกเป็น ไมโคร ฟิลเตรชัน (Micro-Filtration : MF) อัลตราฟิเตรชัน (Ultra-Filtration : UF) นาโนฟิเตรชัน (Nano-Filtration : NF) และ ออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis : RO)

การกรองแบบไมโครฟิเตรชันได้มีการนำมาใช้ในหลายด้าน อาทิเช่น ในอุตสาหกรรม เคมีมีการนำมาใช้เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีความบริสุทธิ์หรือให้ได้ความเข้มข้นตามที่ต้องการ เช่น ในการผลิตน้ำดื่ม ไวน์ น้ำผลไม้เพื่อเพิ่มความใส (Clarification) และอุตสาหกรรมเทคโนโลยีชีวภาพ เป็นต้น นอกจากนี้ในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมได้มีการนำมาใช้ในการทำน้ำประปาและผลิตน้ำดื่ม เนื่องจากกระบวนการกรองไมโครฟิเตรชันมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น และยังสามารถ นำไปกรองน้ำที่ได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

กระบวนการเมมเบรน เป็นวิธีการที่ประสบความสำเร็จมาแล้ว ในการผลิตน้ำประปา และการบำบัดน้ำเสียชุมชน มีการใช้งานค่อนข้างกว้างขวางในต่างประเทศและได้รับความสนใจ มากขึ้นในประเทศไทย โดยใช้ในการผลิตน้ำสะอาดเป็นหลัก และระบบการกรองเมมเบรนเป็น ระบบการกรองที่นิยมใช้ในการผลิตน้ำดื่ม ทั้งนี้เนื่องจากในปัจจุบันมาตรฐานน้ำดื่มสูงขึ้น โดย กระบวนการกรองสามารถกำจัดเกลือ (Desalination) ลดความขุ่น (Turbidity) และผลิตน้ำอ่อนได้

งานวิจัยนี้เป็นการ ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของสารเคมีช่วยในการสร้างและรวม ตะกอน และศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดของกระบวนการไมโครฟิเตรชัน ซึ่งเป็นวิธีการบำบัด น้ำขั้นต้น ในการบำบัดน้ำ หากประสิทธิภาพในการกำจัดขั้นต้นนี้มีประสิทธิภาพสูง จะส่งผลให้การ กำจัดตะกอนในน้ำขั้นต่อไป สามารถทำได้ง่ายและลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบ ก่อนที่จะ ไปบำบัดขั้นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นโดยใช้สารเคมีร่วมกับกระบวนการ ไมโครฟิเตรชัน

1.2.2 ศึกษาผลของพีเอช ความเข้มข้นและชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ผลของความเข้มข้นของสารเคมีที่มีผลต่อการลดค่าฟลักซ์และอัตราการกำจัดความชุ่ม

1.3.2 ผลของ pH ที่มีผลต่อการลดค่าฟลักซ์และอัตราการกำจัดความชุ่ม

1.3.3 ศึกษาชนิดของสารเคมีที่มีผลต่อการลดค่าฟลักซ์และอัตราการกำจัดความชุ่ม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่ม ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างตะกอนรวมตะกอน ความเหมาะสมของสารเคมี การลดลงของฟลักซ์และประสิทธิภาพการกำจัดแบบไมโครฟิลเตรชัน

1.4.2 สามารถนำผลการวิจัยที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการศึกษาต่อ และยังสามารถนำไปประยุกต์ ใช้กับขั้นตอนการบำบัดน้ำขั้นต้นต่อไปได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การบำบัดน้ำเบื้องต้นด้วยการใช้สารเคมีในการรวมตะกอนก่อนนำผ่านการกรองด้วยเยื่อกรองแบบไมโครเป็นการลดการเกิดปัญหาการอุดตันบนเยื่อกรองแบบไมโคร อีกทั้งยังเป็นวิธีที่ช่วยยืดอายุการใช้งานยาวนานและเดินระบบในขั้นต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ การบำบัดน้ำเบื้องต้นจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจและเป็นประโยชน์ดังที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการศึกษา การบำบัดน้ำเบื้องต้นโดยมีกระบวนการดังนี้ คือ การใช้สารเคมีในการรวมตะกอนและการกรองด้วยเยื่อกรองแบบไมโคร ดังมีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 คุณสมบัติของน้ำดิบตามธรรมชาติ

คุณสมบัติของน้ำดิบตามธรรมชาติ สามารถจำแนกตามปริมาณและชนิดของสารที่เจือปน ได้เป็น 3 ประเภท คือ ประเภทแรก คือ คุณสมบัติทางกายภาพ เช่น สี กลิ่น รส และความขุ่นของน้ำ ประเภทที่ 2 คือ คุณสมบัติทางเคมี เช่น แร่ธาตุ และสารต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ และประเภทที่ 3 คุณสมบัติทางแบคทีเรีย เช่น เชื้อแบคทีเรีย

2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพเป็นคุณสมบัติของน้ำที่เกิดขึ้น จากการมีบางสิ่งบางอย่างมาทำให้คุณสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพนี้เราสามารถทราบได้จากประสาทสัมผัสทั้ง 5 ของมนุษย์ และสามารถจะกำจัดออกได้โดยวิธีง่าย ๆ มากกว่าคุณสมบัติด้านอื่น ๆ นอกจากนั้นยังอาจเป็นอันตรายน้อยกว่าคุณสมบัติด้านอื่น ๆ ถ้าหากมีความจำเป็นจะต้องบริโภคน้ำนั้น เช่น น้ำผิวดิน ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพไม่ค่อยดีนัก เพราะมีตะกอน หรือความขุ่นมาก เนื่องจากน้ำได้พัดพาเอาอนุภาคของสารต่าง ๆ บนพื้นดินปะปนมา ซึ่งขึ้นอยู่กับฤดูกาลด้วย เช่น ฤดูฝน น้ำผิวดินจะขุ่นมาก และมีผลกระทบต่อการใช้งานน้ำอย่างมาก

2.1.1.1 ความขุ่น

ความขุ่นในน้ำผิวดินเกิดจากการสลายตัวของดิน หิน โคลน ออกไซด์ของโลหะที่อยู่ในดิน เชื้อไม้ แพลงตอนและจุลินทรีย์ น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม จะมีสารที่ทำให้เกิดความขุ่นได้มากมายหลายชนิด คอลลอยด์ที่คงตัวมักเกิดจากสบู่ ผงซักฟอก นอกจากนี้ emulsifying agents ก็เป็นตัวทำให้เกิดความขุ่นด้วย ส่วนมากไม่นิยมวัดค่า

ของแข็งแขวนลอย ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำดื่มมาใช้ เนื่องจากน้ำที่มีของแข็งแขวนลอยเท่ากัน อาจให้ความรู้สึกยอมรับต่างกัน ค่าความขุ่นจึงมีความสำคัญต่อทัศนคติของผู้ใช้น้ำมากกว่าปริมาณของแข็งแขวนลอย อย่างไรก็ตาม น้ำที่ขุ่นบางครั้ง อาจไม่มีโทษต่อร่างกาย แต่จะทำให้ไม่น่าดื่มมาใช้ ในทางตรงกันข้ามน้ำที่ใสสะอาดอาจจะไม่ปลอดภัยสำหรับดื่ม ตัวอย่างเช่น น้ำที่มีแร่เหล็ก อาจใสสะอาดในตอนแรก แต่จะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นมีสีน้ำตาลอ่อนเมื่อสัมผัสกับอากาศในภายหลัง

ความขุ่นทำให้น้ำไม่เป็นที่ยอมรับเพราะสังเกตเห็นได้ทันทีถ้าบรรจุในภาชนะใสสารแขวนลอยที่ให้ความขุ่นจะเป็นตัวดูดซับสารเคมี อาจก่อให้เกิดสารอันตราย เกิดกลิ่นหรือรสที่ไม่ต้องการ ความขุ่นในธรรมชาติมีสีน้ำตาล แต่อาจมีสีอื่นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการดูดกลืนของสารที่ก่อให้เกิดความขุ่น ความขุ่นจะบดบังการส่องผ่านของแสงลงสู่พื้นน้ำ มีผลให้สังเคราะห์แสงของพืชในลำน้ำและทะเลสาบลดลง นอกจากนี้ความขุ่นที่ทับถมจมลงสู่ก้นลำน้ำหรือทะเลสาบจะจับตัวเป็นโคลนเลน และเปลี่ยนสภาพความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตใต้น้ำต่าง ๆ ความขุ่นของน้ำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ขนาดของสิ่งแขวนลอย (ละอองหรือหยาด) ปริมาณมากหรือน้อย ความกระจัดกระจายของอนุภาค คุณสมบัติของการดูดซึมแสงของสารแขวนลอยเหล่านั้น ความขุ่นของน้ำมีความสำคัญเกี่ยวกับกิจการประปามาก กล่าวคือ

(1) ประชาชนที่ใช้น้ำประปาทั่ว ๆ ไป มักจะเข้าใจกันว่า น้ำที่ขุ่นมักจะถูกปนเปื้อนมาจากพวกน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน เพราะส่วนมากแล้วพวกน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนมักจะมีขุ่นมาก จึงจะก่อให้เกิดพิษภัยต่อสุขภาพขึ้นได้ ทำให้ประชาชนไม่นิยมดื่มน้ำของการประปา หันไปใช้น้ำจากแหล่งอื่นที่อาจจะไม่ปลอดภัยพอก็ได้

(2) น้ำที่มีความขุ่นสูง จะทำให้การกรองน้ำของกิจการประปาช้าลง และระยะเวลาในการใช้งานสั้นลง น้ำที่มีความขุ่นมากๆ จะใช้กับถังกรองช้าแทบไม่ได้เลย ต้องใช้กับถังกรองเร็ว ซึ่งถ้าใช้ถังกรองเร็วก็ขึ้นอยู่กับสารโคแอกกูแลนต์ว่าจะสามารถกำจัดความขุ่นได้มากน้อยเท่าไร อายุการใช้งานของเครื่องกรองจะได้นานขึ้น

(3) การฆ่าเชื้อโรค น้ำที่มีความขุ่นสูงๆ จะเป็นอุปสรรคต่อการฆ่าเชื้อโรคมก เพราะแบคทีเรียอาจจะไปหลบอยู่ตามสารแขวนลอยเหล่านั้น ทำให้สารฆ่าเชื้อโรคเข้าไปทำลายไม่ถึงทำให้การฆ่าเชื้อโรคไม่ได้ผลเต็มที่ และเป็นการเปลืองสารฆ่าเชื้อโรคด้วย

(4) ตะกอนแขวนลอยที่ลอยอยู่ในน้ำ ซึ่งโดยมากเป็นสารอินทรีย์ที่จะทำปฏิกิริยากับคลอรีนทำให้เกิดสาร Thihalomethanes ซึ่งพบว่ามีความไว้มากที่จะก่อให้เกิดมะเร็งในร่างกาย

(5) อาจเป็นตัวที่พาหรือเก็บสะสมสารพิษอันตรายได้ เช่น โลหะหนักต่าง ๆ

ความขุ่นของน้ำสามารถวัด โดยใช้หลักการให้แสงผ่านขวดแก้วใสที่บรรจุตัวอย่างน้ำ หากมีความขุ่นมากแสงก็จะผ่านได้ยากหรือได้น้อยลง การวัดความขุ่นของน้ำจะต้องมีค่าความขุ่นมาตรฐานที่กำหนดขึ้นมาก โดยใช้สารซิลิกาเป็นตัวแสดงความขุ่นมาตรฐาน คือ มี 1 มิลลิกรัมของ SiO_2 ต่อลิตร จะเทียบเท่ากับค่าความขุ่น 1 หน่วย

วิธีวัดความขุ่นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีดังนี้

- (1) Jackson Candle Turbidimeter มีหน่วยเป็น JTU
- (2) Formazin Turbidimeter มีหน่วยเป็น FTU
- (3) Nephelometric Turbidimeter มีหน่วยเป็น NTU

ในปัจจุบันนิยมใช้วิธี Nephelometric Turbidimeter เป็นเครื่องมือวัด โดยมีหน่วยเป็น Nephelometric Turbidity Units เพราะเป็นเครื่องมือวัดที่ง่ายและได้ผลรวดเร็ว จากตารางที่ 2.1 เป็นข้อมูลความขุ่นของน้ำประเภทต่างๆ สำหรับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำประปาขององค์การอนามัยโลกได้กำหนดไว้ว่า น้ำประปาควรมีค่าความขุ่นไม่เกิน 5 NTU

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลความขุ่นของน้ำประเภทต่างๆ (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2536)

น้ำประเภทต่าง ๆ	ความขุ่น (NTU)
น้ำผิวดินที่มีความขุ่นมาก	1000
แม่น้ำทั่วไป	100
ทะเลสาบ	10
หลังจากผ่านระบบ Coagulation และ Flocculation แล้ว	1-5
หลังจากผ่านเครื่องกรองแล้ว	0.1

2.1.1.2 สี

สีของน้ำเกิดขึ้นจากสาเหตุใหญ่ ๆ 2 ประการ คือ

(1) เกิดจากการสลายตัวของพวกสารอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น ใบไม้เน่าเปื่อย โดยมากมักจะเป็นสีน้ำตาลปนเหลืองหรือสีชา ทั้งนี้เพราะเกิดสารประกอบของพวกกรดแทนนิก (Tannic acid)

(2) เกิดจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมหรือเกิดจากน้ำทิ้งของฟาร์มต่าง ๆ สีของน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม มักมีสีตามน้ำทิ้งนั้น ๆ

ส่วนมากแล้วสารต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดสีในน้ำ มักจะเป็นสารแขวนลอยที่มีประจุลบ ด้วยเหตุนี้เราจึงสามารถกำจัดสีของน้ำได้โดยใช้เกลือของธาตุที่มีวาเลนซ์ 3 ได้ เช่น Al^{+3} และ Fe^{+3} เป็นต้น โดยมากแล้วน้ำผิวดินจะปรากฏว่ามีสีสูงมาก เนื่องจากสารที่ทำให้เกิดสีสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ และน้ำผิวดินมีโอกาที่จะถูกปนเปื้อนได้มากกว่าน้ำชนิดอื่น ๆ

สีของน้ำจะมีปรากฏอยู่ 2 ชนิดด้วยกัน ได้แก่

(1) สีปรากฏ เกิดจากสารพวกแขวนลอยต่าง ๆ ซึ่งสามารถกำจัดออกได้โดยการกรองหรือเหวี่ยง (Centrifugal)

(2) สีจริง เกิดจากสารพวกที่ละลายได้เป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ

โดยปกติสีธรรมชาติของน้ำจะไม่เป็นอันตรายสำหรับการบริโภค แต่จะทำให้รำงเคียง น้ำที่มีสีไม่เหมาะที่จะใช้ซักล้างเสื้อผ้า อุตสาหกรรมพลาสติก ผลิตภัณฑ์คัม ย้อมผ้า ทำกระดาษ เป็นต้น

ดังนั้น การกำจัดสีจึงเป็นเป้าหมายที่สำคัญ ในการผลิตน้ำใช้ทั้งในครัวเรือนและในอุตสาหกรรม สารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดสีจริงในน้ำสามารถทำปฏิกิริยากับคลอรีน ทำให้ค่าความต้องการคลอรีนของน้ำเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้การฆ่าเชื้อโรคลดลง นอกจากนี้สารประกอบของคลอรีนกับกรดอินทรีย์บางตัวที่เกิดขึ้นจัดเป็นสารก่อมะเร็งด้วย และสารประกอบพวกฟีนอลที่ได้จากการเน่าเปื่อยของผักผลไม้ สามารถรวมตัวกับคลอรีนเกิดเป็นสารประกอบที่มีกลิ่นและรสรุนแรง

สีสามารถวัดหาค่าขนาดความเข้มข้นของสีด้วยเครื่องเทียบสีกับสีมาตรฐาน ที่ได้มาจากสารแพลทินัม คือ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแพลทินัม จะมีความเข้มสีเท่ากับ 1 หน่วยโดยการเตรียมสารละลายมาตรฐานนี้จะเติมสารโคบอลต์คลอไรด์ผสมลงไปด้วย การวัดสีไม่ควรเก็บตัวอย่างไว้นาน เพราะจุลชีพต่าง ๆ อาจมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพหรือทางกายภาพ ทำให้มีผลต่อสี ค่าที่อ่านได้อาจผิดพลาด จากค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำประปาองค์การอนามัยโลก กำหนดว่า น้ำประปาควรมีความเข้มของสีไม่เกิน 5 หน่วย

2.1.2 คุณสมบัติทางเคมี

คุณสมบัติทางเคมีเป็นคุณสมบัติที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า หรือสัมผัสอื่น ๆ จำเป็นต้องผ่านกระบวนการปฏิบัติเคมีเพื่อจะได้ทราบผล โดยจะสามารถบอกได้ว่า น้ำมีคุณภาพลักษณะไหน คือ น้ำมีความกระด้างหรือเป็นน้ำอ่อน น้ำมีสภาพเป็นกรดหรือด่างมากน้อยเพียงใด น้ำมีแร่ธาตุอะไรละลายอยู่ มีสารพิษอันตรายปะปนอยู่หรือไม่ เมื่อทราบผลการวิเคราะห์น้ำแล้วจึงสามารถบอกได้ว่าน้ำมีคุณสมบัติไปในลักษณะใด จำเป็นต้องผ่านกระบวนการบำบัดเป็นน้ำประปาด้วยวิธีใด และจะช่วยในการออกแบบโรงผลิตน้ำประปาด้วย ช่วยในการคำนวณหา

ปริมาณสารเคมีที่ต้องการเติมลงไปใต้น้ำดิบ ทั้งหมดนี้จำเป็นต้องอาศัยความรู้ ประสบการณ์ต่าง ๆ ในการใช้ข้อมูลของคุณสมบัติทางเคมีมาพิจารณาในงานการประปา ซึ่งได้แก่ เหล็ก แมงกานีส แคลเซียม อัลคาไลนิตี้ คลอไรด์ ค่าการนำไฟฟ้า ค่าการดูดกลืนแสง สารอินทรีย์ และ ซัลเฟต ซึ่งจะกล่าวเฉพาะสารอินทรีย์เท่านั้น

2.1.2.1 สารอินทรีย์

สารอินทรีย์ที่ไม่เสถียรจะถูกย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ โดยออกซิเจนจะถูกใช้ในปฏิกิริยา สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำเหล่านี้จะประกอบไปด้วย แป้ง ไขมัน โปรตีน อัลดีไฮด์ กรด แอลกอฮอล์ และเอสเทอร์ ซึ่งมาจากการย่อยสลายซากพืชซากสัตว์ในแหล่งน้ำหรือจากน้ำเสียชุมชน น้ำเสียอุตสาหกรรมและน้ำเสียจากการเกษตร สารอินทรีย์เหล่านี้มักทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความขุ่น สี กลิ่นและรสชาติของน้ำ การใช้ค่า TOC (Total Organic Carbon) ในการวัดปริมาณสารอินทรีย์ทุกชนิดที่มีองค์ประกอบเป็นธาตุคาร์บอน ซึ่งประกอบด้วย

(1) สารคาร์บอนอินทรีย์ละลาย (Dissolved Organic Carbon) ซึ่งเป็น TOC ส่วนที่ผ่านสารกรองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมครอน

(2) อนุภาคสารอินทรีย์คาร์บอน (Particulate Organic Carbon : POC) คือ สารอินทรีย์คาร์บอนที่ไม่ละลายน้ำ และถูกกักแยกโดยสารกรองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมครอน

(3) สารอินทรีย์คาร์บอนระเหย (Volatile Organic Carbon : VOC) คือ สารอินทรีย์คาร์บอนที่สลายตัวได้และถูกกำจัดออกโดย gas stripping ภายใต้สภาวะจำเพาะ VOC ส่วนใหญ่เป็นสารจากอุตสาหกรรม พบปนเปื้อนอยู่ทั้งในแหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน สารในกลุ่มนี้หลายตัวจัดให้เป็นสารก่อมะเร็ง และอยู่ในกลุ่มที่ EPA กำหนดค่าสูงสุดในน้ำดื่ม เช่น Benzene, 1,1-dichloroethylene, Para-dichlorobenzene, 1,1-Trichloroethane, Trichloroethylene และสาร Vinyl chloride

(4) สารอินทรีย์คงตัว (Nonpurgeable Organic Carbon : NPOC) คือ ส่วนของ TOC ที่ไม่ถูกกำจัดออกโดย gas stripping

สำหรับสารอินทรีย์ที่ไม่ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในน้ำธรรมชาติ เช่น เซลลูโลส กรดแทนนิน กรดลิกนิน สารฮิวมิก เป็นต้น จะใช้ค่าการดูดซึมรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) เป็นตัวแทนของปริมาณสารอินทรีย์เหล่านี้ทั้งในน้ำสะอาดและน้ำเสีย ซึ่งช่วงค่าความยาวคลื่นมาตรฐาน คือ 253.7 นาโนเมตร แต่ก็สามารถกำหนดให้ช่วงค่าความยาวคลื่นอื่น ๆ ได้ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงสารรบกวนอื่น ๆ ในน้ำ ซึ่งอาจจะสามารถดูดซึมรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงค่าความยาวคลื่นนั้น ๆ ได้เช่นกัน ทำให้ค่าที่วัดได้ผิดไปจากที่ควรจะเป็น โดยอัตราส่วนระหว่างค่าการ

คูคซีมรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสารอินทรีย์คาร์บอน สามารถแสดงถึงลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติได้

นอกจากนี้ยังมีสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยได้อีกประเภทหนึ่ง ซึ่งไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่มักจะมาจากการสังเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้งานในจุดประสงค์ต่าง ๆ และจะถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติหลังใช้งานเสมอ สารอินทรีย์เหล่านี้มักจะมีเจือปนอยู่ในปริมาณน้อย แต่จะมีอันตรายต่อผู้ได้รับ เราอาจเรียกสารอินทรีย์เหล่านี้ว่า Trace Organics เช่น สารซักล้าง (ABS) สารปราบศัตรูพืช (DDT) สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจากการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน (THMs) ไซยาไนต์ และฟีนอล เป็นต้น

2.1.3 คุณสมบัติทางแบคทีเรีย

คุณสมบัติอันนี้ถือว่าสำคัญที่สุด เพราะเป็นอันตรายที่จะทำให้เกิดโรคร้ายไข้เจ็บขึ้นได้ โรคที่เกิดจากน้ำเป็นสื่อหลายชนิดด้วยกัน เช่น บิด อหิวาตกโรค ไทฟอยด์ และโรคระบบทางเดินอาหารต่าง ๆ เกิดขึ้น เนื่องจากแบคทีเรียชนิดที่เป็นอันตราย (Pathogenic bacteria) ที่นำโรคเหล่านี้ปนเปื้อนลงไปในน้ำ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าโรคเหล่านี้มักจะมีการระบาดบ่อย ๆ ในประเทศที่ด้อยพัฒนาหรือกำลังพัฒนา ทั้งนี้เพราะประเทศเหล่านั้นมีระดับความเป็นอยู่และการดำเนินชีวิตที่ไม่ถูกต้องตามสุขลักษณะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสุขาภิบาลเรื่องน้ำยังไม่ดีพอ เชื้อแบคทีเรียที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำอาจจะแบ่งเป็นพวกใหญ่ ๆ ได้ 2 พวก คือ

2.1.3.1 แบคทีเรียชนิดก่อให้เกิดโรคในคน เป็นแบคทีเรียชนิดที่เป็นอันตราย และมีอยู่ในลำไส้คน เรียกว่า เอนเทอริก พาโทเจน (Enteric pathogens) เชื้อพวกนี้จะสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 37°C คือ เท่ากับอุณหภูมิในร่างกายคน เมื่อคนป่วยที่เป็นโรคบิดก็คือ อหิวาต์ก็คือน้ำหรือไทฟอยด์ก็คือน้ำ ถ่ายอุจจาระลงไปในน้ำ แบคทีเรียพวกนี้ก็จะเป็นไปปนเปื้อนอยู่ในน้ำและสามารถดำรงชีวิตอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานาน การที่จะตรวจวิเคราะห์เชื้อแบคทีเรียพวกนี้จากน้ำ มีกรรมวิธีที่ละเอียดรอบคอบและยุ่งยากมาก ดังนั้นการตรวจวิเคราะห์น้ำทางด้านแบคทีเรียจึงไม่นิยมตรวจเชื้อพวกนี้โดยตรง

2.1.3.2 แบคทีเรียชนิดไม่ก่อให้เกิดโรค สามารถพบในลำไส้คนและสัตว์ มีชื่อเรียกว่า โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Coliform bacteria) พวกนี้จะมีอยู่ในลำไส้ของสัตว์เลือดอุ่นทุกชนิด ในอุจจาระปกติของคน 1 กรัม จะมีโคลิฟอร์มแบคทีเรียอยู่ประมาณ 10^7 ถึง 10^9 ตัว โดยปกติแล้วแบคทีเรียพวกนี้ไม่ก่อให้เกิดโรค เป็น non-pathogens แต่เมื่อถ่ายออกมาที่อุจจาระลงไปในน้ำ มันจะสามารถดำรงชีวิตอยู่ในน้ำได้นานกว่าพวกแรก การตรวจวิเคราะห์ก็ง่ายกว่าพวกแรก ดังนั้น จึงเลือกเอาโคลิฟอร์มแบคทีเรีย เป็นดัชนีชี้ถึงคุณภาพทางแบคทีเรียของน้ำ

2.2 กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และฟล็อกกูเลชัน (Flocculation)

อนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งเรียกว่า อนุภาคคอลลอยด์ โดยทั่วไปมีขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 10^{-6} จนถึง 10^{-3} มม. ซึ่งมีขนาดเล็กจึงไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักของตัวเองในเวลาจำกัด นอกจากนี้อนุภาคคอลลอยด์เมื่ออยู่ในน้ำมีประจุประจำตัว โดยพวกที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จะมีประจุบวก เช่น สารอินทรีย์ สบู่ หรือสารจำพวก Detergents ส่วนพวกที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มักจะมีประจุเป็นลบ เช่น อนุภาคของดินเหนียว และเนื่องจากอนุภาคดังกล่าวมีประจุทำให้อนุภาคดังกล่าวมีประจุทำให้อนุภาคที่มีประจุชนิดเดียวกันเกิดแรงผลักรันระหว่างอนุภาค ทำให้อนุภาคเหล่านั้นมีเสถียรภาพสูง

สารชีวภัณฑ์ละลายน้ำ (Soluble microbial products, SMP) พบในน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพซึ่งจะเป็นสารแขวนลอยและคอลลอยด์ละลายอยู่ในน้ำ โดยไม่สามารถแยกออกจากน้ำโดยวิธีตกตะกอนธรรมดาได้ วิธีที่ใช้แยกอนุภาคละเอียดและคอลลอยด์ออกจากน้ำเสีย คือ การสร้างตะกอนรวม (Coagulation) ทางเคมี เป็นกระบวนการที่ใส่สารเคมีลงไปในน้ำเสียเพื่อทำลายแรงผลักระหว่างอนุภาคเล็ก ๆ ในน้ำ ทำให้อนุภาคสามารถเข้าใกล้กันและจับตัวกันได้ อนุภาคเหล่านี้เมื่อรวมตัวกันจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า ฟล็อก (Floc) จนมีน้ำหนักจะมากพอที่จะจมลงและแยกตัวออกจากน้ำได้ในที่สุด ซึ่งเป็นการทำให้คอลลอยด์ไม่แขวนลอยในน้ำได้ด้วยการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ดังนั้นการทำให้อนุภาคต่าง ๆ รวมกันและจับกันเป็นก้อนจะมีขั้นตอน 2 ขั้นตอน

2.2.1 ขั้นตอนการทำให้เกิดฟล็อกกูเลชัน มี 2 ขั้นตอน คือ

2.2.1.1 การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ (มันสิน, 2539) ทำได้โดยอาศัยกลไก 4 แบบ คือ

1) กลไกการลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse layer) โดยการเพิ่มประจุตรงกันข้ามกับคอลลอยด์ในชั้นกระจายให้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้า (Zeta potential) ที่ผิวนอกสุดของน้ำลดลงตามไปด้วย การทำลายเสถียรภาพโดยการลดความหนาของชั้นกระจายด้วยการเติมสารละลายของเกลือต่าง ๆ เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และเกลือของแคลเซียม แมกนีเซียม อลูมิเนียม และเกลือเฟอร์ริก มีข้อที่น่าสนใจดังนี้

- ปริมาณสารตัวนำไฟฟ้า (ที่มีไอออนประจุบวก) ที่เติมเพื่อทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยวิธีลดความหนาของชั้นกระจาย ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคอลลอยด์

- ไม่ว่าจะเติมไอออนบวกมากเพียงใดจะไม่สามารถทำให้คอลลอยด์เปลี่ยนประจุไฟฟ้าจากลบเป็นบวก (Charge reversal)

2) กลไกการดูดติดผิวและทำลายประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ (Adsorption and charge neutralization) โดยใส่สารเคมีบางหมู่ที่มีความสามารถให้ประจุตรงกันข้ามกับอนุภาคและดูดติดผิวได้ ซึ่งจะมีผลในการลดศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์ ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพนั่นเอง เช่น การช่วยลดแรงผลักระหว่างตะกอนซึ่งน้ำเสียประกอบไปด้วยคอลลอยด์ที่มีประจุลบ การเติม counter ion ที่มีประจุสูง เช่น Al^{3+} Ca^{2+} Fe^{3+} และ Na^+ นอกจากจะช่วยลดระยะของ diffuse layer แล้วประจุที่ใส่ช่วยเพิ่มแรงดึงดูดให้อนุภาคคอลลอยด์เข้าใกล้มากขึ้นเอาชนะพลังงานกีดขวางทำให้คอลลอยด์เกาะรวมกันอยู่ได้

3) กลไกการสร้างผลึกขึ้นมาเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาจับ (Sweep coagulation) เช่น การใส่สารส้มให้เกิดผลึก $Al(OH)_3$ เหมือนวุ้นสีขาว เพื่อให้อนุภาคมาเกาะแล้วรวมกันเป็นฟล็อกได้กลไกการใช้ผลึกสารอินทรีย์ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์มีลักษณะที่แตกต่างจากกลไก 2 แบบ คือ ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม (Optimum dosage) แปรผกผันกับความเข้มข้นของคอลลอยด์ กล่าวคือ น้ำที่มีความขุ่นน้อยต้องใช้โคแอกกูแลนต์จำนวนมากจึงจะเกิดโคแอกกูแลนต์ได้ดี ในทางตรงกันข้ามน้ำที่มีความขุ่นสูงอาจใช้โคแอกกูแลนต์น้อยกว่าเหตุผลคือ น้ำที่มีความขุ่นต่ำจะมีโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย ดังนั้นแม้ว่าการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์จะเกิดขึ้นแล้วก็ตาม โคแอกกูแลนต์อาจไม่เกิดได้ดีเท่าที่ควร การใช้โคแอกกูแลนต์ปริมาณสูงก็เพื่อสร้างผลึกจำนวนมาก ๆ สำหรับเป็นสารเป่าสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์ แต่ในกรณีที่น้ำมีความขุ่นสูง โอกาสสัมผัสย่อมมีมาก จึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป่าสัมผัสจากภายนอกเท่ากับกรณีแรก

4) กลไกการสร้างสะพานเชื่อมต่ออนุภาคคอลลอยด์ โดยใช้สารโพลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เมื่อใส่ลงไปใต้น้ำจะให้ไอออนเป็นจำนวนมากเพื่อเกาะจับกับอนุภาคคอลลอยด์และยังมีแขนเชื่อมติดกับอนุภาคคอลลอยด์ตัวอื่น ๆ เพื่อทำให้เกิด ฟล็อก เช่น ใช้สารอินทรีย์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ การเกิดโพลิเมอร์ของอลูมิเนียม และเพอร์ริกไอออน คอลลอยด์ หลายอนุภาคสามารถติดจับกับโพลิเมอร์หลายตำแหน่ง โดยโพลิเมอร์ทำหน้าที่เป็นสะพานระหว่างอนุภาค ซึ่งโพลิเมอร์เป็นสารโมเลกุลใหญ่สามารถนำมาใช้รวมตะกอนทางเคมีได้เรียกว่า โพลีอิเล็กโทรไลต์ (polyelectrolyte) ซึ่งอาจเป็นโพลิเมอร์ที่มาจากธรรมชาติ เช่น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแป้ง กลูโคส และสาหร่าย หรือโพลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้น (synthetic polymer) ได้แก่ โพลีอะคริลลาไมด์ (poly acryl amide) โดเดซิลแอมโมเนียมไอออน (dodecyl ammonium ion) เป็นต้น

2.2.1.2 ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ทั้งหมดเสถียรภาพ แล้วเคลื่อนที่มาสัมผัสและเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อกใหญ่ขึ้น มีขั้นตอน ดังนี้

1) ทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนกว่าจะมีการสร้างสัมพัทธ์เกิดขึ้น วิธีปฏิบัตินี้เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด คือ กวนน้ำให้เคลื่อนที่ในลักษณะที่ส่วนต่างๆ ของน้ำมีอัตราเร็วในการไหลแตกต่างกัน เป็นเหตุให้อนุภาคต่างๆ มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากันจึงมีการสัมพัทธ์เกิดขึ้น การเคลื่อนที่ของน้ำต้องไม่รวดเร็วจนเกินไป มิฉะนั้นแล้วฟล็อกที่เกิดขึ้นอาจแตกหรือหลุดออกจากกันได้ วิธีนี้เป็นวิธีธรรมดาที่นิยมใช้กันทั่วไป ซึ่งอุปกรณ์ในการสร้างสัมพัทธ์หรือสร้างฟล็อกกุเลชันเรียกว่า ถังกวนช้า และวิธีการสร้างสัมพัทธ์แบบนี้มีชื่อทางเทคนิคว่า Orthokinetic Flocculation อนุภาคคอลลอยด์ที่มีฟล็อกกุเลชันแบบนี้ควรมีขนาดใหญ่กว่า 0.1 – 1 ไมครอนและมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

2) การสัมพัทธ์ของอนุภาคคอลลอยด์ อาจเกิดขึ้นได้เองโดยอาศัยการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์กระทบกันเองหรือถูกชนโดยโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ การสัมพัทธ์แบบนี้จึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย จึงอาจกล่าวได้ว่า การเคลื่อนที่เป็นแบบบราวเนียนเรียกว่า Perikinetic Flocculation

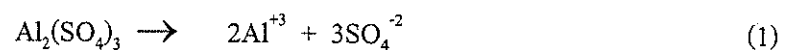
3) การสัมพัทธ์ระหว่างอนุภาคเกิดขึ้นเนื่องจากการตกตะกอนที่มีอัตราไม่เท่ากันของอนุภาคต่างๆ ฟล็อกกุเลชัน ด้วยวิธีนี้เกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการตกตะกอน ทำให้สามารถกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำได้เลย อนุภาคที่สามารถสร้างฟล็อกกุเลชันแบบนี้ได้ต้องมีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ในทางปฏิบัติอนุภาคที่มีขนาดดังกล่าวอาจเกิดฟล็อกกุเลชันมาก่อนแล้วครั้งหนึ่ง เมื่อมาถึงการตกตะกอนจึงเกิด ฟล็อกกุเลชันอีกในขณะที่มีการตกตะกอน

4) ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 0.1 – 1 ไมครอนแต่เล็กกว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นน้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟล็อกกุเลชันอาจเกิดขึ้นโดยสร้างสัมพัทธ์แบบ Orthokinetic Flocculation แต่อาจเกิดขึ้นช้าเนื่องจากโอกาสสัมพัทธ์น้อย

2.2.2 กลไกโคแอกกูเลชัน

2.2.2.1 กลไกโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม

สารส้มเป็นโอแอกกูแลนที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากสามารถใช้ได้ดีกับน้ำดิบจากแหล่งต่างๆ และหาซื้อได้ง่ายในราคาที่ไม่แพงมากนัก สารส้ม (อลูมิเนียมซัลเฟต) มีสูตรโมเลกุล $Al_2(SO_4)_3 \cdot H_2O$ ซึ่งโดยปกติ * มีค่าเท่ากับ 14.3 หรือ 18 เมื่อเติมสารส้มลงในน้ำจะแตกตัวให้อิออนบวกและลบ การเกิดปฏิกิริยาดังสมการที่ (1)



เมื่อเติมสารส้มในน้ำ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์จาก $Al_2(SO_4)_3$ จะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำได้ $Al(H_2O)_6^{+3}$ หรือ Al^{+3} ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของ Al^{+3} จะเกิดขึ้นทันทีโดยไลแกนด์ (Legends) ชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง OH^- จะเข้าแทนที่โมเลกุลของน้ำเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Complex substance) ระหว่างอลูมิเนียมกับไฮดรอกไซด์ไอออน ในกรณีที่ความเข้มข้นของสารส้มสูงกว่าความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัว (Saturation Point) ไฮโดรไลซิสจะดำเนินต่อไปจนได้ผลของปฏิกิริยาสุดท้ายเป็นผลึก $Al(OH)_3$

ผลปฏิกิริยาที่เกิดจากการดูดติดผิวอนุภาคคอลลอยด์ คือ สารคอมเพล็กซ์ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างไฮโดรไลซิสจาก Al^{+3} ถึง $Al(OH)_3$ สารคอมเพล็กซ์อาจมีประจุลบหรือบวกก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำ กล่าวคือ ถ้าพีเอชของน้ำสูงกว่าจุดสะเทินของไฟฟ้า (Zero Point of Charge) ของ $Al(OH)_3(s)$ จะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุลบ เช่น $Al(OH)_4^-$, $Al(OH)_5^{2-}$ ถ้าพีเอชของน้ำต่ำกว่าจะสะเทินทางไฟฟ้าของ $Al(OH)_3(s)$ ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปในกระบวนการโคแอกกูเลชันจะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุบวกเช่น $Al(OH)^{+2}$, $Al(OH)_2^+$, $Al_7(OH)_{17}^{+4}$, $Al_{13}(OH)_{34}^{+5}$ สารส้มที่เติมลงในน้ำจะเกิดการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ โดยมีกลไกหลัก ดังนี้

1) กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ (Adsorption and Charge Neutralization) เกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มที่มีประจุบวก ทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ซึ่งมักมีประจุเป็นลบให้เป็นกลาง (Neutralization) เป็นการสร้างโอกาสสัมผัสให้อนุภาครวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอน เพราะสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะต้องพอเหมาะเท่านั้น ถ้าหากมีปริมาณต่ำเกินไป โคแอกกูเลชันจะไม่เกิด แต่ถ้าสูงเกินไปสารประกอบเชิงซ้อนจะดูดติดผิวอนุภาคมากทำให้อนุภาคมากทำให้อนุภาคเปลี่ยนเป็นประจุบวกและเกิดเสถียรภาพขึ้นอีกแต่ตะกอนที่เกิดจากกลไกนี้สามารถแยกออกจากน้ำได้ง่ายทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย

2) กลไกแบบกวาด (Sweep Coagulation) ในกรณีความเข้มข้นของสารส้มเกินพอจนปฏิกิริยาดำเนินต่อไปจนได้ $Al(OH)_3$ การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกลไกนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเติมสารส้มเป็นจำนวนมากพอ จนมีความเข้มข้นเกินจุดอิ่มตัว ซึ่งทำให้ผลึกของ $Al(OH)_3$ ซึ่งมีลักษณะเหนียวสามารถห่อหุ้มอนุภาคและทำให้ผิวของอนุภาคมีความเหนียว ไม่แสดงอิทธิพลทางประจุไฟฟ้า จึงทำหน้าที่สร้างเป้าสัมผัสอนุภาคคอลลอยด์จนมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนได้เพียงลำพัง

3) กลไกโคแอกกูเลชันแบบร่วม (Combination Coagulation) เป็นการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ร่วมกันระหว่างกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุและแบบกวาด โดยที่ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของกลไกทั้งสองมีไม่เด่นชัด ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้

ปริมาณสารส้มเพิ่มขึ้นสูงกว่ากลไกการทำลายเสถียรภาพแบบคอลลอยด์และทำลายประจุ แต่จะใช้ปริมาณสารส้มต่ำกว่ากลไกแบบกวาด

2.2.2.2 กลไกโคแอกกูเลชันด้วยโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์

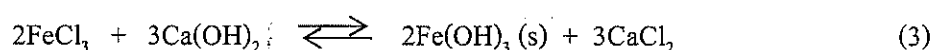
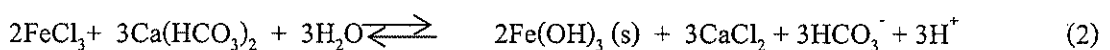
โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminum chloride, PACl) เป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้กันตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา โดยเป็นที่นิยมใช้ในประเทศญี่ปุ่นและบางประเทศในทวีปยุโรป PACl ถูกเตรียมขึ้นโดยอลูมิเนียมที่เป็น Al_2O_3 นี้จะทำปฏิกิริยากับ HCl ที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้รวมตัวเป็น $AlCl_3$ หลังจากนั้นจะทำปฏิกิริยากับเบสที่อุณหภูมิและความดันสูงเพื่อให้รวมตัวเป็นอลูมิเนียมโพลีเมอร์ ซึ่งเมื่อเติมสารส้มลงไปในการละลายนี้ สารส้มจะไปลดความเข้มข้นของ Al_2O_3 ให้เหลือ 10 – 11% และเติมซัลเฟตลงไปเพื่อไปทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างอลูมิเนียม 2 อะตอม สูตรทั่วไปของ PACl คือ $Al_n(OH)_mCl_{3-n}$

เมื่อ PACl ละลายน้ำจะไฮโดรไลซิสทันทีเป็นอลูมิเนียมเชิงซ้อนมากมาย ซึ่งตัวที่ประสิทธิภาพมากที่สุดคือ $[Al_3O_4(OH)_4]^{+7}$ หรือ Al^{+13} ซึ่งการรวมตัวเป็นอลูมิเนียมตัวนี้ขึ้นอยู่กับระดับการรวมตัวของค่ากับสารละลายอลูมิเนียม, ชนิดและความเข้มข้นของค่า, ความเข้มข้นของสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์, อุณหภูมิซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือปริมาณของค่าที่เติมลงไปและระดับของความเป็นกลาง (Kaeding, 1992) เมื่อนำโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์มาใช้เป็นสารสร้างตะกอนแทนสารส้มนั้น พบว่า Dempsey (1985); Kaeding (1992); Packham และ Ratnayaka; Povillot และ Sutty (1992) ใช้ได้กับน้ำในช่วงพีเอชที่กว้างกว่าการใช้สารส้ม โดยเฉพาะที่พีเอชน้อยกว่า 5.5 หรือพีเอชมากกว่า 7

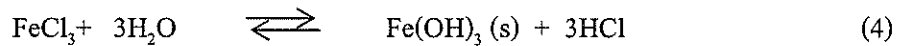
2.2.2.3 กลไกโคแอกกูเลชันด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์

เฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric chloride) มีสูตรทางเคมีว่า $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ หรือ $FeCl_3$ anhydrous มีลักษณะผลึกสีน้ำตาลหรือเหลือง เป็นเม็ดสีเขียวหรือดำ และรูปสารละลายสีน้ำตาลแกมเหลือง ปกติจะละลายน้ำได้ดีและเติมน้ำคิบในรูปของสารละลาย สารละลายจะมีฤทธิ์เป็นกรดและกัดกร่อน ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะได้ตะกอนเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$)

เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารเคมีที่แตกตัวในน้ำ สารประกอบเหล็กเมื่อละลายน้ำนั้นจะมีประจุบวกสามารถทำให้เป็นกลางได้โดยใช้ประจุลบที่เกิดจากของแข็งในน้ำตะกอนด้วยเหตุนี้จึงเป็นสาเหตุของการรวมกลุ่มของตะกอนเฟอร์ริกคลอไรด์จะทำปฏิกิริยากับ Bicarbonate alkalinity ในน้ำตะกอนและเปลี่ยนรูปเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์กับ Bicarbonate alkalinity ดังนี้



การสร้างโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มไม่อาจได้ผลดีมากนักกับน้ำอ่อนที่มีสีเข้ม กรณีนี้เพอริกคลอไรด์ให้ผลดีกว่า เมื่อเติมเพอริกคลอไรด์ในน้ำจะมีผลึกเพอริกไฮดรอกไซด์เกิดขึ้นแสดงปฏิกิริยาดังสมการที่ (4) (มันสิน, 2539)



ข้อดีอีกประการหนึ่งของสารเคมีชนิดนี้ คือ สามารถสร้างโคแอกกูเลชันกับน้ำที่มี H_2S ได้ดี เพอริกคลอไรด์ จะทำหน้าที่เป็นสารสร้างตะกอนในกระบวนการตกตะกอนได้ทั้ง 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 Coagulation เพอริกคลอไรด์นี้จะทำหน้าที่สะเทินประจุบนผิวของอนุภาคต่าง ๆ ทั้ง ๆ ที่แขวนลอยและละลายอยู่ในน้ำให้กลายเป็นกลางโดยการดูดซับประจุและทำปฏิกิริยากับประจุบนผิวของอนุภาคนั้น ๆ ซึ่งเป็นผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคอ่อนลงและอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นตะกอนเล็ก ๆ ขนาดระหว่าง $10^9 - 10^7$ เมตร

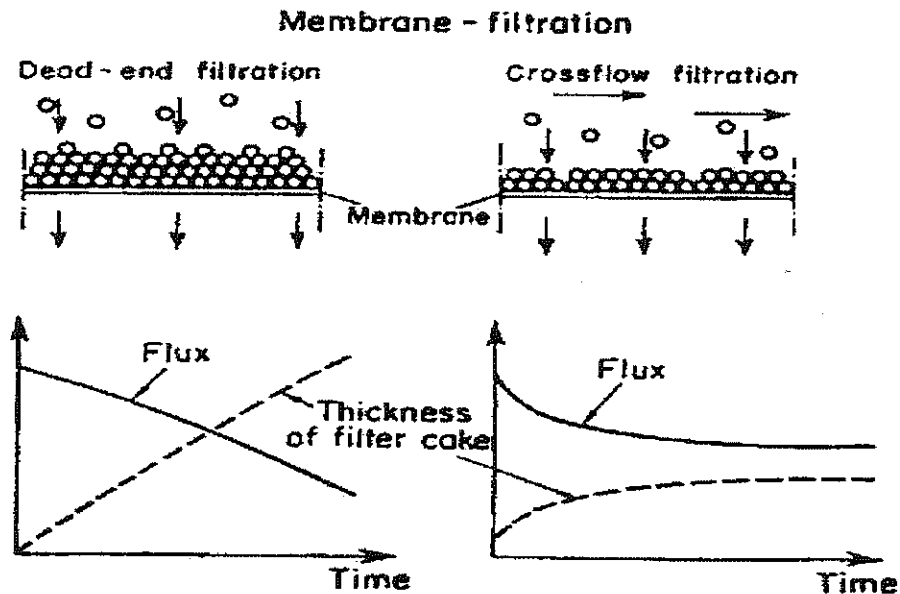
ขั้นตอนที่ 2 Flocculation เพอริกคลอไรด์จะทำหน้าที่รวมตะกอนเล็ก ๆ ซึ่งเกิดขึ้นจากขั้นตอนที่ 1 ให้เป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ขนาดมากกว่า 10^7 เมตร ซึ่งถือว่าเป็นขนาดของตะกอนที่ใหญ่และหยาบทำให้ง่ายต่อขบวนการแยกตะกอนออกจากน้ำในขบวนการต่อไป

2.3 กระบวนการเมมเบรน

เมมเบรนเทคโนโลยีมีพื้นฐานมาจากเทคโนโลยีการแยกความเข้มข้น (Separation Concentration technology) และใช้คุณลักษณะแบบการปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพ (Physical treatment) ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ การกรองด้วยเมมเบรน (Membrane Filtration) จะแยกสารออกโดยการไหลผ่านของน้ำ โดยมีแรงดันผ่านเมมเบรน (Trans-membrane pressure) เป็นแรงขับเคลื่อน ซึ่งแบ่งออกเป็น ไมโครฟิลเตรชัน (Micro-Filtration: MF) อัลตราฟิลเตรชัน (Ultra-Filtration: UF) นาโนฟิลเตรชัน (Nano-Filtration: NF) และออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis: RO)

เมมเบรน คือ แผ่นฟิล์มบางๆ ของสารอินทรีย์สังเคราะห์หรือสารอนินทรีย์ ที่จะทำให้เกิดการแยกตัวอย่างละเอียดของอนุภาคในของไหล ซึ่งของไหลในที่นี้คือก๊าซและของเหลว เมมเบรนมีได้หลายรูปร่าง เช่น แผ่นเรียบ หลอดซึ่งมีหลายขนาด และ Hollow fiber ซึ่งที่เส้นผ่านศูนย์กลางภายในน้อยกว่าสิบเท่าของมิลลิเมตร โดยทั่วไปแล้ว เมมเบรนที่ทำจากสารอนินทรีย์จะมี

ความต้านทานต่อความดันและสารเคมี โดยเฉพาะการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน แต่มีความยุ่งยากและราคาแพงกว่า เมมเบรนที่ทำจากสารอินทรีย์จะมีความยืดหยุ่นดีกว่า และสามารถใส่ไว้ในระบบที่มีเนื้อที่จำกัด ซึ่งจะได้พื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก



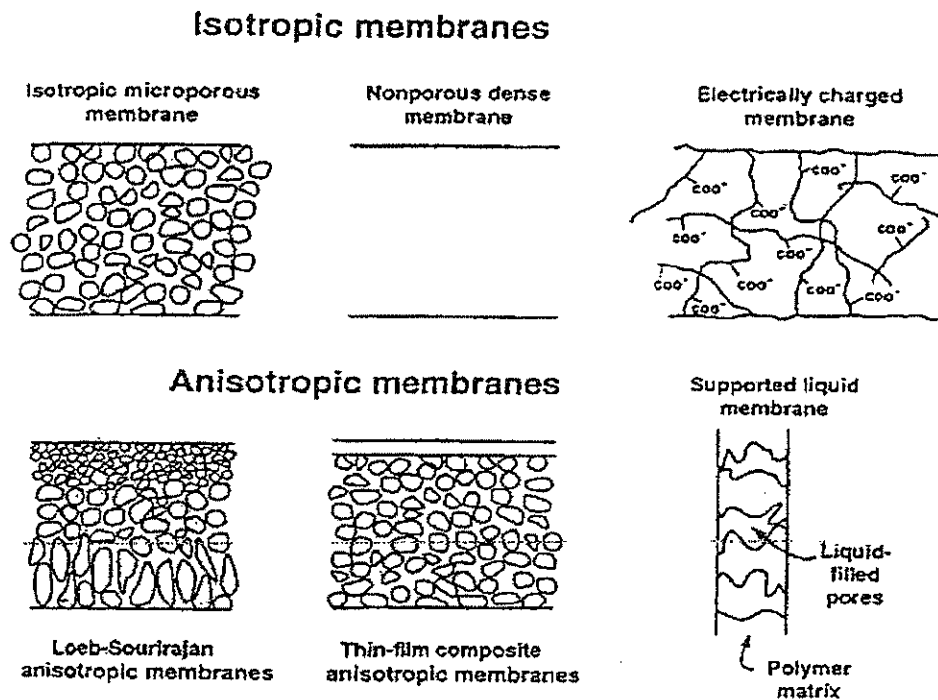
ภาพที่ 2.1 เปรียบเทียบการกรองน้ำผ่านแผ่นกรองธรรมดา กับแผ่นเมมเบรน (Rearick et al., 1995)

หลักการสำคัญของกระบวนการเมมเบรน คือ จะต้องมีความดันที่ทำให้สารละลายไหลผ่านแผ่นเมมเบรนและเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้น หรือผลต่างของความดัน การกรองโดยใช้แผ่นเมมเบรนนี้มีข้อแตกต่างจากการกรองธรรมดา ภาพที่ 2.1 เปรียบเทียบการกรองน้ำผ่านแผ่นเมมเบรนกับแผ่นกรองธรรมดา จะเห็นว่าทิศทางการไหลของน้ำแตกต่างกัน ทำให้การกรองแบบธรรมดามีการอุดตันของอนุภาคเร็วกว่าการกรองผ่านเมมเบรน แผ่นเมมเบรนที่ใช้กันอยู่ทั้งหมด กล่าวได้ว่าเป็นแผ่นเมมเบรนที่มีการสังเคราะห์หรือผลิตขึ้น (Synthetic membranes) หรือมาจากธรรมชาติ แผ่นเมมเบรนเป็นฟิล์มที่เป็นของแข็ง และอาจเป็นของเหลว ลักษณะที่สำคัญที่สุดของแผ่นเมมเบรนคือ มีคุณสมบัติในการเลือกผ่านสารเป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมีหรือทางกายภาพ ซึ่งอาจพิจารณาได้จากการมีความตึงเครียดระหว่างแผ่นเมมเบรนกับสารนั้นๆ หรือจากขนาดของรูพรุน หรือจากการมีประจุของแผ่นเมมเบรน เป็นต้น

2.4 ประเภทของเมมเบรน

ปัจจุบันได้มีการผลิตเมมเบรนขึ้นมาหลายชนิด เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการนำไปใช้งานประเภทต่างๆ โดยเราสามารถแบ่งประเภทของเมมเบรนได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

2.4.1 Isotropic Membranes



ภาพที่ 2.2 ประเภทของเมมเบรนตามโครงสร้างของเมมเบรน

จากภาพที่ 2.2 เป็นการแบ่งประเภทของเมมเบรนตามโครงสร้างของเมมเบรนที่มีส่วนประกอบโครงสร้างสม่ำเสมอ สามารถแบ่งได้อีก 3 ประเภท ได้แก่

2.4.1.1 Micro porous Membranes เมมเบรนประเภทนี้จะมีรูพรุนกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น แยกสารโดยอาศัยการกรองต็ด่างเช่นเดียวกับการกรองด้วยทราย แต่รูพรุนมีขนาดเล็กกว่าดังกรองทรายมากคือ จะอยู่ที่ 0.01 – 10 ไมครอน กลไกหลักในการทำงานคือการกรองดักสารที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของตัวเมมเบรน เมมเบรนชนิดนี้ได้แก่ ไมโครฟิลเตรชัน อัลตราฟิลเตรชัน และนาโนฟิลเตรชัน

2.4.1.2 No porous Dense Membranes เป็นเมมเบรนที่เนื้อแน่นไม่มีรูพรุน แยกสารด้วยการแพร่ผ่าน กลไกหลักคือ จะอาศัยความสามารถในการแพร่ผ่านเมมเบรนของสารละลาย

2 ชนิด ที่อยู่แต่ละด้านของเมมเบรน เมมเบรนประเภทนี้จะมีความแน่นสูง ได้แก่ กระบวนการ ออสโมซิสผันกลับ เมมเบรนสำหรับแยกก๊าซ และ per evaporation membrane

2.4.1.3 Electrically Charge Membranes เมมเบรนประเภทนี้อาจจะมีรูพรุน หรือ ไม่มีรูพรุนก็ได้ แต่โดยทั่วไปจะมีรูพรุนขนาดเล็กมาก โดยที่ผนังของรูพรุนจะมีไอออนที่มี ประจุลบหรือบวกติดแน่นอยู่ เมมเบรนที่มีประจุบวกติดอยู่เรียกว่า An ion Exchange Membranes เพราะว่า ไอออนลบในน้ำจะเข้ามาจับ ส่วนเมมเบรนที่มีประจุลบเรียกว่า Cat ion Exchange Membrane การแยกสารจะต้องอาศัยความแตกต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นแรงขับเคลื่อน และขึ้นอยู่กับความ เข้มข้นและชนิดประจุของไอออนที่อยู่ในน้ำเป็นหลัก โดยจะใช้ในการกำจัดไอออนเป็นหลัก เมมเบรนประเภทนี้ได้แก่ อิเล็กโตรไดอะไลซิส

2.4.2 Anisotropic Membranes

อัตราการถ่ายเทมวลสารต่างๆ ผ่านเมมเบรนนั้น จะแปรผกผันกับความหนาแน่น ของเยื่อแผ่นเมมเบรน สำหรับการกรองน้ำเพื่อให้ได้น้ำที่ผลิตมีปริมาณมากพอสมควรนั้น ความ หนาแน่นของชั้นเมมเบรนที่มีประสิทธิภาพไม่ควรเกิน 20 ไมครอน การพัฒนาระบบผลิต การ ประกอบเมมเบรนนั้นต่างๆ เข้าด้วยกันช่วยให้สามารถบรรลุเป้าหมายในการนำมาใช้งานจริงได้ มากขึ้น โดยใช้เทคนิคของโครงสร้างแบบ Anisotropic ซึ่งวางแผ่นฟิล์มเมมเบรนขนาดที่บางมาก บนแผ่นฟิล์มรองรับ ซึ่งมีรูพรุนและมีความหนามากกว่า ซึ่งเรียกว่า เยื่อบางประกอบ (Thin Film Composite, TFC) ซึ่งแผ่นฟิล์มทั้งสองชั้นทำมาจากวัสดุโพลีเมอร์ชนิดกัน โพลีเมอร์แต่ละ ชนิดที่ใช้ผลิตเมมเบรนแสดงดังตารางที่ 2.2 ประโยชน์ที่ได้จากเมมเบรนประเภทนี้ คือ ได้อัตรา การกรองน้ำสูงขึ้น ซึ่งในเชิงธุรกิจมักจะผลิตเมมเบรนประเภทนี้

2.4.3 Ceramic Metal and liquid Membranes

โดยปกติแล้ววัสดุที่ใช้ผลิตเมมเบรนส่วนใหญ่จะเป็นโพลีเมอร์ที่เป็นสารอินทรีย์ แต่เร็วๆ นี้ได้มีการผลิตเมมเบรนที่ใช้วัสดุอย่างอื่น เช่น เซรามิก โดยใช้เมมเบรนที่มีรูพรุน เช่น ไมโครฟิลเตรชัน และอัลตราฟิลเตรชัน เพื่อให้ทนทานต่อสารตัวทำละลาย และมีความเสถียรภาพ ต่อความร้อน โลหะ เช่น พัลลาเดียม สามารถที่จะใช้ผลิตเมมเบรนเนื้อแน่นสำหรับแยกก๊าซ ไฮโดรเจนเพื่อทำให้บริสุทธิ์ได้ ฟิล์มชั้นของเหลวก็สามารถที่จะนำมาผลิตเป็นเมมเบรนเหลว (Liquid Membranes) ได้เช่นกัน

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของโพลีเมอร์ที่ใช้ทำเมมเบรน (สนรยา สรหงษ์, 2545)

คุณสมบัติ	โพลีเมอร์			
	Cellulose Acetate	Polysulfone	Aromatic Polyamide	Polyacrylonitile
MWCO	1,000 – 50,000	5,000 – 50,000	1,000 – 50,000	30,000 – 100,000
pH	3.5 – 7	0 – 14	2 – 12	2 – 12
อุณหภูมิ (°C)	35	100	80	50
ความทนทานต่อคลอรีน	ดี	ดี	ด้อย	ปานกลาง
ความทนทานต่อ สารละลาย	ด้อย	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
รูปแบบของเมมเบรน	แผ่น ท่อ	แผ่น ท่อ แคปิลลารี	แผ่น ท่อ แคปิลลารี	แผ่น ท่อ แคปิลลารี

หมายเหตุ : Molecular weight cut off (MWCO)

2.5 ชนิดของเมมเบรน

แบ่งประเภทของเมมเบรนออกเป็น 4 ชนิด ดังนี้

2.5.1 ไมโครฟิลเตรชัน เป็นกระบวนการที่อาศัยแรงขับเคลื่อน เพื่อแยกอนุภาคขนาดไมครอน หรือเล็กกว่าไมครอนเมมเบรนแบบนี้ สามารถกักอนุภาคแขวนลอยและจุลชีพได้ แต่ยอมให้สารละลายและน้ำผ่านกระบวนการตกตะกอนผ่านได้ มีขนาดช่องว่าง (pore size) ประมาณ 0.03 – 10 ไมครอน ค่า MWCO มากกว่า 100,000 ดาลตัน ใช้ความดันต่ำประมาณ 100–400 KPa (15 – 60 psi)

2.5.2 อัลตราฟิลเตรชัน โดยทั่วไปใช้ในการแยกของแข็งแขวนลอยในระดับไมครอน และสารอนุภาคละเอียด เช่น แบคทีเรีย และคอลลอยด์ ซึ่งแสดงตามน้ำหนักโมเลกุล ในระดับต่ำกว่าไมครอน ตัวถูกละลายที่มีโมเลกุลสูง และ ไวรัส ตามลำดับ ในกรณีอื่นๆ สารที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของรูพรุนบนผิวหน้าของเมมเบรน จะถูกกักจัดได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งเรียกว่า ผลการเลือกเฟ้น (Sieving effect) และปัจจัยเชิงกลของการแยกสารด้วยอัลตราฟิลเตรชัน

2.5.3 ออสโมซิสผันกลับ สามารถกำจัดเกลือละลายและแยกเกลือออกจากน้ำเกลือ ในกรณีนี้การกระทำระหว่างชั้นเมมเบรน กับตัวทำละลาย และตัวถูกละลายเป็นปัจจัยเชิงกลในการควบคุมการแยกสาร

2.5.4 นาโนฟิลเตรชัน จะอยู่ในช่วงระหว่าง อัลตราฟิลเตรชัน และออสโมซิสผันกลับ นาโนฟิลเตรชันเมมเบรนแต่เดิมถูกเรียกว่า ออสโมซิสผันกลับแบบหลวม หรือออสโมซิสผันกลับ ความดันต่ำ นาโนฟิลเตรชัน ได้พัฒนาขึ้นเพื่อแยกสารในช่วงมวลโมเลกุลต่ำกว่า 300 ถึง สารที่ใช้ แรงดันในการแยกต่ำกว่าแรงดันของออสโมซิสผันกลับทั่วไปด้วยเหตุนี้อัตราในการกำจัดสารจึงต่ำกว่าระบบออสโมซิสผันกลับ (Kazuo Yamamoto, 2000 อ้างโดย Osamu, 2001)

2.6 หลักการกรองผ่านเมมเบรน

กระบวนการเยื่อแผ่นสังเคราะห์ (synthetic membrane process) เป็นกระบวนการที่ใช้ เยื่อแผ่นเพื่อแยกสาร หรือเพิ่มความเข้มข้น หรือทำให้สารบริสุทธิ์ขึ้น เหมาะสำหรับสารละลาย กระบวนการเยื่อแผ่นสังเคราะห์นี้ถูกค้นพบมากกว่าสามสิบปีแล้ว และได้มีการพัฒนาขึ้นมาเป็นลำดับ จนปัจจุบันนี้มีการใช้กระบวนการเยื่อแผ่นสังเคราะห์หลายกระบวนการในอุตสาหกรรมต่างๆ โดย อาจนำไปใช้แยกแทนกระบวนการอื่นๆ หรือใช้เสริมในกระบวนการเดิม

หลักการสำคัญของกระบวนการเยื่อแผ่นสังเคราะห์คือ จะต้องมีความเข้มข้นที่ทำให้ของ ผสมหรือสารละลายไหลผ่านเยื่อแผ่นและเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้นหรือผลต่างของ ความดัน ซึ่งเยื่อแผ่นอาจให้ความหมายโดยทั่วไปได้ว่า เยื่อแผ่นคือ แผ่นกั้นที่มีสมบัติในการเลือก ผ่านระหว่างสองเฟส โดยเยื่อแผ่นอาจเป็นของแข็ง และอาจเป็นของเหลว ลักษณะที่สำคัญที่สุดของ เยื่อแผ่นคือ มีคุณสมบัติในการเลือกผ่านสารหนึ่งมากกว่าสารอื่น ๆ (semi-permible/permselective) การเลือกผ่านสารเป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมี หรือทางกายภาพของเยื่อแผ่น ซึ่งอาจพิจารณาได้ จาก affinity ของสารนั้นๆ หรือจากขนาดของรูพรุน หรือจากการมีประจุของเยื่อแผ่นเป็นต้น เยื่อ แผ่นที่ใช้งานอยู่ทั้งหมด กล่าวได้ว่าเป็นเยื่อแผ่นที่มีการสังเคราะห์ขึ้นหรือผลิตขึ้นซึ่ง ไม่ใช่เยื่อแผ่น ธรรมชาติ

2.7 กลไกของการกรอง

การกรองเป็นการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยในน้ำมาไว้บนสารกรอง หรือมาไว้ที่ช่องว่าง ระหว่างสารกรอง ดังนั้นกลไกในการกรองน้ำจึงเกี่ยวกับวิธีการเคลื่อนย้าย (transport) สารแขวนลอยในน้ำ ให้เข้าไปหาสารกรอง ซึ่งอยู่หนึ่ง ๆ (มันสิน มั่นทูลเวศน์, 2539) และวิธีการทำให้ สารแขวนลอยเกาะจับอยู่กับสารกรองก่อนแล้ว (Attachment) โดยกลไกการกรองประกอบด้วย

2.7.1 กลไกเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาตัวกรอง (Transport Mechanism)

เมื่อทำการกรองผ่านตัวกรอง สารแขวนลอยเคลื่อนที่เข้าหาตัวกรองได้ 2 วิธี คือ

2.7.1.1 การเคลื่อนที่ตามธรรมชาติของสารกรองที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน และเป็นการเคลื่อนที่ในระดับโมเลกุลที่เกิดจากการแพร่กระจายแบบบราวเนียน (Brownian Diffusion)

2.7.1.2 การเคลื่อนที่ตามเส้นทางการไหลของน้ำ สารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน จะวิ่งเบียดเข้าหาสารกรอง (Interception) ในขณะที่ผ่านช่องว่างขนาดเล็ก นอกจากนี้ สารแขวนลอยขนาดใหญ่ยังอาจตกตะกอนในทิศทางที่เคลื่อนที่เข้าหาตัวกรองได้ ขนาดและการกระจายขนาด (Size Distribution) ของสารแขวนลอยมีความสำคัญต่อกลไกเคลื่อนย้ายเป็นอย่างมาก เพราะว่าเมื่อขนาดของสารแขวนลอยเล็กกว่า 1 ไมครอน ประสิทธิภาพของการเคลื่อนย้ายจะแปรผกผันกับขนาด นั่นคือ การแพร่กระจายทำให้สารขนาดเล็กเคลื่อนที่ได้มากกว่า และมีโอกาสวิ่งเข้าหาสารกรองได้มากกว่าสารขนาดใหญ่ แต่เมื่อสารมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน จะมีการแพร่กระจายในระดับโมเลกุลน้อยมาก ขนาดและน้ำหนักของสารแขวนลอยจะเข้ามามีบทบาทสำคัญในการสร้างกลไกแบบตกตะกอนและติดค้าง (Interception) ดังนั้นประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายจึงแปรตรงกับขนาดของสารแขวนลอย เนื่องจากสารขนาดใหญ่มีน้ำหนักมากและมีปริมาตรมากจึงตกตะกอนหรือติดค้างสารกรองได้ง่าย

2.7.2 กลไกจับสารแขวนลอย (Attachment Mechanism) สารแขวนลอยขนาดใหญ่ อาจตกตะกอนและเกาะติดอยู่บนตัวกรอง หรืออาจติดค้างอยู่ในช่องว่างระหว่างตัวกรอง ทำให้ไม่สามารถกรองน้ำออกได้ การกรองน้ำต้องอาศัยกลไกแบบที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย กลไกดังกล่าว คือการดูดติดผิว (Adsorption) และทำลายประจุไฟฟ้าของคอลลอยด์ให้เป็นกลาง (Charge neutralization) การดูดติดผิวเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้คอลลอยด์สามารถเกาะจับอยู่บนตัวกรองหรือบนสิ่งอื่นที่จับบนตัวกรองอยู่ก่อนแล้ว อย่างไรก็ตาม ตัวกรองและคอลลอยด์มักมีประจุลบทั้งคู่ จึงต้องทำลายประจุไฟฟ้าของสารตัวใดตัวหนึ่งก่อน หรือของทั้งคู่ เพื่อไม่ให้เกิดแรงผลักระหว่างประจุเดียวกัน

2.8 กระบวนการแยกสารของเมมเบรน

ความสามารถในการแยกสารขึ้นอยู่กับขนาดของช่องว่าง (pore size) หรือ การกีดสรรด้วยน้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight Cut-off) ของเมมเบรน โดยอาศัยกลไก 2 ชนิด คือ การกรองติดค้าง (Sieve Effect) และการแพร่ผ่าน (Diffusion Effect) ซึ่งสามารถนำมาใช้เพิ่มความเข้มข้นหรือทำให้สารบริสุทธิ์ขึ้น หลักการสำคัญของกระบวนการเมมเบรน ก็คือ จะต้องมีความเข้มข้นที่ทำให้สารละลายไหลผ่านและเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้น ผลต่างของความดัน แผ่นเยื่อเมมเบรนที่ใช้งานในปัจจุบันจะสังเคราะห์ขึ้นจากสารโพลีเมอร์และสารประกอบอื่นๆ

เช่น เซลลูโลสอะซิเตต เซลลูโลสไนเตรท โพลีเอไมด์ เป็นต้น และในปัจจุบันได้มีการนำกระบวนการเมมเบรนเข้ามาใช้ในงานอุตสาหกรรมมากมาย รวมทั้งในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

หลักการพื้นฐานในระบบการแยกความแตกต่างขึ้นอยู่กับขนาดของเมมเบรนและขนาดของอนุภาคที่จะถูกแยก การแบ่งประเภทจะขึ้นอยู่กับขนาดและน้ำหนักโมเลกุลของอนุภาคที่สามารถแยกได้

ไมโครฟิลเตรชันใช้สำหรับแยกอนุภาคที่ขนาดอยู่ในช่วงประมาณ 0.01–10 ไมโครเมตร ที่ความดัน 1 บาร์ อนุภาคแขวนลอยจะถูกกั้นด้วยผิวหน้าของเมมเบรนในขณะที่น้ำสามารถผ่านเข้าไปในโครงข่ายรูพรุนโดยการพา ปัจจัยหลักที่ทำให้ประสิทธิภาพของไมโครฟิลเตรชันลดลงคือการอุดตันภายในรูพรุน คอลลอยด์สามารถสะสมตัวอยู่บนผิวหน้าของเมมเบรนระหว่างรู ในบางเวลาอนุภาคของคอลลอยด์จะปิดกั้นรูพรุนได้อย่างสมบูรณ์ จะลดความสามารถในการกรอง การล้างย้อน (Backwashing) เป็นเทคนิคหนึ่งในการแก้ปัญหา

ในทางกลับกันอัลตราฟิลเตรชันและนาโนฟิลเตรชันจะแยกตามขนาดเล็กสุดของน้ำหนักโมเลกุลของวัสดุที่สามารถกั้นได้ด้วยเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน เมมเบรนโดยทั่วไปจะทำขึ้นจากแผ่นฟิล์มที่กั้นสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 1,000–80,000 กลไกในการเคลื่อนผ่านอัลตราฟิลเตรชันจะกั้นและดูดซับผ่านเมมเบรน สารละลายของสารโมเลกุลใหญ่มีแรงดันออสโมติกน้อยมาก ดังนั้น อัลตราฟิลเตรชันไม่ต้องการใช้แรงดันสูงเพื่อจะเก็บวัสดุที่ซึมผ่าน

นาโนฟิลเตรชัน คุณลักษณะในการแยกสารอยู่ระหว่างออสโมซิสผันกลับและอัลตราฟิลเตรชัน คือน้ำหนักโมเลกุลที่แยกได้ (MWCO) ในช่วง 100–200 ดาลตัน ในช่วงแรงดันที่ 6–20 บาร์ กระบวนการแยกสารรวม 2 กลไก คือการลอดผ่าน และไฟฟ้าสถิตย์ เมมเบรนประกอบด้วย โพลีเมอร์ที่มีรูพรุนและสามารถกั้นสารประกอบได้ที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 นาโนเมตร ในขณะเดียวกันเนื่องจากมีชั้นประจุลบสำหรับนาโนฟิลเตรชันเมมเบรนทั่วไป การกำจัดเกลือสามารถกระทำได้ด้วยแรงผลึกของไฟฟ้าสถิตย์ MWCO แสดงลักษณะของเมมเบรน สิ่งที่ต้องคำนึงถึงอีกประการคือ ความขรุขระซึ่งจะบ่งชี้ความสามารถในการกำจัดอนุภาคของสารประกอบ เพราะปัจจัยเช่นรูปร่างโมเลกุลและขั้วจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการแยก

ออสโมซิสผันกลับใช้สำหรับทำน้ำบริสุทธิ์สำหรับใช้ในครัวเรือนและอุตสาหกรรม ที่แรงดัน 20–80 บาร์ แผ่นออสโมซิสผันกลับบางและซึมผ่านไม่ได้ มีรูพรุน ขนาด 3–1,000 อังสตรอม ให้น้ำสามารถผ่านได้ด้วยการแพร่และกำจัดตัวถูกละลายอื่นๆ

2.9 ข้อดีและข้อจำกัดของกระบวนการเมมเบรน

กระบวนการเมมเบรนมีข้อได้เปรียบกระบวนการแยกอื่นๆ คือ (Fane, 1987)

2.9.1 ข้อดีของกระบวนการเมมเบรน

2.9.1.1 เป็นการแยกตามขนาดโมเลกุล (หรือรูปร่าง หรือชนิดของประจุจึงทำให้สามารถดำเนินการที่อุณหภูมิปกติ (ยกเว้นการกลั่นเยื่อแผ่น) จึงเหมาะสำหรับสารที่อาจเสื่อมสภาพเพราะความร้อนได้

2.9.1.2 กระบวนการเยื่อแผ่นส่วนใหญ่ใช้พลังงานค่อนข้างต่ำ เพราะสามารถแยกได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนเฟส ตัวอย่างเช่น สำหรับกระบวนการแยกเกลือจากน้ำกร่อยหรือน้ำทะเล ถ้าใช้ออสโมซิสผันกลับ หรืออิเล็กโตรไดอะไลซิส จะมีข้อได้เปรียบด้านพลังงานกว่าการกลั่น หรือการต้มระเหย

2.9.1.3 ไม่ก่อให้เกิดของเหลือทิ้ง เพราะกระบวนการเยื่อแผ่นทำให้เราสามารถแยกสารที่ต้องการได้ สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งเพอมีเอท และรีเทนเทท ตัวอย่างเช่น ในการผลิตน้ำสะอาดจากน้ำทะเล ได้เพอมีเอทคือ น้ำจืด ส่วนสารละลายเกลือเข้มข้นสามารถนำไปต้มระเหยตกผลึกเพื่อผลิตเกลือ หรือในการบำบัดน้ำทิ้งบางชนิด ที่ได้น้ำสะอาดกลับมาใช้ในกระบวนการ และได้ผลิตภัณฑ์เข้มข้นซึ่งใช้ประโยชน์ต่อไปได้

2.9.1.4 สามารถขยายขนาดจากระดับต้นแบบให้เป็นระดับอุตสาหกรรมได้ไม่ยาก เนื่องจากชุดเยื่อแผ่นมีลักษณะเป็นชุด หรือหน่วยที่เรียกว่า โมดูล และสามารถนำหน่วยย่อยๆ มาต่อกันเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการแยก

2.9.1.5 สามารถดำเนินงานแบบกะ (batch) หรือแบบต่อเนื่อง (continuous) ตลอดจนถึงติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติได้ง่าย

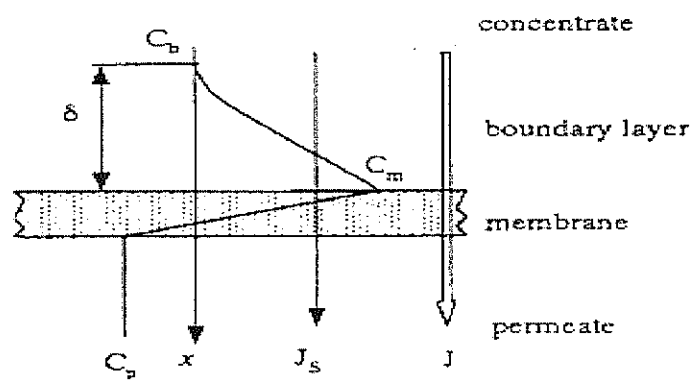
2.9.1.6 มีขนาดกะทัดรัดไม่เปลืองพื้นที่

ด้วยเหตุผลดังกล่าวมาแล้ว ทำให้สามารถนำกระบวนการเมมเบรนไปใช้แทนกระบวนการเดิมที่ใช้อยู่อาจจะในลักษณะแทนบางขั้นตอน หรือทั้งกระบวนการทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของกระบวนการนั้นๆ

2.9.2 ข้อจำกัดของกระบวนการเมมเบรน

การกรองด้วยเมมเบรนนั้นจะเกิดการลดลงของฟลักซ์เนื่องจากผลของการอุดตันบนผิวของเมมเบรน หรือเกิดการเกาะติดค้างบนผิวของเมมเบรนนอกจากนี้การสะสมความเข้มข้นของสารถูกละลายบริเวณผิวของเมมเบรนยังมีผลต่อความเสียหายของเมมเบรนได้เช่นกัน ปัจจัยที่มีผลต่อการอุดตันของเมมเบรนประกอบด้วย

2.9.2.1 Concentration Polarization, CP คือ การสะสมความเข้มข้นของสารถูกละลายบริเวณผิวของเมมเบรนภายในชั้น Boundary Layer ซึ่งเป็นชั้นที่ใกล้ผิวหน้าของเมมเบรน โดยปกติจะมีความเข้มข้นสูงกว่าปกติหลายเท่า ทำให้ความเข้มข้นบริเวณผิวหน้าเมมเบรนสูงกว่าบริเวณที่อยู่ห่างออกไปและจะลดความสามารถของการแยกทั้งในรูปของฟลักซ์และการกักกัน ผลของ CP นำไปสู่การเกิด ฟาวลิงได้ และเกิดผลเสียต่อเมมเบรนคือ ทำให้แรงดันออสโมติกสูงขึ้น ผลต่อมาคืออัตราการกรองลดลง มีการรั่วไหลของสารละลายผ่านเมมเบรนเพิ่มขึ้น น้ำมีสารปนเปื้อนทำให้เมมเบรนเสื่อมสภาพเร็วขึ้น มีการตกผลึกของสารบางชนิด เนื่องจากความเข้มข้นของสารมีค่าสูงเกินค่าความสามารถในการละลาย ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การเกิด Concentration Polarization บนผิวเมมเบรน

2.9.2.2 ฟาวลิง (Fouling) การเกิดฟาวลิงของเยื่อเมมเบรนเป็นผลมาจากการเกิด Concentration polarization ซึ่งการเกิดฟาวลิงหมายถึง การสะสมหรือการอุดตันของตัวถูกละลายทั้งบนผิวหน้าของเมมเบรนและภายในรูพรุนทำให้อัตราการกรองลดลงและการกำจัดโมเลกุลเปลี่ยนแปลงซึ่งอาจลดลงหรือเพิ่มขึ้นก็ได้ ฟาวลิงเกิดขึ้นได้ด้วยกลไกที่ซับซ้อนขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของเยื่อเมมเบรนและสารละลายที่สะสมและอุดตันจะไม่สามารถล้างออกด้วยน้ำได้ ต้องล้างทำความสะอาดด้วยสารเคมีที่เหมาะสม

2.9.2.3 ความคงตัวของแผ่นเมมเบรน แผ่นเมมเบรนที่ใช้อยู่ส่วนใหญ่ผลิตจากโพลีเมอร์จึงมีความคงตัวจำกัด เช่น แผ่นเมมเบรนจำพวกเซลลูโลส (Cellulosics) คงตัวในช่วง pH 4-8 ส่วนโพลีซัลโฟน (Polysulfone) สามารถใช้งานในช่วงกว้างกว่าคือ pH 1-13 อุณหภูมิก็มีผลต่อเยื่อเมมเบรน ปัจจุบันมีการพัฒนาเมมเบรนที่ทนอุณหภูมิได้สูง 60-80 องศาเซลเซียส แผ่นเมมเบรนบางชนิดไม่ทนต่อคลอรีน หรือตัวทำละลายอินทรีย์ ส่วนแผ่นเมมเบรนเซรามิกส์มีความคงตัว

ต่ออุณหภูมิและสารเคมีดีมาก สามารถฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำได้ ทนต่อจุลินทรีย์ แต่ความสามารถในการแยกยังด้อยกว่าแผ่นเมมเบรนโพลีเอสเตอร์ การพัฒนายังค่อนข้างจำกัด และราคาแพง

2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเมมเบรน

2.10.1 การสะสมความเข้มข้นสูง (Concentration Polarization) การสะสมความเข้มข้นสูงคือปรากฏการณ์ที่เกิดการสะสมของสารอินทรีย์ หรืออนุภาคต่างๆ ใกล้ผิวหน้าเมมเบรน จนความเข้มข้นสูงกว่าค่าเฉลี่ยของสารนั้นในน้ำหลายเท่า ทำให้ฟลักซ์ลดลง แก้ไขโดยแรงดันน้ำล้างย้อน การถอดล้างด้วยสารเคมี เป็นต้น

2.10.2 อุณหภูมิ พีเอช และสารออกซิไดซ์ ในกระบวนการผลิตในบางโรงงานมีผลิตภัณฑ์อุณหภูมิห้อง จึงจำเป็นต้องมีการพิจารณาถึงขีดจำกัดอุณหภูมิของเมมเบรน โดยทั่วไปการกรองเมมเบรนจะใช้อุณหภูมิในช่วง 0 – 85 องศาเซลเซียส ในการทำความสะอาดเมมเบรนจะใช้อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่าในการกรองแบบอัลตราฟิลเตรชันและไมโครฟิลเตรชันที่ใช้ความดันต่ำมักจะใช้อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการกรองจึงไม่ควรใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไป ในอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ฟลักซ์จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 3–5 แต่เมมเบรนอินทรีย์ เช่น cellulose acetate มักสลายตัวโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งเพิ่มขึ้นตามค่า pH ที่ใช้ ซึ่งเกิดซ้ำที่สุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส พีเอช 3–7 ทนทานต่อการต่อสารออกซิไดซ์ เช่น คลอรีนได้ดี ค่า pH ที่ใช้กันในตลาดทั่วไปมักจะต่ำกว่า 3 หรือ 4 ในการกรองแบบ อัลตราฟิลเตรชันจะใช้ค่า pH ในช่วงกว้างกว่านั้นประมาณ 0.5-13 ในไมโครฟิลเตรชันก็อาจใช้ระดับเดียวกัน ขณะที่เมมเบรนอินทรีย์ ไม่ทนต่อสารออกซิไดซ์มากนักแต่ทนทานต่อพีเอชในช่วงที่กว้างกว่าคือ 2–11 และอุณหภูมิทำงานที่ขีดจำกัดสูงกว่าคือ 45 องศาเซลเซียส

2.10.3 ความดัน การเพิ่มแรงดันมากขึ้นการเพิ่มแรงดันมากขึ้นจะทำให้ฟลักซ์ของเมมเบรน และคุณภาพน้ำที่ผลิตได้ดีขึ้น แต่ถ้าแรงดันเพิ่มขึ้นเกินขีดจำกัด (Critical Pressure) จะทำให้โครงสร้าง และอนุภาคสารต่างๆ ที่สะสมบริเวณผิวหน้าเมมเบรน อัดตัวแน่น จนทำให้ค่าฟลักซ์ลดลง และอาจทำลายโครงสร้างภายในของเมมเบรน จนไม่อาจคืนสภาพการกรองน้ำได้ดังเดิมอีก

2.10.4 ความสกปรกของเมมเบรน เป็นผลมาจากการเกาะสะสมของสารอินทรีย์ และอนุภาคสิ่งสกปรกต่างๆ ในร่องว่างของเมมเบรน ทำให้อัตราการซึมผ่านลดลง ความดันใช้งานเพิ่มขึ้น และไม่สามารถคืนสภาพให้กลับเหมือนใหม่ได้ โดยการใช้น้ำแรงดันน้ำ หรือสารเคมีโดยมีปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.10.4.1 ลักษณะของน้ำดิบ สารอินทรีย์แต่ละประเภทมีผลต่อการเกิดความสกปรกต่างกัน ไปตามขนาดโครงสร้างของโมเลกุล และแรงกระทำระหว่างผิวเมมเบรนกับตัวมัน

เอง เมื่อสารอินทรีย์หลายชนิดรวมอยู่ในสารละลายเดียวกันและ มีความเข้มข้นสูงจะก่อให้เกิดความสกปรกมากกว่าที่อยู่เป็นชนิดเดี่ยวๆ และความเข้มข้นต่ำ ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นของสารมีผลต่อความเสียหายของเมมเบรนเป็นอย่างมาก ถือได้ว่าเป็นปัจจัยหลักเนื่องจากในระบบไฮโดรไดนามิกใด ๆ รวมทั้งระบบไมโครฟิลเตรชันจะเกิดชั้นขอบเขตที่เรียกว่า Boundary Layer ซึ่งอยู่ติดกับผิวหน้าของเมมเบรน ชั้นน้ำดังกล่าวจะอยู่เป็นอิสระไม่ผสมกับน้ำที่อยู่นอกชั้นความหนาของ Boundary Layer ซึ่งแปรผกผันกับอัตราการไหลของสารและความปั่นป่วน น้ำสะอาดจะถูกบังคับออกจากชั้นนี้และกระจายซึมผ่านเมมเบรนออกไปภายนอก ทำให้มีการสะสมสารละลายต่างๆ เกิดขึ้นภายใน Boundary layer จนกระทั่งมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของน้ำดิบหลายเท่า ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า การเกิด Concentration Polarization อาจแสดงได้ด้วยอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นสูงสุดของสารละลายใน Boundary Layer และความเข้มข้นเฉลี่ยของน้ำดิบ

2.10.4.2 วัสดุที่ใช้เมมเบรน รวมถึงขนาด และการกระจายของรูช่องว่างบนเมมเบรน มีผลต่ออัตราการเกิดความสกปรก เช่นกัน

2.10.4.3 การปรับสภาพน้ำเบื้องต้น ได้แก่ การกำจัดอนุภาคแขวนลอยขนาดใหญ่ สารอินทรีย์ ปรับพีเอชและอุณหภูมิ และการกำจัดน้ำมัน ไขมัน เป็นต้น จะสามารถเพิ่มอัตราการซึมผ่านเมมเบรน และบรรเทาปัญหาความสกปรก ให้ระบบมีรอบระยะเวลาการทำงานที่ยาวนานขึ้น

2.10.4.4 ความแรงของประจุ เนื่องจากไอออนมีผลต่อการลดลงของอัตราการกรองระบบเมมเบรน จากการศึกษพบว่า การลดลงของอัตราการกรองในระบบไมโครฟิลเตรชันเนื่องมาจากผลของการเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ทำให้เกิดการลดลงของแรงผลัก เพราะการรวมตัวของสารอินทรีย์ที่มีประจุลบและโซเดียมที่มีประจุบวก ส่งผลให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์ธรรมชาติบนผิวของเมมเบรน (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543)

2.11 กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน (MF)

กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน เป็นกระบวนการทางกายภาพ อาศัยแรงดันที่ต่ำเป็นแรงขับเคลื่อนให้ของเหลวผ่านช่องว่างของเมมเบรน ในการแยกอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0.01 – 10 ไมโครเมตร รวมทั้งแบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่น ๆ ออกจากของเหลว กระบวนการ MF เป็นกระบวนการที่สำคัญกระบวนการหนึ่ง น้ำที่ผ่านการกรองมีคุณภาพดีกว่าน้ำที่ได้จากกระบวนการแยกทั่วไป เช่น การตกตะกอน การเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง การกรองทราย เป็นต้น นอกจากนี้สารมลพิษในน้ำส่วนใหญ่ จะมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.05 – 10 ไมโครเมตร ทำให้

สามารถกำจัดได้โดยกระบวนการ MF เนื่องจากขนาดอนุภาคดังกล่าวอยู่ในช่วงค่าที่กำหนดของ MF พอดี

2.11.1 หลักการพื้นฐานของไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน

ไมโครฟิลเตรชันเป็นการกรองสารที่มีขนาดระหว่าง 0.01 ไมโครเมตร ถึง 10 ไมโครเมตร โดยทั่วไปไมโครฟิลเตรชันจะสามารถเคลื่อนย้ายจุลชีพออกจากน้ำได้ เช่น แบคทีเรีย ฟังไจ สปอร์ยีสต์ และไวรัส บางชนิด ที่มีขนาดอยู่ในช่วงที่กรองได้ การกรองจะเป็นผลมาจาก 2 หลักการ คือ ผลจากขนาดของอนุภาคหรือโมเลกุล และเนื่องจากแรงดันที่สามารถพาวัสดุต่างๆ ผ่านเมมเบรนไปได้ ตัวกลางของไมโครฟิลเตรชันมีหลากหลายวัสดุและวิธีการผลิต ซึ่งจะแบ่งเป็น โดยสมบูรณ์ (absolute) และบางส่วน (nominal) ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ในการจับอนุภาคที่มีขนาดใกล้เคียง หรือมากกว่าอนุภาคที่กำหนดในค่ามาตรฐานของตัวกลาง เมมเบรนโดยทั่วไปจะเป็นตัวกลางโดยสมบูรณ์ ซึ่งผลิตมาจากโพลีเมอร์ หลากหลายชนิด โลหะ และเซรามิก ตัวกลางบางส่วนจะประกอบด้วยตัวกลางที่ทำจากใยแก้ว เส้นใยโพลีเมอร์ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ดี ตัวกลางโดยสมบูรณ์นั้นจะสมบูรณ์ในช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น เพราะแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้

ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนสามารถแบ่งตามโครงสร้างของรูได้เป็นสองกลุ่ม เมมเบรนที่มี Capillary-type pore ซึ่งเรียกว่า Screen Membrane และเมมเบรนที่มี Tortuous-type pores ซึ่งเรียกว่า Depth membrane

Depth membrane จะผลิตมาจากโพลีเมอร์ต่างๆ โดยใช้เครื่องหล่อเมมเบรนที่หล่อด้วย Cellulosic esters เป็นที่นิยมในปัจจุบัน Cellulosic ester ผลิตโดยการทำละลาย Cellulose esters ในตัวทำละลายสารอินทรีย์ผสมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ และหล่อสารละลายเป็นแผ่นฟิล์มบาง ความหนาประมาณ 150 μm . บนสายพานเคลื่อนที่ ตัวทำละลายจะถูกระเหยออกไปภายใต้สภาวะควบคุม Tortuous pore จะเกิดขึ้น จะมีพื้นที่เปิดอยู่ในช่วงร้อยละ 75 – 89 เมมเบรนมีความสามารถในการซึมผ่านได้สูง

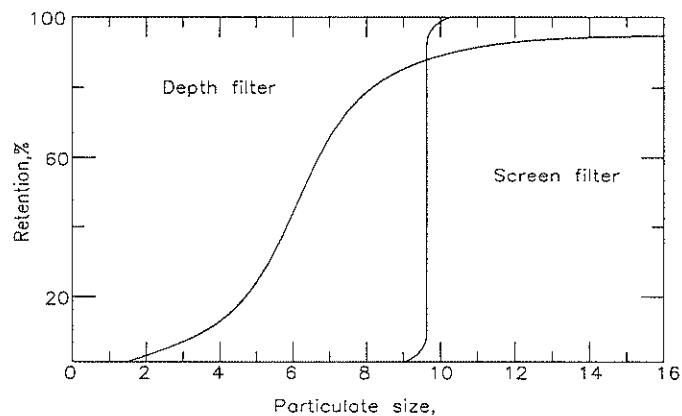
ความแตกต่างระหว่าง Screen และ Depth เมมเบรนคือแต่ละชนิดจะมีข้อดีข้อเสียต่างๆ กัน เพื่อประสิทธิภาพในการทำงานจำเป็นต้องศึกษาคุณลักษณะของแต่ละชนิดก่อนเลือกใช้

Screen membrane ควรจะใช้เมื่อผู้ใช้ต้องการให้มีสิ่งติดพันน้อย คือมีความสามารถสูงสุดในการกรองอนุภาคที่เป็นสารโมเลกุลใหญ่ สามารถกรองโปรตีนได้มากกว่า Depth membrane 10%

Depth membrane อนุภาคส่วนใหญ่จะถูกสกัดไว้ในรูพรุนของเมมเบรน นอกจากอนุภาคขนาดใหญ่คั้งนั้นการจับสกัดอนุภาคของ Depth membrane จะขึ้นอยู่กับ Tortuosity ของเส้นทางการไหล

2.12 กลไกการทำงานของกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน MF

อนุภาคที่มีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่าขนาดภาพของ Screen filter จะถูกกักไว้โดยตรงบนผิวหน้าของเมมเบรน ส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดรูของเมมเบรนสามารถผ่าน เมมเบรนออกไปได้ถ้าไม่มีการอัดติดเนื่องจากความเฉื่อย (Inertial impaction) และการซึมซาบ (Diffusion) ของอนุภาคบนผนังรู



ภาพที่ 2.4 เส้นโค้งการกักของเมมเบรนไมโครฟิลเตรชันสองแบบ

สำหรับกลไกการกักอนุภาคของ Depth filter คือ การดูดซับ และการดักติด (Entrapment) อนุภาคส่วนใหญ่ถูกจับไว้ภายในช่องของเมมเบรนยกเว้นอนุภาคที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ เนื่องจากความสามารถในการกักอนุภาคของ Depth filter ขึ้นอยู่กับความคดเคี้ยวของเส้นทางการไหล เมมเบรนแบบนี้จึงสามารถกักอนุภาคที่มีขนาดน้อยกว่าขนาดรูพิกัดได้ด้วย ลักษณะเส้นโค้งการกักอนุภาคของเมมเบรนทั้งสองแบบแสดงในภาพที่ 2.4 นอกจากนี้ Depth filter ยังมีพื้นที่ผิวใช้ประโยชน์ได้ (Available surface area) มากกว่า Screen filter อย่างมาก ดังนั้น Depth filter จึงสามารถกักอนุภาคได้เป็นปริมาณมากกว่า Screen filter และมีตำแหน่งให้โปรตีนและไวรัสยึดเหนี่ยวเป็นจำนวนมาก

Depth filter จึงสามารถกักอนุภาคไว้เป็นปริมาณมากกว่า Screen filter และมีตำแหน่งให้โปรตีน และไวรัสยึดเหนี่ยวเป็นจำนวนมาก

อย่างไรก็ตามในแง่ของอัตราการไหลจากเมมเบรนไมโครฟิลเตรชันทั้งสองแบบมีค่าเท่ากันโดยประมาณ ถึงแม้ว่า Depth membrane จะมีรูเปิดมากกว่าแต่ Screen membrane มีความบางกว่า กล่าวคือ Screen membrane มีความหนา 10 ไมครอน ขณะที่ Depth membrane หนา 50-120 ไมครอน

สำหรับสารอินทรีย์ เช่น โปรตีน แคลเทียเรีย อนุภาคแขวนลอย อาจถูกกำจัดด้วย กลไกการดูดติดผิวหน้าของเมมเบรน หรือภายในโครงสร้าง ขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำเมมเบรน คือ วัสดุชนิด Hydrophobic จะมีคุณสมบัติในการดูดติดสารอินทรีย์สูง และยอมให้ น้ำไหลผ่านได้น้อยกว่าชนิด Hydrophilic (เทียบที่ Molecular Weight cut off ขนาดเดียวกัน) แต่จะก่อให้เกิดการอุดตันเมมเบรน

การระบุลักษณะสมบัติของเมมเบรนมีรูพรุนของเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชัน ได้แก่ ค่าฟลักซ์ที่ผ่านเมมเบรน ขนาดรู การกระจายขนาดรู (Pore size distribution)

ค่าสมบัติความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ความแข็งแรงเชิงกล (Mechanical strength) เสถียรภาพต่อสารเคมีและความร้อน (Chemical and thermal stability) และการสามารถทำความสะอาดได้ (Clean ability)

ในการหาค่าฟลักซ์ที่ผ่านเมมเบรน ดังสมการที่ (5) โดยปกติทดสอบที่ค่าความดันต่างๆ กับน้ำสะอาด เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการอุดตันของรูฟลักซ์ที่ผ่านเมมเบรนมักลดลงตามระยะเวลาที่ดำเนินการทดลอง เนื่องจากเกิดการอัดตัว (Compaction) ของโครงสร้างเมมเบรนภายใต้แรงดัน ซึ่งค่าการอัดตัว (Compaction factor) สามารถหาได้จากค่าความชันของกราฟที่พลอต ระหว่างฟลักซ์ที่ความดันคงที่หนึ่งๆ กับเวลาบนสเกลกึ่งลอการิทึม (Semi-logarithm) หน่วยของ ฟลักซ์มีได้หลายแบบ เช่น ฟลักซ์เชิงปริมาตร มีหน่วยนับเป็น ปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่และหนึ่งหน่วยเวลา ฟลักซ์เชิงโมลมีหน่วยเป็น โมลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่และหนึ่งหน่วยเวลา ฟลักซ์เชิงมวลมีหน่วยเป็น น้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ และหนึ่งหน่วยเวลา เป็นต้น โดยพื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณ คือ พื้นที่ผิวของเมมเบรนที่ตั้งฉากกับความหนาของเมมเบรน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ ตั้งฉากกับทิศทางการไหล

$$J_V = \frac{V}{A\Delta t} \quad (5)$$

โดยที่ J_V	คือ อัตราการซึมผ่านเมมเบรน, ฟลักซ์ ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)
V	คือ ปริมาตรเพอร์มิเอทที่ผ่านเมมเบรน (m^3)
A	คือ พื้นที่ผิวของเมมเบรนที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล (m^2)
Δt	คือ เวลาที่เก็บเพอร์มิเอท (h)

ส่วนการกำจัดสารละลายออกจากน้ำ (Rejection) โดยการกรองผ่านเมมเบรนจะสกัดเอาสารละลายต่างๆ ออกจากน้ำ ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$R = \left[1 - \frac{C_p}{C_f} \right] \times 100\% \quad (6)$$

$$R_f = \left[1 - \frac{C_p}{C_r} \right] \times 100\% \quad (7)$$

โดยที่ R	คือ ค่าการกำจัดสารละลายออกจากน้ำ (Rejection) ในสารละลายป้อน (%)
R_f	คือ ค่าการกำจัดสารละลายในรีเทนเทท (%)
C_p	คือ ความเข้มข้นของสารละลาย ในเพอร์มิเอท (mg/l)
C_f	คือ ความเข้มข้นของสารละลายในสารละลายป้อน (mg/l)
C_r	คือ ความเข้มข้นของตัวละลายในรีเทนเทท (mg/l)

กลไกการทำงานของกระบวนการ MF จะแตกต่างจากกระบวนการกรองแบบธรรมดา (Conventional filtration) คือ ในระบบการกรองแบบธรรมดา เมื่อปล่อยให้ น้ำไหลผ่านชั้นกรองอนุภาคแขวนลอยจะถูกกำจัดโดยจะติดค้างอยู่ที่ผิวหน้าของสารกรอง (Surface filtration) หรือติดค้างในชั้นกรอง (In depth filtration) ส่วนใน MF อนุภาคแขวนลอยหรือสารอินทรีย์ จะถูกกำจัดโดยจะติดค้างอยู่ในช่องว่างของเมมเบรน เรียกกลไกนี้ว่า “กลไกการแยกสารแบบคัดขนาดอนุภาค (Sieve Mechanism)”

สำหรับสารอินทรีย์ เช่น โปรตีน แบคทีเรีย อนุภาคแขวนลอย อาจถูกกำจัดด้วยกลไกการดูดติดผิวหน้าของเมมเบรนหรือภายในโครงสร้าง ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำเมมเบรน คือ วัสดุชนิด

Hydrophobic จะมีสมบัติในการดูดติดสารอินทรีย์สูง และยอมให้น้ำไหลผ่านได้น้อยกว่าชนิด

Hydrophilic (เทียบที่ MWCO เดียวกัน) แต่จะก่อให้เกิดการอุดตันเมมเบรน

จุลชีพอาจถูกกำจัดด้วยกลไกที่เป็นไปได้ คือ

2.12.1 การเกาะติดของอนุภาคซึ่งอยู่ในน้ำดิบและสามารถถูกกำจัดโดยเมมเบรนได้

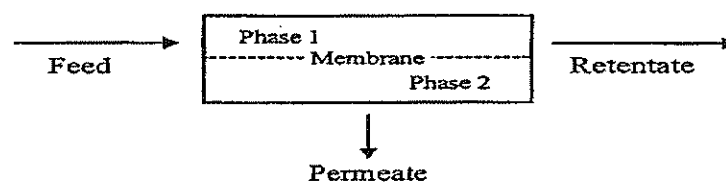
2.12.2 การกำจัดโดยการเกิดชั้นเค้กชั้นที่ผิวหน้าของเมมเบรน

2.12.3 การกำจัดโดย Membrane foul ants ซึ่งอัดแน่นโดยไม่สามารถล้างย้อนโดยอาศัยแรงดันนี้แก้ไขให้คืนสภาพเดิมได้

2.13 ลักษณะการกรองในกระบวนการ MF

ลักษณะการกรองแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ Dead – end และ Cross flow

2.13.1 การกรองแบบ Dead – end เป็นการใช้ความดันป้อนสารละลายให้ไหลในทิศทางที่ตั้งฉากกับเมมเบรน ดังแสดงในภาพที่ 2–4 สารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของเยื่อแผ่นจะถูกกักไว้บนผิวหน้าของเมมเบรน หรืออยู่ในรูพรุนของเมมเบรน ทำให้เกิดการอุดตันของอนุภาคบนผิวหน้าของเมมเบรนและเกิดการสะสมอย่างต่อเนื่อง เรียกว่า “เค้ก (Cake)” ปริมาณ permeate ที่ได้จะลงอย่างมาก ในทางปฏิบัติอาจต้องทำการล้างเมมเบรนบ่อยครั้งหรือเปลี่ยนเมมเบรนใหม่ ก่อนทำการกรองต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งระบบนี้เหมาะสำหรับใช้เมื่อสารละลายประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กและมีความเข้มข้นต่ำ



ภาพที่ 2.4 หลักการทำงานของกระบวนการเมมเบรน

2.13.2 การกรองแบบ Cross flow เป็นการใช้ความดันป้อนสารละลายให้ไหลในแนวขนานกับเยื่อแผ่น หรือตั้งฉากกับทิศทางการไหลของ permeate ทำให้เกิดแรงเฉือนบริเวณผิวหน้าของเมมเบรน กรวดอนุภาคที่เกาะบริเวณนั้นให้กลับเข้าไปในสารละลายอย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถควบคุมการอุดตันของเมมเบรนได้ดี ปริมาณ permeate ที่ได้มีค่าสูงกว่าการกรองแบบแรก ดังนั้นการประยุกต์ใช้ในปัจจุบัน จึงเป็น MF แบบไหลขวางเป็นส่วนใหญ่

2.14 สรุปลักษณะทั่วไปของไมโครฟิลเตรชัน รายละเอียด ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สรุปลักษณะทั่วไปของไมโครฟิลเตรชัน

ลำดับที่	ลักษณะ	รายละเอียด
1	เยื่อแผ่น	(a)symmetric porous
2	ความหนา	ประมาณ 10-150 μm
3	ขนาดรูพรุน	ประมาณ 0.05-10 μm
4	Driving force	ความดัน (<2 bar)
5	หลักการกรอง	กลไกค้ำขนาด
6	วัสดุที่ใช้เป็นเยื่อแผ่น	polymer, ceramic
7	การประยุกต์ใช้ที่สำคัญ	analytical application, Sterilization (food, pharmaceutical) Ultrapure water (semiconductors), Clarification (beverage)

2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นฤชา ฤชุพันธุ์ (2534) พบว่า ค่าความขุ่นของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลง เมื่อความเข้มข้นของสารส้มหรือความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบเพิ่มขึ้น โดยระบบจะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัว(คือความขุ่นมีค่าลดลงจนคงที่) ไม่เกิน 3 ชั่วโมง

สุพรรณพงษ์ (2550) สารเคมีสร้างตะกอน ได้แก่ อะลูมิเนียมซัลเฟต เพอร์ริกคลอไรด์ และ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ถูกใช้สำหรับการทดสอบแบบจาร์เทสกับแหล่งน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี การทดลองพบว่า ความเข้มข้นที่เหมาะสมของ อะลูมิเนียมซัลเฟต เพอร์ริกคลอไรด์ และ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ คือ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร, 30 มิลลิกรัมต่อลิตรและ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ สารเคมีส่วนใหญ่ให้ค่าการกำจัดความขุ่นสูงมากกว่าร้อยละ 90

ณัฐนาถ ประสมศรี (2537) ศึกษาถึงการนำเอาเมล็ดมะรุมาใช้เป็นสารโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เอต สำหรับการกำจัดความขุ่นในกระบวนการโคแอกกูเลชัน น้ำดิบที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำขุ่นสังเคราะห์จากดินคาโอลีน ที่มีค่าความขุ่น 20 50 100 200 และ 300 เอ็นทียู นอกจากนี้ยังใช้น้ำดิบธรรมชาติจาก 2 แหล่งคือ น้ำดิบจากคลองประปาและแม่น้ำนครชัยศรี การใช้

เมล็ดมะรุมร่วม กับสารส้มจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้เมล็ดมะรุมเพียงอย่างเดียวโดยให้ค่าความขุ่นตกค้างต่ำกว่า 10 เอ็นทียู

อุดมศักดิ์ เจียรวิชัย (2541) ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นจากโรงงานผลิตนมถั่วเหลืองด้วยกระบวนการดีเอพีและกระบวนการ โคแอกกูเลชัน โดยปรับเปลี่ยนค่าพีเอชของน้ำเสีย สภาวะที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดโดยกระบวนการ โคแอกกูเลชัน คือ พีเอช 4.5 , สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 200 มก./ล. และ โพลีเมอร์ประจุลบ 2 มก./ล. โดยมีเวลาดักเก็บ 40 นาทีและความเร็วเฉลี่ยในการตกตะกอน 0.425 ซม./วินาทีซึ่งให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็นและทีเอสเอสเท่ากับ 92.6%, 93.4% และ 92.6% ตามลำดับ

สุปรีดา หอมกลิ่น (2547) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในน้ำดิบ โดยการ โคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม จากผลการศึกษาพบว่า การ โคแอกกูเลชันที่ ค่า pH เท่ากับ 5.5 และ ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร (มก./ลิตร) pH เท่ากับ 6.0 และ ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 40 มก./ลิตร และ pH เท่ากับ 6.0 และ ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 40 มก./ลิตร เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำจากอ่างเก็บน้ำอ่างแก้ว, เขื่อนแม่กวง และแม่น้ำแม่สา ตามลำดับ โดยสภาวะดังกล่าวสามารถลดสารอินทรีย์ละลายน้ำชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ในน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำอ่างแก้ว, เขื่อนแม่กวงและแม่น้ำแม่สา ได้ 33.0 และ 79.6 เปอร์เซ็นต์, 27.6 และ 50.2 เปอร์เซ็นต์, และ 50.9 และ 79.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ยุวรี ชื่นทองอร่าม (2547) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนของเฟอร์ริก คลอไรด์ร่วมกับไคโตแซนในน้ำทิ้งโรงงานฆ่าสุกร พบว่าการใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ในการตกตะกอนที่ pH 5 มีประสิทธิภาพการกำจัดได้ดีกว่าที่ pH 7 โดยเมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 200 มล./ล. สามารถกำจัดค่าความขุ่นได้ 97.77%

สัญญา ว่องไวอมรเวช (2542) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีน โดยใช้กระบวนการ โคแอกกูเลชัน-ฟล็อกคูเลชัน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด ของแข็งแขวนลอยและความขุ่น เมื่อใช้สารส้มอัตรา 80 มิลลิกรัม/ลิตรหรือเฟอร์ริกคลอไรด์ ในอัตรา 40 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นสารสร้างตะกอนและใช้ปูนขาวอัตรา 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นตัวช่วยสร้างตะกอน ผลการทดลองพบว่าสารส้มและเฟอร์ริกคลอไรด์ มีประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นร้อยละ 95.14 และร้อยละ 96.20 ตามลำดับ โดยที่เฟอร์ริกคลอไรด์ มีประสิทธิภาพสูงกว่าสารส้ม

จารุวรรณ เกษมทรัพย์ (2538) วิธีการกำจัดฟอสเฟตจากน้ำเสียชุมชน โดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีในระดับห้องปฏิบัติการ โดยจะเป็นการตกตะกอนฟอสเฟตใน น้ำเสียตั้งเคราะห์ โดยอลูมิเนียมซัลเฟตและเฟอร์รัสซัลเฟต พบว่า การตกตะกอนในแต่ละความ เข้มข้นจะไม่แสดงผล

แตกต่างกันระหว่างน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความขุ่นและไม่มีความขุ่น พีเอชที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอน ด้วยอลูมิเนียมซัลเฟต คือ 5-7 สำหรับน้ำเสียที่มีฟอสเฟต 5 และ 10 มก./ล. และอยู่ในช่วง 4-8 สำหรับน้ำเสียที่มีฟอสเฟต 20 มก./ล. พบว่าในปริมาณสารสร้างตะกอนที่เท่ากัน อลูมิเนียมซัลเฟต จะมีผลทำให้พีเอชเปลี่ยนแปลงไปจากค่าพีเอชเริ่มต้นมากกว่า เพอร์สซัลเฟต แต่อลูมิเนียมซัลเฟตสามารถลดความขุ่นได้ดีกว่า ในขณะที่เพอร์สซัลเฟตจะทำให้เกิดตะกอนสีน้ำตาลแดงทั้งที่ตกจม และแขวนลอยภายหลังการตกตะกอน

นลินี เหลืองรุ่งรอง (2520) ค่าฟลักซ์ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด สำหรับการบำบัดน้ำขุ่นด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันแสดงให้เห็นว่าการบำบัดขุ่นด้วยลดการสะสมของอนุภาคที่ผิวหน้าเมมเบรนได้มาก สังเกตได้จากค่าความดันที่ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเดินระบบในระยะยาว สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับน้ำที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดขุ่น

อัศวิน กิตติชัชวาล (2538) การศึกษาถึงการนำโคโทแซนมาทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม สำหรับกำจัดความขุ่น การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำ โดยใช้โคโทแซนเป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้มโดยลดปริมาณสารส้มเป็นร้อยละ 30,50 และ 70 ของปริมาณที่เหมาะสม พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้สูงกว่าการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว ซึ่งการใช้โคโทแซนปริมาณ 0.01-0.2 มก./ล.ร่วมกับสารส้มที่ร้อยละ 50 ของปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้ดีที่พีเอชของน้ำเท่ากับ 6-8 โดยค่าความขุ่นของน้ำหลังการตกตะกอนต่ำกว่ามาตรฐานในทุกค่าความขุ่นที่ทดสอบ (ยกเว้นที่ความขุ่น 300 NTU และพีเอช 6) ดังนั้นการใช้โคโทแซนเป็นโคแอกกูแลนต์เอดในปริมาณที่เหมาะสมจะสามารถลดปริมาณการใช้สารส้มได้ถึงร้อยละ 50 โดยที่คุณภาพน้ำหลังการตกตะกอนได้ตามมาตรฐาน

อัญชลี นิมอนุสรณ์กุล (2538) การนำน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำผลไม้ ที่ผ่านการบำบัดจากระบบแผ่นหมุนชีวภาพกลับมาใช้ใหม่โดยผ่านกระบวนการ ตกตะกอนทางเคมีโดยใช้โพลีอลูมินัมคลอไรด์ (polyaluminum chloride, PACl) เป็นสารสร้างตะกอน ผลการทดลองจาร์เทสต์พบว่าปริมาณ PACl ที่เหมาะสมในการกำจัด อนุภาคคอลลอยด์ได้ดีที่สุดเท่ากับ 0.03 มก./ลิตร มีพีเอชเฉลี่ยของน้ำภายหลัง การบำบัดเท่ากับ 6.62 จะมีประสิทธิภาพในการลดความขุ่น ร้อยละ 98.84 ในการทดลองหาประสิทธิภาพของ PACl ที่พีเอช 2 ถึง 13 พบว่า PACl สามารถนำมาใช้ในการตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์ได้ดี ในช่วงพีเอช 4-10 โดยมีประสิทธิภาพการลดความขุ่นในช่วงร้อยละ 97.14-99.11

รัชฎาวรรณ พันธ์อำพน (2540) ศึกษาระบบการตกตะกอนน้ำดิบธรรมชาติที่มีความขุ่นสูง และ ตกตะกอนยาก ในห้องปฏิบัติการ โดยวิธีจาร์เจสต์ เพื่อหาชนิด ของสารเคมี ปริมาณการใช้ ค่าพีเอชเริ่มต้น และลำดับการ เติมสารเคมีที่เหมาะสม รวมทั้งอัตราเร็วในการตกตะกอน และปริมาณ ตะกอน สารเคมีที่มีความ เหมาะสมมากที่สุด ในงานวิจัยครั้งนี้คือ polyaluminum chloride (PAC1) ที่ปริมาณเหมาะสม (optimal dose) 70 มก./ล. ที่ pH เหมาะสม 7.0 ร่วมกับ anionic PE. ที่ปริมาณเหมาะสม 0.4 มก./ล. โดยเติมก่อน PAC1 ให้ประสิทธิภาพ การกำจัดความขุ่นสูงสุด คือ 99.68 %

ประ โยชน์ พรหมชัย (2540) การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาระดับ ความเข้มข้นที่ เหมาะสมของสารสร้างตะกอนผลึก 3 ชนิด ที่ใช้ในการลดปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งชุมชน ที่ผ่าน การบำบัดขั้นที่ 2 โดยกระบวนการตกตะกอนผลึก ทางเคมี โดยทำการทดลองเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจาก โรงงานบำบัดน้ำเสียห้วยขวางซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.50 - 7.80 มีค่าฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 3.32 - 6.94 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 2.10 - 15.70 NTU นำมาผ่านกระบวนการตกตะกอนผลึกทางเคมีโดยใช้วิธีจาร์เจสต์พบว่าจากการ ทดลองนี้พบว่าระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการลดปริมาณฟอสฟอรัสของ โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ เฟอร์ริกคลอไรด์และปูนขาว มีค่า 150, 150 และ 400 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพ ในการลดค่าฟอสฟอรัสได้ 91.93%, 90.70% และ 89.36% ตามลำดับ

ชัยฤทธิ์ (2530) อ่าง โคโย (คมกริช สุวรรณทา, 2550) จาร์เจสต์เป็นวิธีที่ใช้มาตั้งแต่ดั้งเดิม และปัจจุบันยังใช้อย่างกว้างขวาง จาร์เจสต์เป็นวิธีทดสอบอย่างง่าย ๆ โดยทำการทดลองใน บีกเกอร์ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสามารถปรับความเร็วรอบได้ ส่วนมากมักมีใบพัดกวนน้ำ 6 ใบ ในการทดลองแต่ละครั้งจะเลือกชนิดของสาร โคแอกกูแลนต์และกำหนดสภาวะต่างๆ ได้แก่ ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง ความเร็วรอบ ระยะเวลาการกวนน้ำและระยะเวลาในการตกตะกอนไว้ค่า หนึ่งจึงทำการทดลองโดยแปรเปลี่ยนเป็นปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์ ส่วนระดับพีเอชอาจ แปรเปลี่ยนหรือคงที่ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์จากนั้นก็จะได้ค่าประมาณ ชนิดของสาร โคแอกกูแลนต์ และระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการเกิด โคแอกกูแลชั่น ในการทดลองควรทำหลายๆ ครั้งเพื่อให้ได้ ค่าตัวแปรที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

พนิดา สามพราน ไพบูลย์ (2538) ศึกษาผลของตัวแปรที่มีต่อการลดลงของฟลักซ์, รีเจชันและความต้านทานต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการไมโคร ผลการศึกษาพบว่าสำหรับ ทุกๆ สารละลายฟลักซ์ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและค่อยๆ ลดลงในเวลาต่อมาที่สภาวะเดียวกัน สารละลายที่มีขนาด โมเลกุลเล็ก ได้แก่ BSA ให้ค่าฟลักซ์ต่ำกว่า เนื่องจากเกิดการอุดตันภายในรูพรุน มากกว่าสาร โมเลกุลใหญ่ สารละลายที่มีความหนืดสูง เช่น PEG เกิด Concentration Polarization ได้ มาก ทำให้ค่าฟลักซ์ต่ำเช่นกัน และทุกๆ กรณีฟลักซ์ลดลงเมื่อความเข้มข้นสูง จากการวิเคราะห์ความ

ด้านทานพบว่าความต้านทานเนื่องจากการเกิด fouling (R) ของสารละลายที่มีตัวถูกละลายขนาดเล็ก ประกอบอยู่จะมีส่วนทำให้ฟลักซ์ลดลงได้มากกว่าความต้านทาน เนื่องจากชั้นโพลาไรซ์ (R(p) ซึ่งทั้ง R(f) และ R(p) จะเพิ่มขึ้นกับเวลาและความดัน

สามารถ วิชัยโย (2005) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเกลือจาก 0.01 ถึง 0.08 กรัมต่อลิตร เพิ่มค่าการลดลงของฟลักซ์อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความเข้มข้นของเกลือจาก 0.055 ถึง 0.08 กรัมต่อลิตร ไม่ให้ความแตกต่างสำหรับการลดลงของฟลักซ์ การเพิ่มค่าพีเอชจาก 4 ถึง 10 ให้ผลการลดลงของฟลักซ์ที่ใกล้เคียงกันอาจเนื่องมาจากผลของความเข้มข้นเกลือเป็นตัวควบคุมการลดลงของฟลักซ์ ขณะที่ค่าการกำจัดเกลือของแต่ละปีจ้ยสามารถกำจัดได้มากกว่าร้อยละ 95 และแต่ละปีจ้ยให้ค่าการกำจัดใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ผลการทดลองยังพบว่าค่าการลดลงของฟลักซ์ของแต่ละปีจ้ยหลังการล้างด้วยสารเคมีแล้วแล้วอยู่ในช่วง 72 ถึง 85% เนื่องจากความเข้มข้นเกลือเป็นตัวควบคุมกราฟการลดลงของฟลักซ์

เสริมพลและไชยยุทธ (2524) อ้างโดย (คมกริช สุวรรณทา, 2550) เสนอแนะให้ใช้อัตราการกววนเร็ว 100 รอบ/นาที นาน 3 นาทีแล้วเปลี่ยนมากววนช้า 30 รอบ/นาที นาน 12 นาทีแล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 16

กรรมธิการ (2525) อ้างโดย (คมกริช สุวรรณทา, 2550) แนะนำให้ใช้อัตราการกววนเร็ว 100 รอบ/นาที นาน 1 นาที จากนั้นลดเหลือ ความเร็ว 30 – 40 รอบ/นาที นาน 20 นาทีแล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 1 ชั่วโมง

Cleasby (1990) อ้างโดย (คมกริช สุวรรณทา, 2550) แนะนำให้ใช้อัตราการกววนเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 0.5 – 1 นาทีแล้วเปลี่ยนมากววนช้า 25 ถึง 35 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 ถึง 20 นาทีแล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 ถึง 45 นาที

Degremont (1991) อ้างโดย (คมกริช สุวรรณทา, 2550) แนะนำเรื่องการทดสอบจารีตศาสตร์โดยให้คำแนะนำไว้ว่าอัตราการกววนเร็วควรทำที่ 200 รอบ/วินาที นาน 1 นาที จากนั้นลดความเร็วรอบลงเป็นการกววนช้าที่ความเร็ว 40 รอบ/วินาที นาน 20 นาที แล้วตกตะกอน 10 นาที

Linhua et al. ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของน้ำเสียที่มีชนิดของวัตถุอินทรีย์ที่ส่งผลในการอุดตันของไมโครฟิลเตรชันของกระบวนการบำบัดน้ำเสีย กลไกการอุดตันที่เป็นตัวควบคุมการลดลงของฟลักซ์ คือการดูดซับและอุดตันในโครงสร้างรูภายในของเมมเบรน

Zhong et al. (2003) การบำบัดน้ำมันที่มีน้ำมันจากหน่วยบำบัดสุดท้ายของกระบวนการกลั่นน้ำมันโดยใช้การตกตะกอนและการกรองระดับไมโครฟิลเตรชันด้วย zirconia membrane องค์ประกอบที่เป็นน้ำมันและค่า COD ลดลงเนื่องมาจากการรวมตะกอน ผลจากการทดสอบการ

กรองแสดงว่าการอุดตันของเมมเบรนลดลง ค่า permeate flux และคุณภาพของ permeate มีค่าสูงขึ้น เมื่อมีการตกตะกอนออกก่อน permeate ที่ได้จากการตกตะกอนและการกรองระดับไมโครฟิลเตรชัน เป็นไปตาม National Discharge Standard

Fane (1987) ได้กล่าวว่า กระบวนการเมมเบรน (Membrane process) เป็นกระบวนการที่ใช้แผ่นเมมเบรนเพื่อแยกสารหรือเพิ่มความเข้มข้นหรือทำสารให้บริสุทธิ์ขึ้น สำหรับสารละลายหรือก๊าซผสม กระบวนการเมมเบรนถูกค้นพบมานานกว่า 30 ปีแล้ว และมีการพัฒนาขึ้นมาเป็นลำดับจนปัจจุบันนี้มีการใช้กระบวนการในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยอาจนำไปใช้แทนกระบวนการแยกธรรมดาหรือใช้เสริมในกระบวนการเดิม

บทที่ 3

ระเบียบและวิธีดำเนินการ

ในการศึกษาเรื่องประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเบื้องต้นโดยวิธีการสารรวมตะกอนและไมโครฟิลเตรชัน มีกระบวนการทดลองดังภาพที่ 3.1 และมีรายละเอียดของขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

3.1 การเตรียมน้ำตัวอย่างในการทดลอง ใช้ตัวอย่าง 2 ชนิด ดังต่อไปนี้

3.1.1 น้ำตัวอย่างจากแหล่งน้ำดิบหนองอู๋เจมของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

3.1.2 น้ำสังเคราะห์ โดยใช้ เกาลิน (Kaolin) ในการสร้างความขุ่นเนื่องจากเกาลินเมื่อนำมาละลายในน้ำจะทำให้ น้ำมีสมบัติคล้ายกับน้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติ โดยสารละลายที่เตรียมได้นี้สามารถที่จะปรับเปลี่ยนค่าปัจจัยแต่ละปัจจัยได้ซึ่งแตกต่างจากน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยน้ำสังเคราะห์มีวิธีการเตรียมดังต่อไปนี้

3.1.2.1 ชั่งเกาลิน 0.02 กรัม

3.1.2.2 เติมน้ำ DI 1,000 มิลลิลิตร

ตารางที่ 3.1 ค่าความเข้มข้นเกาลินกับความขุ่น (สามารถ สีชัยโย, 2548)

ความเข้มข้นเกาลิน (กรัมต่อลิตร)	ความขุ่น (เอ็นทียู)
0.01	1.547
0.02	8.61
0.03	15.67
0.04	19.57
0.05	20.1
0.06	31.2
0.07	42.58
0.08	43.85

บทที่ 3

ระเบียบและวิธีดำเนินการ

ในการศึกษาเรื่องประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเบื้องต้นโดยวิธีการสารรวมตะกอนและไมโครฟิลเตรชัน มีกระบวนการทดลองดังภาพที่ 3.1 และมีรายละเอียดของขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

3.1 การเตรียมน้ำตัวอย่างในการทดลอง ใช้ตัวอย่าง 2 ชนิด ดังต่อไปนี้

3.1.1 น้ำตัวอย่างจากแหล่งน้ำดิบหนองอู๋เจมของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

3.1.2 น้ำสังเคราะห์ โดยใช้ เกาลิน (Kaolin) ในการสร้างความขุ่นเนื่องจากเกาลินเมื่อนำมาละลายในน้ำจะทำให้ น้ำมีสมบัติคล้ายกับน้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติ โดยสารละลายที่เตรียมได้นี้สามารถที่จะปรับเปลี่ยนค่าปัจจัยแต่ละปัจจัยได้ซึ่งแตกต่างจากน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยน้ำสังเคราะห์มีวิธีการเตรียมดังต่อไปนี้

3.1.2.1 ชั่งเกาลิน 0.02 กรัม

3.1.2.2 เติมน้ำ DI 1,000 มิลลิลิตร

ตารางที่ 3.1 ค่าความเข้มข้นเกาลินกับความขุ่น (สามารถ สีชัยโย, 2548)

ความเข้มข้นเกาลิน (กรัมต่อลิตร)	ความขุ่น (เอ็นทียู)
0.01	1.547
0.02	8.61
0.03	15.67
0.04	19.57
0.05	20.1
0.06	31.2
0.07	42.58
0.08	43.85

จากตารางที่ 3.1 สามารถนำค่าความเข้มข้นที่ได้มาเตรียมน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ โดยจะนำความขุ่นที่เกิดจากเกอลีนมีความเข้มข้น 0.02 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแหล่งน้ำจากธรรมชาติที่ทำการวิเคราะห์ได้ คือ 4.85 เอ็นทียู โดยแหล่งน้ำจากธรรมชาติส่วนใหญ่จะมีค่าความขุ่นระหว่าง 0–30 เอ็นทียู โดยทั่วไปค่าความขุ่นของแหล่งน้ำแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ค่าความขุ่นเล็กน้อยซึ่งมีค่าความขุ่นอยู่ที่ 0–25 เอ็นทียู ค่าความขุ่นปานกลางมีค่าความขุ่นอยู่ที่ 25–100 เอ็นทียู และค่าความขุ่นมากซึ่งอยู่ที่ค่าความขุ่นตั้งแต่ 100 เอ็นทียู ขึ้นไป ดังนั้นค่าความขุ่นที่นำมาใช้ในการทดลองจะใช้ค่าความขุ่น ในช่วงความขุ่นเล็กน้อยเนื่องจากเป็นค่าความขุ่นเฉลี่ยของแหล่งน้ำผิวดินในประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

3.2 ขั้นตอนการทำจาร์เทส การทดลองในครั้งนี้ศึกษาความเหมาะสมของสารเคมีและหาค่าพีเอชที่เหมาะสม ซึ่งมีวิธีการเตรียมน้ำตัวอย่างในการทำจาร์เทสดังต่อไปนี้

3.2.1 การหาความเหมาะสมของสารเคมี มีวิธีการเตรียมน้ำตัวอย่างในการทำจาร์เทส คือ เติมน้ำลงในบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร ให้ได้ปริมาตร 2 ลิตร จำนวน 4 ใบ เติมสาร Coagulant aid ได้แก่ อะลูมิเนียมซัลเฟต เพอร์ริกคลอไรด์ และพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 200 300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร (ใช้บีกเกอร์ 2 ลิตร เติม 400 600 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร)

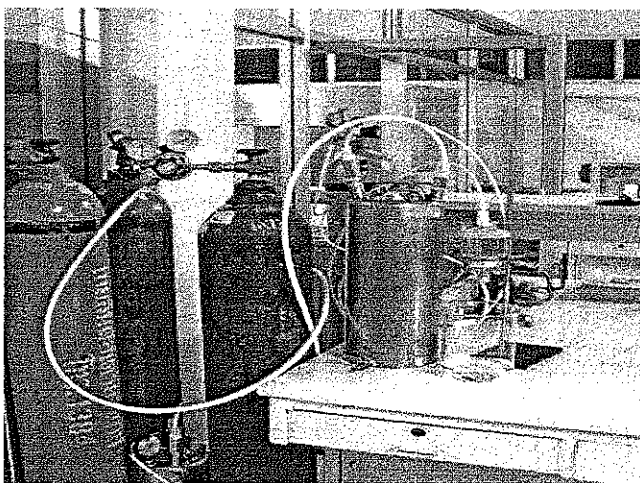
3.2.2 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสม มีวิธีการเตรียมน้ำตัวอย่างในการทำจาร์เทสคือ เติมน้ำลงในบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร ให้ได้ปริมาตร 2 ลิตร จำนวน 4 ใบ ปรับพีเอช 4 5 7 9 และ 10 ในแต่ละพีเอชเติมสารเคมีที่มีความเข้มข้นที่ได้จากข้อ 3.2.1 จะได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารเคมีในแต่ละชนิด นำความเข้มข้นของสารเคมีที่ได้เติมลงไปในแต่ละพีเอช

3.2.3 ทำการจาร์เทสโดยให้มีการกวนเร็ว (Rapid mixing, 100 รอบต่อนาที) ประมาณ 1 นาที และกวนช้า (Slowly mixing, 30 รอบต่อนาที) ประมาณ 30 นาที และตั้งทิ้งไว้ ให้เกิดการตกตะกอน 1 ชั่วโมง ซึ่งจะเกิดการแบ่งชั้นน้ำใสเกิดขึ้น เปิดน้ำใสมาวิเคราะห์ค่าพีเอช (pH) ค่าความขุ่น (Turbidity) และ Total Organic Carbon (TONGSAKULCHAI) ตามมาตรฐานของวิธีในหนังสือ Standard method (2005) และนำชั้นน้ำใสไปผ่านกระบวนการไมโครเพื่อหาค่าฟลักซ์ของส่วน เพอร์มิเอท (Permeate flux)

3.3 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ศึกษา

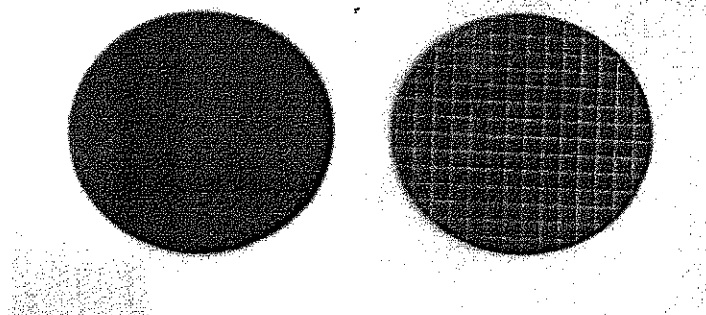
3.3.1 เครื่องมือ

3.3.1.1 ชุดทดลองใช้ชุดทดลอง Dead end unit cell รุ่น SM 16510/11 แบบไหลตรง ขนาดความจุ 250 มิลลิลิตร พื้นที่ในการกรอง 17.35 ตารางเซนติเมตร ความดันไม่เกิน 2 บาร์ พร้อมถังบรรจุก๊าซไนโตรเจนพร้อมอุปกรณ์ (มาตรวัดแรงดัน วาล์วสายยาง) เพื่อใช้แรงดันของก๊าซขับน้ำตัวอย่างจากถังเก็บไปยังชุดทดลอง ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ชุดทดลองพร้อมถังบรรจุก๊าซไนโตรเจนและอุปกรณ์ในการทดลอง

3.3.1.2 เมมเบรน ในการศึกษานี้ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน Sartorius membrane filter ชนิด Cellulose Nitrate ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร ลักษณะดังภาพที่ 3.2



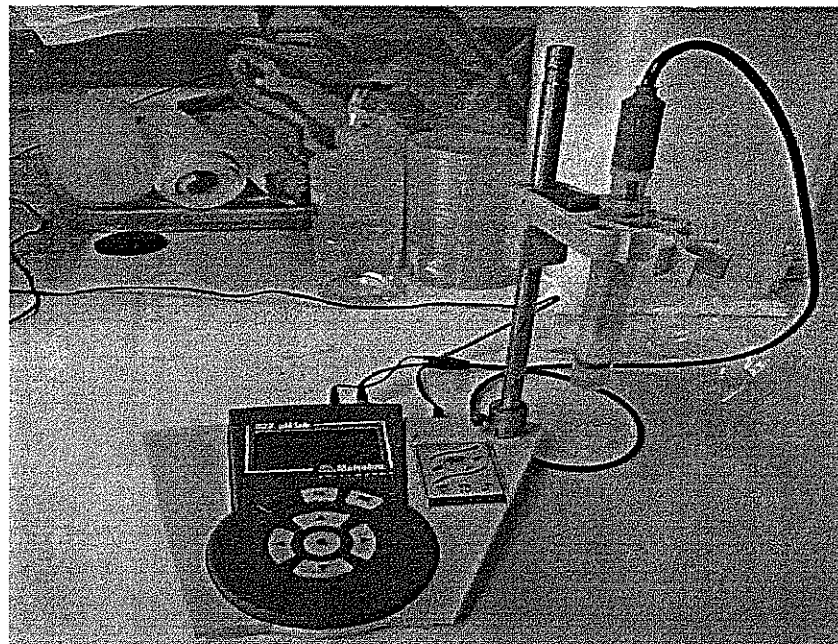
ภาพที่ 3.2 ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน Sartorius membrane filter ชนิด Cellulose Nitrate

3.3.1.3 เครื่องจาร์เทส (Jar test) ใช้ในการตกตะกอน



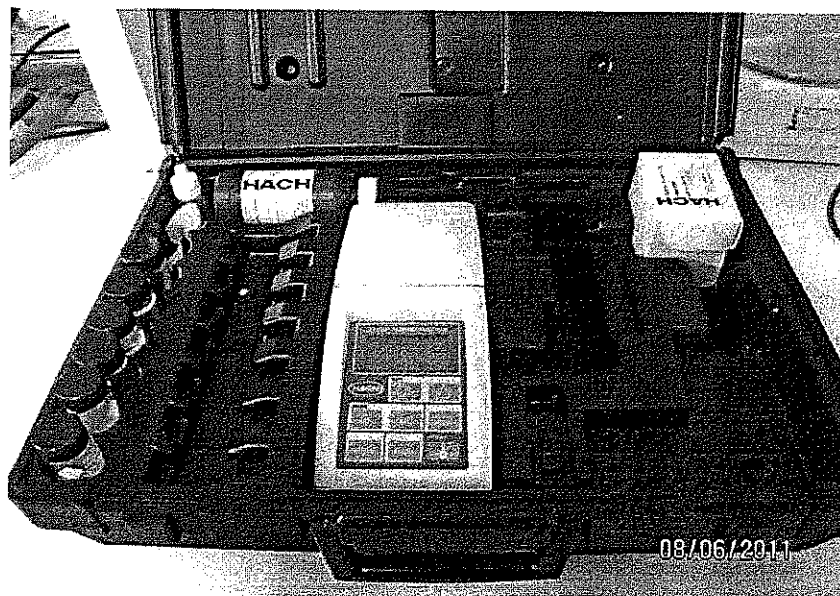
ภาพที่ 3.3 เครื่องจาร์เทส (Jar test)

3.3.1.4 เครื่องมือวิเคราะห์ค่าพีเอช (pH meter) ใช้วัดค่า พีเอช



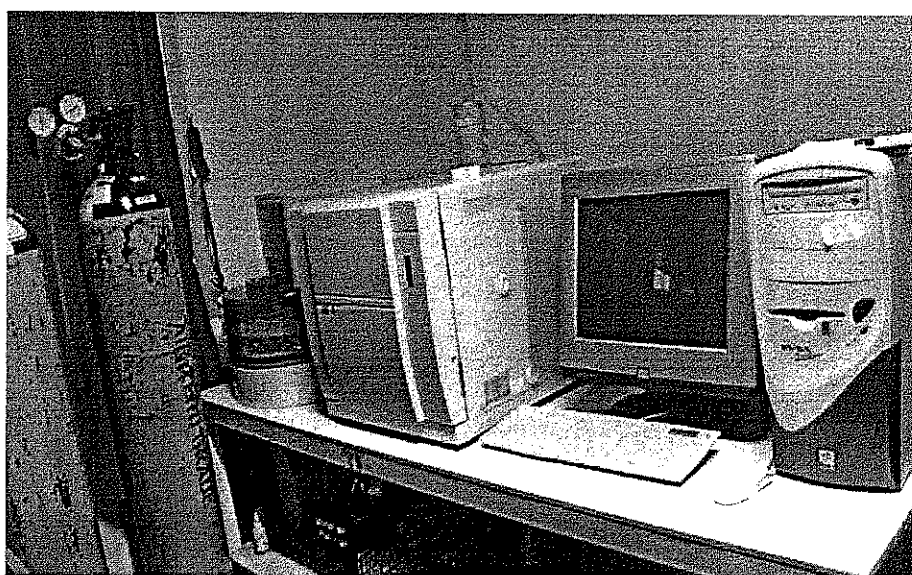
ภาพที่ 3.4 เครื่องมือวิเคราะห์ค่าพีเอช

3.3.1.5 เครื่องวัดความขุ่นใช้วัดค่าความขุ่น



ภาพที่ 3.5 เครื่องมือวิเคราะห์ค่าความขุ่น

3.3.1.6 เครื่องวิเคราะห์ Total Organic Carbon (TOC) ใช้วัดค่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด



ภาพที่ 3.6 เครื่องมือวิเคราะห์ค่า Total Organic Carbon

3.3.1.7 เครื่องชั่ง ใช้ในการชั่งสารเคมี และน้ำ permeate



ภาพที่ 3.7 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง

3.3.1.8 เตาเผาอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ใช้ในการอบขวดก่อนนำไปวัด โดยอบที่ 550 องศาเซลเซียส เริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิได้ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นปล่อยให้ขวดเย็น ก่อนนำไปใส่ตัวอย่าง



ภาพที่ 3.8 เตาเผาอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

3.3.2 วัสดุอุปกรณ์

3.3.2.1 ปีกเกอร์ ขนาด 100 400 1,000 2,000 และ 5,000 มิลลิลิตร

3.3.2.2 กระจบอขวด ขนาด 1,000 มิลลิลิตร

3.3.2.3 นาฬิกาจับเวลา

3.3.2.4 แท่งแก้วคนสาร

3.3.2.5 ซ้อนตักสารเคมี

3.3.2.6 ขวดพลาสติก 100 มิลลิลิตร

3.3.2.7 Pipette ขนาด 1 5 10 และ 25 มิลลิลิตร

3.3.2.8 ขวดแก้ว ขนาด 1,000 มิลลิลิตร

3.3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.3.3.1 อะลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$, Merck)

3.3.3.2 เฟอริกคลอไรด์ (FeCl_3 , APS laboratory unilab reagent)

3.3.3.3 พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PACl, Poly aluminum chloride 18% Al_2O_3)

3.3.3.4 Sodium hydroxide (NaOH)

3.3.3.5 Hydrochloric acid (HCl)

3.3.3.6 Kaolin

3.4 การเตรียมสารเคมี (วิธีคำนวณ ฤดูกาลผนวก)

3.4.1 เตรียมอะลูมิเนียมซัลเฟต และเฟอริกคลอไรด์ 1% โดยชั่งสารอะลูมิเนียมซัลเฟต และเฟอริกคลอไรด์ 10 กรัม

3.4.2 เติมน้ำ 1,000 มิลลิลิตร จะให้ความเข้มข้นของอะลูมิเนียมซัลเฟต 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และเฟอริกคลอไรด์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.4.3 เตรียมสารพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ ต้องการเตรียม ร้อยละ 1 โดยดวง โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 33.33 มิลลิลิตร เติมน้ำ DI ให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร จะให้ความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.5 วิธีการเก็บน้ำตัวอย่าง

3.5.1 น้ำตัวอย่างก่อนกรอง โดยเก็บตัวอย่างหลังจากทำการจาร์เทส แล้ววางไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนจะดำเนินระบบ

3.5.2 น้ำตัวอย่างในการดำเนินระบบ มีวิธีการเก็บน้ำตัวอย่างดังต่อไปนี้

3.5.2.1 เก็บตัวอย่าง ณ 0 นาที โดยจับเวลาจาก นาทีที่ 0 – 1 นาที

3.5.2.2 เก็บตัวอย่าง ณ 5 นาที โดยจับเวลาจาก นาทีที่ 5 – 6 นาที

3.5.2.3 เก็บตัวอย่าง ณ 10 นาที โดยจับเวลาจาก นาทีที่ 10 – 11 นาที

3.5.2.4 เก็บตัวอย่าง ณ 15 นาที โดยจับเวลาจาก นาทีที่ 15 – 16 นาที

3.5.2.5 เก็บตัวอย่าง ณ 30 นาที โดยจับเวลาจาก นาทีที่ 30 – 31 นาที

3.5.2.6 เก็บตัวอย่าง ณ 45 นาที โดยจับเวลาจาก นาทีที่ 45 – 46 นาที

3.5.2.7 เก็บตัวอย่าง ณ 60 นาที โดยจับเวลาจาก นาทีที่ 60 – 61 นาที

3.5.2.8 เก็บตัวอย่าง ณ 90 นาที โดยจับเวลาจาก นาทีที่ 90 – 91 นาที

3.5.2.9 เก็บตัวอย่าง ณ 120 นาที โดยจับเวลาจาก นาทีที่ 120 – 121 นาที

หมายเหตุ ในกรณีที่เมมเบรนเกิดการอุดตันในช่วงระยะเวลาในการเก็บน้ำตัวอย่างทำให้ตัวอย่างมีปริมาตรน้อยมาก ดังนั้น จะต้องทำการเก็บตัวอย่าง มากกว่า 1 ขึ้นไป เช่น นาทีที่ 5 จับเวลาจากนาทีที่ 4-6 นาที หรือ 3-7 นาที เพื่อเป็นการเก็บน้ำตัวอย่างให้เพียงพอในการวิเคราะห์ค่าพีเอช ค่าความขุ่น และ Total Organic Carbon

3.6 การทดลอง

3.6.1 การเตรียมเมมเบรน ก่อนการทดลองต้องทำความสะอาดเมมเบรนทุกครั้ง โดยนำเมมเบรนที่เตรียมไว้มาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ pH 10 เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมาแช่ในสารละลายไฮโดรคลอริก pH 4 เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน (น้ำ DI) จากนั้นนำเมมเบรนวางในชุดทดลอง Dead-end Unit cell และเชื่อมต่อเข้ากับระบบดำเนินการ แล้วดำเนินระบบวัดอัตราการไหลที่ความดัน 5 10 15 และ 20 psi ด้วยน้ำปราศจากไอออนเป็นเวลา 30 นาที ก่อนที่จะทำการดำเนินระบบด้วยน้ำตัวอย่าง

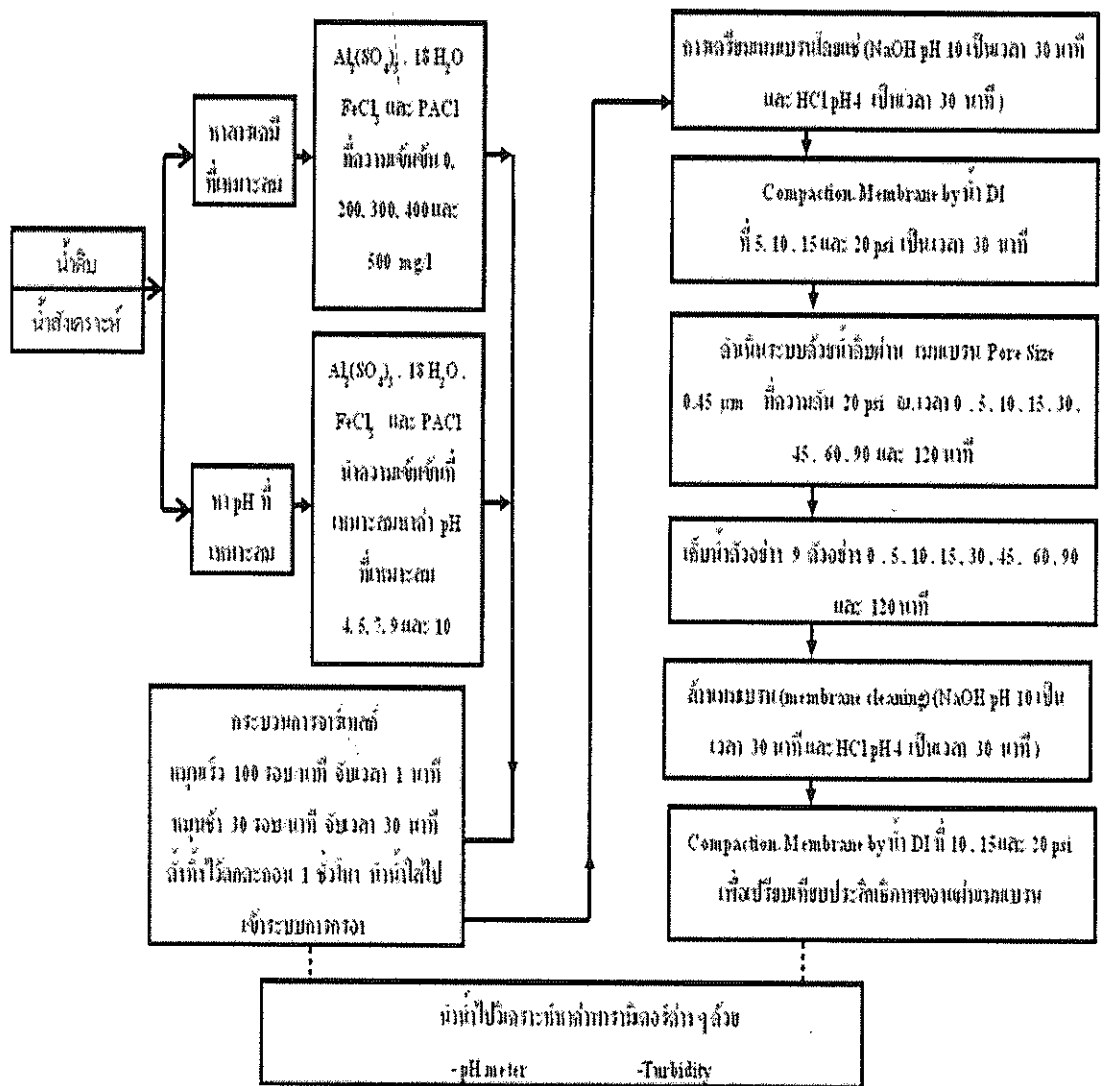
3.6.2 นำน้ำตัวอย่างที่เตรียมไว้บรรจุลงในถังเก็บ ขนาด 10 ลิตร แล้วดำเนินระบบด้วยความดัน 20 psi เริ่มจับเวลานับตั้งแต่ตัวอย่างเข้าสู่ระบบ โดยใช้บีกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร รองรับน้ำที่ผ่านเมมเบรนออกมา (Permeate) เพื่อคำนวณหาอัตราการไหลของ Permeate โดยดำเนินระบบผ่านเมมเบรน ขนาด Pore size 0.45 ไมโครเมตร ที่ความดัน 20 psi เป็นเวลา 120 นาที

3.6.3 เก็บตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อหาค่าประสิทธิภาพในการเก็บกักสาร โดยการเก็บน้ำตัวอย่างทั้งหมด 9 ตัวอย่าง ที่เวลาดำเนินระบบ 0 5 10 15 30 45 60 90 และ 120 นาที ตามลำดับ นำน้ำตัวอย่างที่เก็บไว้มาวิเคราะห์หา พีเอช ค่าความขุ่นและ Total Organic Carbon

3.6.4 ล้างเมมเบรน นำเมมเบรนหลังจากขั้นตอนที่ 3.4.1.2 เมื่อดำเนินระบบผ่านน้ำตัวอย่างแล้วล้างเมมเบรน (Membrane cleaning) ด้วยน้ำปราศจากไอออนและสารเคมี แล้วทำซ้ำขั้นตอนที่ 3.6.1 อีกครั้ง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นเมมเบรนก่อนและหลังการดำเนินระบบ

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาความเหมาะสมของสารเคมีและความเหมาะสมของค่า pH ในการกำจัดความขุ่นและนำผลการทดลองที่ได้เพื่อนำมาคิดเป็นค่าประสิทธิภาพ ซึ่งดัชนีที่บอกประสิทธิภาพของระบบเป็นค่า ฟลักซ์ (Flux) และอัตราการกำจัด (Rejection) ซึ่งการทดลองทั้งหมดดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.9 ขั้นตอนในการทดลอง

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเบื้องต้นโดยสารรวมตะกอนและไมโครฟิลเตรชันด้วยการนำน้ำผิวดินที่มีความขุ่นต่ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติหนองอีเจมในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี และน้ำตัวอย่างสังเคราะห์มาผ่านการบำบัดน้ำเบื้องต้นด้วยกระบวนการรวมตะกอน จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นเข้าสู่กระบวนการกรองโดยใช้เมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชัน ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของสารเคมีช่วยในการสร้างและรวมตะกอน (Coagulation-Flocculation Process) สำหรับการกำจัดความขุ่นของน้ำตัวอย่างที่ประสิทธิภาพการกำจัดที่ดีที่สุด ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดด้วยกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน ศึกษาคุณสมบัติของน้ำตัวอย่าง เช่น การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช และความขุ่น

4.1 คุณลักษณะของน้ำตัวอย่าง

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของแหล่งน้ำ (ภานุวัฒน์ สีทา, 2550)

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้
พีเอช	7.05
สารคาร์บอนทั้งหมด (Total organic carbon)	4.42 mg.L ⁻¹
การดูดกลืนแสง UV _{254nm} (UV Absorbance)	0.148 cm ⁻¹
การดูดกลืนแสงจำเพาะ (Specific UVA (UV _{254nm} /Tongsaeksees))	5.98 L. mg ⁻¹ . m ⁻¹
การนำไฟฟ้า (Conductivity) ที่อุณหภูมิ 25 ^{องศาเซลเซียส}	44 μ S.cm ⁻¹
ความขุ่น (Turbidity)	4.85 เอ็นทียู
ความกระด้าง (Hardness)	15.4 mg as CaCO ₃ /L
ความเป็นด่าง (Alkalinity) i.e. HCO ₃ ⁻	22 mg as CaCO ₃ /L
ปริมาณแคลเซียม (Ca ²⁺)	5.6 mg as CaCO ₃ /L
ปริมาณแมกนีเซียม (Mg ²⁺)	9.8 mg as CaCO ₃ /L
ปริมาณคลอไรด์ (Cl ⁻)	3.25 mg Cl ⁻ /L
ปริมาณซัลเฟต (SO ₄ ²⁻)	0.07 mg SO ₄ ²⁻ /L

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 พบว่า พารามิเตอร์ของน้ำตัวอย่างแสดงถึงคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดิน ที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมได้อย่างเหมาะสม และค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 4.85 เอ็นทียู ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของน้ำผิวดินที่มีความขุ่นต่ำ ส่วนค่าของคาร์บอนทั้งหมดของน้ำผิวดินมีค่าเท่ากับ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2 ประสิทธิภาพของชนิดสารเคมีที่มีผลต่อการลดค่าความขุ่น

4.2.1 อะลูมิเนียมซัลเฟต

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของสารเคมีช่วยในการสร้างและรวมตะกอนของสาร $Al_2(SO_4)_3$

Time	Rejection Turbidity (%)									
	0 มิลลิกรัมต่อลิตร		200 มิลลิกรัมต่อลิตร		300 มิลลิกรัมต่อลิตร		400 มิลลิกรัมต่อลิตร		500 มิลลิกรัมต่อลิตร	
(min)	น้ำดิบ	น้ำสังเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำสังเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำสังเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำสังเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำสังเคราะห์
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	83.71	16.83	10.1	16.83	43.92	20.29	24.18	31.82	11.34	24.36
10	84.27	20.79	25.25	20.79	34.46	18.84	25.27	38.64	22.68	25.64
15	84.37	24.75	32.32	24.75	41.89	24.64	9.89	42.05	25.77	25.64
30	84.45	37.62	43.43	37.62	11.49	23.19	23.08	44.32	6.19	23.08
45	84.56	41.58	47.47	41.58	39.19	26.09	5.49	45.45	25.77	25.64
60	84.7	42.57	55.56	42.57	23.65	30.43	0.00	48.86	24.74	23.08
90	85.34	46.53	43.43	44.55	63.51	42.03	26.37	53.41	41.24	25.64
120	85.69	51.49	67.68	51.49	41.89	53.62	30.77	57.95	45.36	33.33
Average	75.23	31.35	36.14	31.13	33.33	26.57	16.12	40.28	22.57	22.93

จากตาราง 4.2 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสาร $Al_2(SO_4)_3$ จาก 0 200 300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำดิบให้ค่าการกำจัดความขุ่นร้อยละ 75.23 36.14 33.33 16.12 และ 22.57 ตามลำดับ และในน้ำสังเคราะห์ให้ค่าการกำจัดความขุ่นร้อยละ 31.35 31.13 26.57 40.28 และ 22.93 ตามลำดับ จากตาราง พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสาร $Al_2(SO_4)_3$ ละลายในน้ำ จะเกิด H^+ ซึ่งจะทำให้พีเอชลดลง (ผลแสดงในภาพผนวก จากตารางที่ ก.1) จนกระทั่งถึงจุดที่ทำให้ อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ไม่เกิดจนกว่า H^+ จะถูกกำจัดออกไปความเป็นด่างในน้ำเนื่องจาก ไบคาร์บอเนตจะช่วยให้พีเอชลดลงโดยทำลาย H^+ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2541) ในน้ำดิบ เปรอร์เซ็นต์การกำจัดความขุ่นลดลงจนกระทั่งความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ร้อยละการกำจัดความขุ่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งน้ำดิบไม่เติมสารเคมีให้ค่าการกำจัดความขุ่นดีกว่าการเติมสารเคมี เนื่องจากการเติมสาร $Al_2(SO_4)_3$ มากเกินไปสารแขวนลอยจะกลับมาอยู่ในสถานะเสถียร (restabilization) เนื่องจากเกิดแรงผลักดันระหว่างสารแขวนลอยที่ดูดซับอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่มีประจุบวก ค่าการกำจัดจึงลดต่ำลง ซึ่งความเข้มข้นที่เหมาะสมของ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ใช้ในการทำจาร์เทส จากแหล่งน้ำที่ใช้กระบวนการผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี คือ ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 94.5 (สุพัฒน์พงษ์ มัตราข, 2550) ในส่วนการเพิ่มความเข้มข้นของสาร $Al_2(SO_4)_3$ ในน้ำสังเคราะห์ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าการกำจัดความขุ่นเพิ่มขึ้นการเพิ่มความเข้มข้นทำให้สาร $Al_2(SO_4)_3$ สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้เกิดอนุพลไฮโดรเจนไอออนในสารละลายอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ จะเกิดเป็นไอออนบวกและถูกดูดซับบนผิวอนุภาค ในส่วนน้ำสังเคราะห์เมื่อนำน้ำสังเคราะห์กับน้ำดิบที่เติมสารโคแอกกูเลชัน มาเปรียบเทียบกัน พบว่าน้ำสังเคราะห์ให้ค่าการกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าน้ำดิบที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตรคือ ร้อยละ 40.28 ส่วนน้ำดิบค่าการกำจัดที่ดีที่สุดในการเติมสารเคมี คือ ร้อยละ 36.14 ตามลำดับ

4.2.2 เฟอร์ริกคลอไรด์

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของสารเคมีช่วยในการสร้างและรวมตะกอนของสาร FeCl₃

Time	Rejection Turbidity (%)									
	0 มิลลิกรัมต่อลิตร		200 มิลลิกรัมต่อลิตร		300 มิลลิกรัมต่อลิตร		400 มิลลิกรัมต่อลิตร		500 มิลลิกรัมต่อลิตร	
(min)	น้ำดิบ	น้ำ สังเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำ สังเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำ สังเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำ สังเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำ สังเคราะห์
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	83.71	16.83	37.12	16.83	32.89	20.29	7.41	31.82	6.64	24.36
10	84.27	20.79	26.52	20.79	17.11	18.84	1.85	38.64	19.91	25.64
15	84.37	24.75	34.85	24.75	30.26	24.64	20.37	42.05	36.49	25.64
30	84.45	37.62	0.76	37.62	42.11	23.19	9.26	44.32	47.39	23.08
45	84.56	41.58	31.82	41.58	7.89	26.09	1.85	45.45	66.82	25.64
60	84.70	42.57	14.39	42.57	28.95	30.43	0.00	48.86	73.93	23.08
90	85.34	46.53	59.09	44.55	34.21	42.03	18.52	53.41	76.78	25.64
120	85.69	51.49	34.85	51.49	26.32	53.62	29.63	57.95	75.83	33.33
Average	75.23	31.35	26.60	31.13	24.42	26.57	9.88	40.28	44.87	22.93

จากตาราง 4.3 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสาร FeCl₃ จาก 0 200 300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ค่าการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบร้อยละ 75.23 26.60 24.42 9.88 และ 44.87 ตามลำดับ และค่าการกำจัดความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ร้อยละ 31.35 31.13 26.57 40.28 และ 22.93 ตามลำดับ จากตาราง 4.3 พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารในน้ำดิบทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดความขุ่นลดลงจนกระทั่งความเข้มข้นจาก 400 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ค่าการกำจัดความขุ่นจากร้อยละ 9.88 และ 44.87 ตามลำดับ ซึ่งน้ำดิบไม่เติมสารเคมีให้ค่าการกำจัดความขุ่นดีกว่าการเติมสารเคมี เนื่องจาก การเติมสาร FeCl₃ มากเกินไปทำให้ค่าพีเอชต่ำซึ่งพวกที่มีประจุบวกจะเกิดมาก ซึ่งค่า pH อยู่ในช่วง 3.01–3.55 (ผลแสดงในภาคผนวก จากตารางที่ ข.1) ซึ่งจะมีฤทธิ์เป็นกรดและกัดกร่อน ซึ่งปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะได้ตะกอนเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)₃) และการเติมสารเคมีมากเกินไปยังทำให้สารแขวนลอยจะกลับมาอยู่ในสถานะเสถียร เนื่องจากเฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารเคมีที่แตกตัวในน้ำ รูปแบบของสารประกอบเหล็กเมื่อละลายน้ำนั้นจะมีประจุบวกจึงเกิดแรงผลักกันระหว่างสารแขวนลอยที่ดูดซับเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ที่มีประจุบวกค่าการกำจัดจึง

ลดต่ำลงซึ่งความเข้มข้นที่เหมาะสมของ FeCl_3 ที่ใช้ในการทำจารเทสจากแหล่งน้ำที่ใช้ กระบวนการผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี คือ ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 94.5 (สุพรรณพงษ์ มัตราช, 2550) และใช้ FeCl_3 ที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการลดค่าความขุ่นจากน้ำทิ้งโรงงานขนมจีนโดยให้ค่าการกำจัดความขุ่น ร้อยละ 96.20 (สัญญา ว่องไวอมรเวช, 2542) ในส่วนการเพิ่มความเข้มข้นของสาร FeCl_3 ในน้ำสังเคราะห์เมื่อเพิ่มความเข้มข้นค่าการกำจัดจะลดต่ำลงจนกระทั่งเพิ่มความเข้มข้นของ สารเคมีจาก 300 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ค่าการกำจัดความขุ่นเพิ่มขึ้นจาก ร้อยละ 26.5 เป็นร้อยละ 40.28 และลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ ร้อยละ 22.93 และการเติมสารเคมีมากเกินไปยังทำให้สารแขวนลอยจะกลับมาอยู่ใน สถานะเสถียรซึ่งการใช้เกลือเป็นน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดความขุ่น ในน้ำสังเคราะห์ เท่ากับร้อยละ 98.2 เมื่อเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ 70 มิลลิกรัมต่อลิตร (อนุรักษ์ ปิติรักษ์สกุล และคณะ, 2544) โดยที่ผลการทดลองคล้ายๆ กับการใช้ FeCl_3 ในน้ำดิบ คือ การเพิ่มความเข้มข้นทำให้สาร FeCl_3 สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้เกิดอนุภาค ไฮโดรเจนไอออนในสารละลายเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์จะเกิดเป็นไอออนบวกและถูกดูดซับบน ผิวอนุภาคเมื่อนำน้ำสังเคราะห์กับน้ำดิบที่เติมสารโคแอกกูเลชันมาเปรียบเทียบกัน พบว่าน้ำดิบ ให้ค่าการกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าน้ำสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร คือร้อยละ 44.87 ส่วนน้ำสังเคราะห์ค่าการกำจัดที่ดีที่สุดในการเติมสารเคมีคือ ร้อยละ 40.28 ตามลำดับ ซึ่งเฟอร์ริกคลอไรด์ทำให้เกิดตะกอนสีน้ำตาลแดงทั้งที่ตกจมและแขวนลอยภายหลังการตกตะกอน อีกทั้งยังไปรวมตัวกับ สารเกลือซึ่งมีโมเลกุลเล็กจึงทำให้ตะกอนตก

4.2.3 โพลีอะลูมิเนียมซัลเฟต

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของสารเคมีช่วยในการสร้างและรวมตะกอนของสาร PACI

Time (min)	Rejection Turbidity (%)									
	0 มิลลิกรัมต่อลิตร		200 มิลลิกรัมต่อลิตร		300 มิลลิกรัมต่อลิตร		400 มิลลิกรัมต่อลิตร		500 มิลลิกรัมต่อลิตร	
	น้ำดิบ	น้ำสังเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำสังเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำสังเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำสังเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำสังเคราะห์
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	83.71	16.83	14.12	1.47	13.44	3.03	2.47	6.94	12.71	2.90
10	84.27	20.79	22.94	2.94	24.73	10.61	4.94	13.89	16.95	4.35
15	84.37	24.75	27.06	2.94	32.80	18.18	8.64	20.83	20.34	5.80
30	84.45	37.62	30.59	2.94	46.24	21.21	22.22	19.44	22.46	14.49
45	84.56	41.58	34.12	4.41	62.90	24.24	31.48	18.06	25.85	18.84
60	84.70	42.57	51.77	8.82	66.67	31.82	46.91	25.00	27.12	20.29
90	85.34	46.53	58.82	11.76	71.51	31.82	57.41	23.61	43.64	28.99
120	85.69	51.49	68.82	13.24	74.73	33.33	67.90	30.56	52.54	31.88
Average	75.23	31.35	34.25	5.39	43.67	19.36	26.89	17.59	24.62	14.17

จากตาราง 4.4 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสาร PACI จาก 0 200 300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ค่าการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบร้อยละ 75.23 34.25 43.67 26.89 และ 24.62 ตามลำดับ และค่าการกำจัดความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ร้อยละ 31.35 5.39 19.36 17.59 และ 14.17 ตามลำดับ จากตารางพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสาร PACI ในน้ำดิบทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดความขุ่นลดลงจนกระทั่งความเข้มข้นจาก 400 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ค่าการกำจัดความขุ่นจากร้อยละ 9.88 และ 44.87 ตามลำดับ ซึ่งการเติม PACI จะเป็นกลไกการสร้างสะพานเชื่อมต่อบนอนุภาคคอลลอยด์ โดยใช้สารโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่เมื่อใส่ลงไป ในน้ำจะให้ก้อนเป็นจำนวนมากเพื่อเกาะจับกับอนุภาคคอลลอยด์และยังมีแขนเชื่อมติดกับอนุภาคคอลลอยด์ตัวอื่นๆ เพื่อทำให้เกิด ฟล็อก ซึ่งในน้ำดิบมีสารอินทรีย์จะเป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ โดยโพลีเมอร์ทำหน้าที่เป็นสะพานระหว่างอนุภาคซึ่งโพลีเมอร์เป็นสารโมเลกุลใหญ่สามารถนำมาใช้รวมตะกอนทางเคมีได้เรียกว่าโพลีอิเล็กโทรไลต์ (polyelectrolyte) จึงทำให้น้ำดิบมีค่าการกำจัดดีกว่าน้ำสังเคราะห์ซึ่งน้ำดิบที่ไม่เติมสารเคมีจะให้ค่าการกำจัดดีกว่าการเติมสารเคมี

ซึ่งจะมีลักษณะเดียวกันกับการเติม $Al_2(SO_4)_3$ และ $FeCl_3$ คือการเติมสารเคมีมากเกินไป สารแขวนลอยจะกลับมามีอยู่ในสถานะเสถียร ซึ่ง(รัชฎาวรรณ พันธ์อำพน, 2540) ได้ทำการทดลอง ทำการตกตะกอนน้ำดิบธรรมชาติที่มีความขุ่นสูงและ ตกตะกอนยาก พบว่า PACl ที่ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ค่าการกำจัดความขุ่นสูงสุด คือร้อยละ 99.68 และ (อัญชลี นิมอนุสรณ์กุล, 2538) ใช้ PACl พบว่าปริมาณ PACl ที่เหมาะสมในการในการลดความขุ่น ร้อยละ 98.84

4.3 ผลของ pH ที่มีผลต่อการลดค่าความขุ่น

4.3.1 อะลูมิเนียมซัลเฟต

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในการหา pH ที่เหมาะสมของสารเคมีช่วยในการสร้าง และรวมตะกอนของสาร $Al_2(SO_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ของน้ำผิวดิน และที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ของน้ำสังเคราะห์

Time (min)	Rejection Turbidity (%)									
	pH 4		pH 5		pH 7		pH 9		pH 10	
	น้ำดิบ	น้ำ สังเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำ สังเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำ สังเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำ สังเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำ สังเคราะห์
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	24.64	2.63	92.31	7.94	30.09	5.08	12.00	50.57	16.22	41.40
10	23.19	5.26	94.13	14.29	30.97	6.78	18.29	60.34	14.86	46.50
15	27.54	9.21	95.64	15.87	31.86	11.86	34.86	67.24	14.86	50.32
30	26.09	13.16	97.11	19.05	46.90	16.95	30.29	67.82	17.57	51.59
45	20.29	18.42	97.33	20.63	53.10	20.34	41.14	67.82	19.59	52.87
60	28.99	21.05	97.73	22.22	54.87	23.73	50.29	67.82	22.30	54.78
90	52.17	38.16	98.04	30.16	61.06	32.20	56.57	71.84	31.76	60.51
120	60.87	53.95	98.27	31.75	63.72	47.46	56.57	81.03	29.73	65.61
Average	29.31	17.98	85.62	17.99	41.40	18.27	33.33	59.39	18.54	47.06

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในการหา pH ที่เหมาะสมของสารเคมีช่วยในการสร้างและรวมตะกอนของสาร $Al_2(SO_4)_3$ ผลตามตารางที่ 4.5 พบว่าทำการปรับ pH จาก 4 5 7 9 และ 10 การเติมความเข้มข้นของสาร $Al_2(SO_4)_3$ ลงในน้ำดิบให้ค่าการกำจัดความขุ่น ร้อยละ 29.31, 85.62, 41.40, 33.33 และ 18.54 ตามลำดับ และในน้ำสังเคราะห์ร้อยละ 17.98, 17.99

18.27, 59.39 และ 47.06 ตามลำดับ ซึ่งการปรับ pH ของน้ำดิบเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการกำจัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่ง pH 10 โดยที่ pH 5 ให้ค่าการกำจัดความขุ่นดีที่สุด ซึ่งให้ค่าการกำจัดร้อยละ 85.62 ในส่วนของน้ำสังเคราะห์ ที่ pH 9 ให้ค่าการกำจัดความขุ่นดีที่สุด คือ ร้อยละ 59.39 โดยส่วนมากการตกตะกอนจะให้ผลดี ที่ค่า pH ช่วงหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำให้ตกตะกอนซึ่ง $Al_2(SO_4)_3$ ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง pH 5-7 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าค่าพีเอชเท่ากับ 6 ปริมาณสารส้มเท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และโพลีเมอร์ประจุลบเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 89.6 และร้อยละ 3.6 ส่วน(จารุวรรณ เกษมทรัพย์, 2538) ทำการทดลองน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า พีเอช ที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอน ด้วย $Al_2(SO_4)_3$ คือ 5-7 สำหรับน้ำเสียที่มีฟอสเฟต 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และอยู่ในช่วง 4-8 สำหรับน้ำเสียที่มีฟอสเฟต 20 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าในปริมาณสารสร้างตะกอนที่เท่ากัน $Al_2(SO_4)_3$ จะมีผลทำให้พีเอช เปลี่ยนแปลงไปจากค่าพีเอชเริ่มต้น ซึ่ง $Al_2(SO_4)_3$ สามารถลดความขุ่นได้ดี แต่ในการทดลองในครั้งนี้ น้ำสังเคราะห์ที่ pH 9 ให้ค่าการกำจัดความขุ่นดีที่สุด คือ ร้อยละ 59.39 ซึ่งขัดแย้งกัน สาเหตุอาจเกิดมาจากการเติมสารเคมีมากเกินไปจึงทำให้สารเคมีกลับมาอยู่ในสภาพเสถียรหรือความเข้มข้นของสารละลายใช้ในการทดลองสูงกว่าความเข้มข้นที่จุกอิมตัว (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2541) ค่าที่ได้ ไม่สอดคล้องกัน

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในการหา pH ที่เหมาะสมของสารเคมีช่วยในการสร้าง และรวมตะกอนของสาร $FeCl_3$

Time (min)	Rejection Turbidity (%)									
	pH 4		pH 5		pH 7		pH 9		pH 10	
	น้ำ ดิบ	น้ำ สังเคราะห์	น้ำ ดิบ	น้ำ สังเคราะห์	น้ำ ดิบ	น้ำ สังเคราะห์	น้ำ ดิบ	น้ำ สังเคราะห์	น้ำ ดิบ	น้ำ สังเคราะห์
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2.99	28.32	4.96	14.08	11.22	70.25	8.33	6.58	29.08	26.44
10	5.97	30.97	9.09	19.72	23.47	89.51	16.67	10.53	39.01	27.33
15	8.21	37.17	14.88	22.54	44.90	90.44	23.33	14.47	41.84	52.22
30	9.70	42.48	28.10	23.94	50.00	91.24	30.00	18.42	46.81	70.00
45	11.94	53.10	38.02	25.35	61.22	91.90	35.00	23.68	54.61	76.22
60	14.93	60.18	55.37	26.76	67.35	92.30	45.83	26.32	62.41	86.22
90	24.63	71.68	80.17	38.03	88.78	94.82	53.33	35.53	68.79	90.22
120	35.82	74.34	92.15	56.34	99.08	97.61	57.50	55.26	71.63	93.11
Average	12.69	44.25	35.86	25.20	49.56	79.78	30.00	21.20	46.02	57.98

จากการศึกษาหา pH ที่เหมาะสมของสารละลาย FeCl_3 ในการกำจัดความขุ่น ผลตามตารางที่ 4.6 พบว่าทำการปรับ pH จาก 4 5 7 9 และ 10 การเพิ่มความเข้มข้นของสาร FeCl_3 ลงในน้ำดิบให้ค่าการกำจัดความขุ่นร้อยละ 12.69, 35.86, 49.56, 30.00 และ 46.02 ตามลำดับ และในน้ำสังเคราะห์ร้อยละ 44.25 25.20 79.78 21.20 และ 57.98 ตามลำดับ จากผลการทดลองของน้ำผิวดินเมื่อปรับ pH จาก 4 เป็น 7 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเมื่อปรับ pH เป็น 9 ค่าการกำจัดลดลงและมีค่าการกำจัดเพิ่มขึ้นเมื่อปรับ pH เป็น 10 ซึ่ง pH ที่ให้ค่าการกำจัดความขุ่นดีที่สุดคือ pH 7 ให้ค่าการกำจัดร้อยละ 49.56 ส่วนน้ำสังเคราะห์ pH ที่ให้ค่าการกำจัดดีที่สุดคือ pH 7 ให้ค่าการกำจัดร้อยละ 79.78 ซึ่งโดยทั่วไปการใช้ FeCl_3 ซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อนถ้ามีความเข้มข้นอยู่ด้วยสาร FeCl_3 จะไปทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างในน้ำ เกิด Fe(OH)_3 ซึ่ง FeCl_3 จะทำงานที่ระดับ pH ต่ำกว่าเกลือของ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ และสามารถใช้ในช่วงพีเอชกว้างกว่าคือ ตั้งแต่ 4–11 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (อุดมศักดิ์ เกียรติวิชัย, 2541)

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในการหา pH ที่เหมาะสมของสารเคมีช่วยในการสร้างและรวมตะกอนของสาร PACl

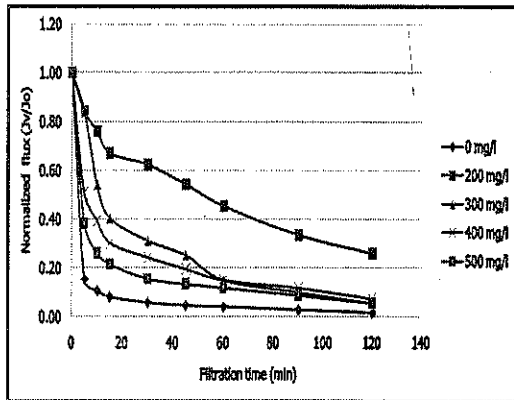
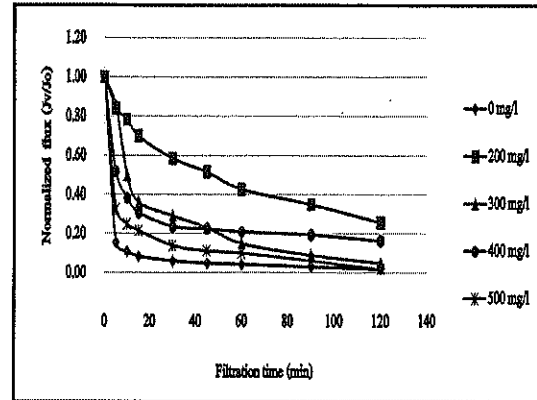
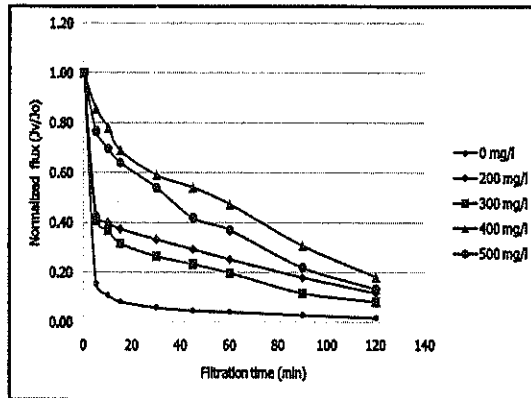
Time (min)	Rejection Turbidity (%)									
	pH 4		pH 5		pH 7		pH 9		pH 10	
	น้ำดิบ	น้ำสังเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำสังเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำสังเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำสังเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำสังเคราะห์
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	20.60	4.84	0.00	7.26	8.05	5.36	8.22	1.69	13.85	5.06
10	20.60	9.68	8.20	12.90	12.64	8.93	10.96	1.69	18.46	8.86
15	35.68	12.90	16.94	19.35	22.99	10.71	16.44	8.47	20.00	15.19
30	35.68	16.13	34.97	20.97	31.03	14.29	27.40	11.86	21.54	17.72
45	40.20	19.35	36.61	24.19	36.78	16.07	21.92	15.25	29.23	21.52
60	40.70	27.42	43.17	37.90	43.68	25.00	45.21	23.73	29.23	24.05
90	41.71	35.48	47.54	54.84	48.28	66.07	49.32	32.20	33.85	35.44
120	44.22	53.23	50.82	73.39	58.62	82.14	50.68	37.29	35.38	44.30
Average	31.04	19.89	26.47	27.87	29.12	25.40	25.57	14.69	22.39	19.13

จากการศึกษาหา pH ที่เหมาะสมของสารละลาย PACI ในการกำจัดความขุ่นในน้ำผิวดิน ผลตามตารางที่ 4.12 พบว่า ทำการปรับ pH จาก 4 5 7 9 และ 10 การเพิ่มความเข้มข้นของสาร PACI ลงในน้ำดิบให้ค่าการกำจัดความขุ่นร้อยละ 31.04 26.47 29.12 25.57 และ 22.39 ตามลำดับ และในน้ำสังเคราะห์ ร้อยละ 19.89 ร้อยละ 27.87 ร้อยละ 25.40 ร้อยละ 14.69 และ ร้อยละ 19.13 ตามลำดับ ในส่วนน้ำดิบเมื่อปรับ pH จาก 4 เป็น 5 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดมีแนวโน้มลดลง และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อปรับ pH เป็น 7 และมีค่าลดลงเรื่อยๆ จน pH 10 ซึ่ง pH 4 ให้ค่าการกำจัดดีที่สุดคือ 31.04 % ซึ่งสอดคล้องกับการนำ PACI มาใช้เป็นสารสร้างตะกอนแทน $Al_2(SO_4)_3$ นั้น พบว่า ใช้ได้กับน้ำในช่วง pH ที่กว้างกว่าการใช้ $Al_2(SO_4)_3$ โดยเฉพาะที่ pH น้อยกว่า 5.5 หรือ pH มากกว่า 7 (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2541) ส่วนน้ำสังเคราะห์ พบว่าเมื่อปรับ pH จาก 4 เป็น 5 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จนเมื่อปรับ pH จาก 5 เป็น 9 ค่าการกำจัดมีค่าลดลงและมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อปรับ pH เป็น 10 ซึ่ง pH 5 ให้ค่าการกำจัดดีที่สุด คือร้อยละ 27.87 สอดคล้องกับการนำ PACI มาใช้เป็นสารสร้างตะกอนแทน $Al_2(SO_4)_3$ คือใช้ได้กับน้ำในช่วง pH ที่กว้างกว่าการใช้ $Al_2(SO_4)_3$ โดยเฉพาะที่ pH น้อยกว่า 5.5 หรือ pH มากกว่า 7 (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2541) ส่วน(รัชฎาวรรณ พันธ์อำพน, 2540) สารเคมีที่มีความเหมาะสมมากที่สุด คือ PACI ที่ปริมาณเหมาะสม 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH เหมาะสม 7.0 ร่วมกับ anionic PE. ที่ปริมาณเหมาะสม 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพ การกำจัดความขุ่นสูงสุด คือร้อยละ 99.68

4.4 ประสิทธิภาพของชนิดสารเคมีที่มีผลต่อการลดลงของฟลักซ์

4.4.1 ผลการทดลองหาความเหมาะสมของสารเคมี (น้ำผิวดิน)

จากภาพที่ 4.1 การนำน้ำผิวดินที่มีความขุ่นเท่ากับ 4.85 เอ็นทียู มาผ่านการกระบวนกรโคแอกกูเลชัน โดยเพิ่มความเข้มข้นสารเคมีที่ 0 200 300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ดำเนินระบบเป็นเวลา 120 นาที ผ่านเมมเบรนขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร จากผลการทดลอง พบว่าโดยส่วนมากความเข้มข้นของสารเคมีที่มีผลต่อการลดลงของค่าฟลักซ์ ส่วนมากค่าฟลักซ์มีแนวโน้มลดลงต่อเวลา โดยลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 15 นาทีแรก และลดลงต่อเนื่องอย่างช้าๆ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (พนิดา สามพรานไพบุลย์, 2553) จากภาพที่ 4.1 (ก) และ (ข) ศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย $Al_2(SO_4)_3$ และ $FeCl_3$

(ก) ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสาร $Al_2(SO_4)_3$ (ข) ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสาร $FeCl_3$ 

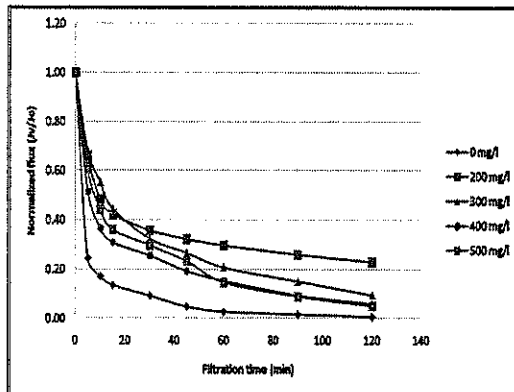
(ค) ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสาร PACI

ภาพที่ 4.1 ค่าฟลักซ์กับเวลาที่ความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ของน้ำผิวดิน

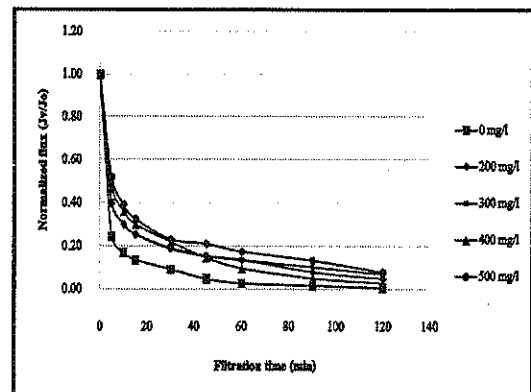
ในการลดค่าฟลักซ์พบว่า ที่ความเข้มข้น 0 300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าฟลักซ์ลดลงเหลือต่ำกว่าร้อยละ 10 ของฟลักซ์เริ่มต้น สาเหตุที่ทำให้ค่าฟลักซ์ของน้ำผิวดินมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากเกิดการสะสมสารแขวนลอย และคอลลอยด์ ซึ่งมีอนุภาคขนาดใหญ่ที่บริเวณผิวหน้าเยื่อแผ่นเมมเบรนทำให้เกิดการอุดตัน แต่ถ้าคอลลอยด์มีอนุภาคขนาดเล็กทำให้การอุดตันช้า (ภานุวัฒน์ ใจรัมย์, 2550) และ ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าฟลักซ์ของสารละลาย $Al_2(SO_4)_3$ และ $FeCl_3$ ลดลงช้ามาก ทำให้ค่าฟลักซ์สูงกว่าความเข้มข้นอื่นๆ ค่าฟลักซ์ที่ได้คือร้อยละ 26 และ 26 ตามลำดับ ซึ่งที่ความดันคงที่ฟลักซ์ลดลงกับความเข้มข้นหรือที่ความเข้มข้นสูงสามารถเกิด C.P ได้เร็ว มีการสะสมต่อ อุดตันมากกว่าระบบที่มีความเข้มข้นต่ำ (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2536) เมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น (ผลแสดงในภาพผนวก จ.1 และ จ.2) ส่วนค่าฟลักซ์ของสารละลาย PACI ที่ความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าฟลักซ์มีแนวโน้มลดลงต่อเวลา

โดยลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 15 นาทีแรก และลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไปและคงที่ เนื่องจากไม่ได้ทำการบำบัดน้ำเบื้องต้น จึงทำให้คอลลอยด์ตกตะกอนเข้ามาจึงทำให้แผ่นเมมเบรนเกิดการอุดตันและสะสมบริเวณผิวหน้าและภายในรูพรุนของเมมเบรน ทำให้ค่าฟลักซ์ลดลงเร็วกว่าการเติมสารละลายที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในส่วนความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าฟลักซ์มีแนวโน้มลดลงใกล้เคียงกัน ในส่วนความเข้มข้น 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าฟลักซ์มีแนวโน้มลดลงต่อเนื่องอย่างช้าๆ และใกล้เคียงกันซึ่งความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าฟลักซ์สูงกว่าความเข้มข้นอื่นๆ คือ ร้อยละ 18 เมื่อเทียบกับความขุ่นเริ่มต้น(ดังผลแสดงในภาคผนวก จ.3) สาเหตุที่ทำให้ค่าฟลักซ์สูงกว่าความเข้มข้นอื่นๆ เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กทำให้การอุดตันช้า (ภานุวัฒน์ ใจรัมย์, 2550)

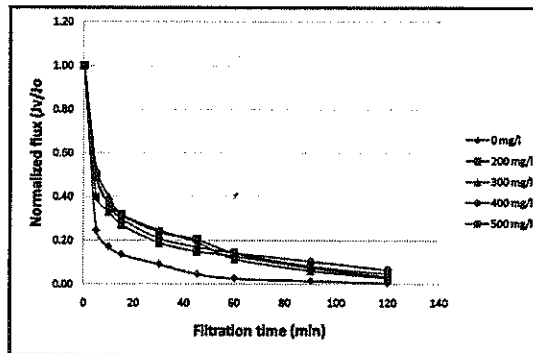
4.4.2 ผลการทดลองหาความเหมาะสมของสารเคมี (น้ำส้มเคราห้)



(ก) ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสาร $Al_2(SO_4)_3$



(ข) ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสาร $FeCl_3$



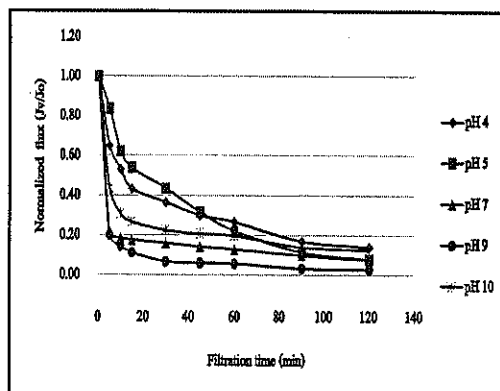
(ค) ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสาร PACI

ภาพที่ 4.2 ค่าฟลักซ์กับเวลาที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

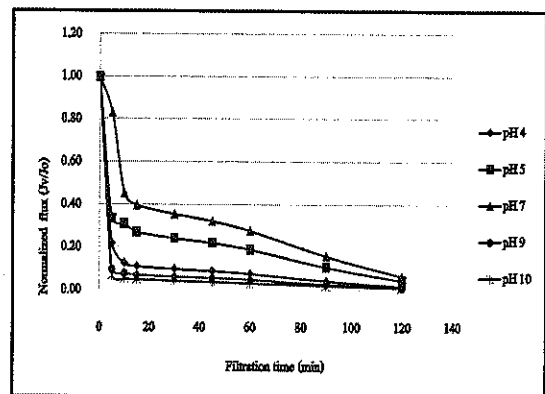
4.5 ผลของ pH ที่มีผลต่อการลดลงของฟลักซ์

4.5.1 ผลการทดลองหา pH ที่เหมาะสมของสารเคมี (น้ำฟิวดิน)

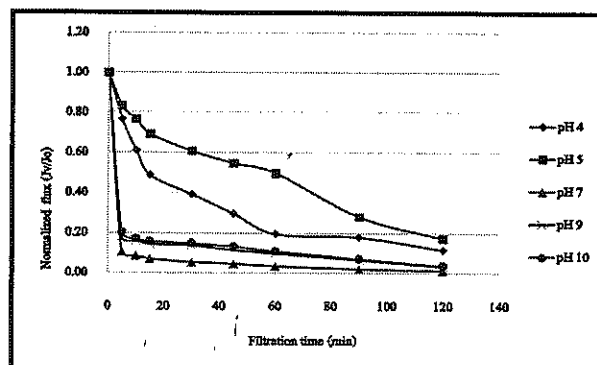
จากภาพที่ 4.3 ศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมของสารเคมี (น้ำฟิวดิน) โดยทำการปรับ pH 4 5 7 9 และ 10 มาผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยเติมสารเคมี 3 ชนิด คือ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร $FeCl_3$ เข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และ PACI ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ดำเนินระบบเป็นเวลา 120 นาที ผ่านเมมเบรนขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร จากภาพที่ 4.3 (ก) และ (ข) จากผลการทดลอง พบว่าโดยส่วนมากการปรับ pH ค่าฟลักซ์ลดลงเร็วมาก ส่วนมากค่าฟลักซ์มีแนวโน้มลดลงต่อเวลา โดยลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 15 นาทีแรก และลดลงต่อเนื่องอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแต่ละ pH ไม่ให้ความแตกต่างสำหรับการลดลงของฟลักซ์ การเพิ่มค่าพีเอชจาก 4 ถึง 10 ให้ผลการลดลงของฟลักซ์ที่ใกล้เคียงกันอาจเนื่องมาจากผลของความเข้มข้นของสารเคมีทั้งสองชนิดเป็นตัวควบคุมการลดลงของฟลักซ์



(ก) ค่า pH ต่าง ๆ ของสาร $Al_2(SO_4)_3$



(ข) ค่า pH ต่าง ๆ ของสาร $FeCl_3$



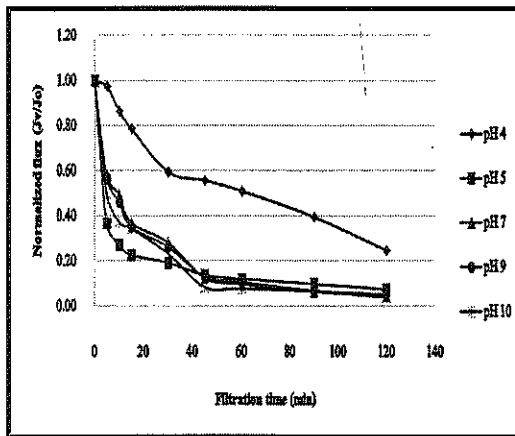
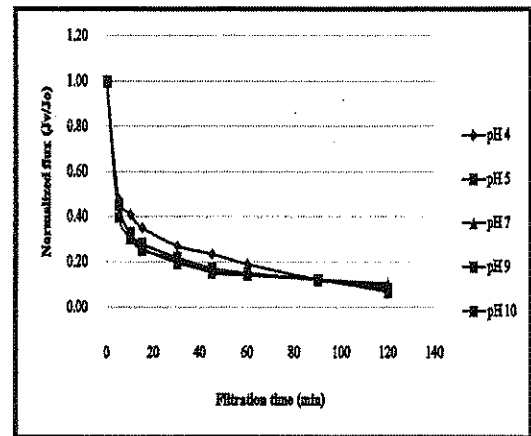
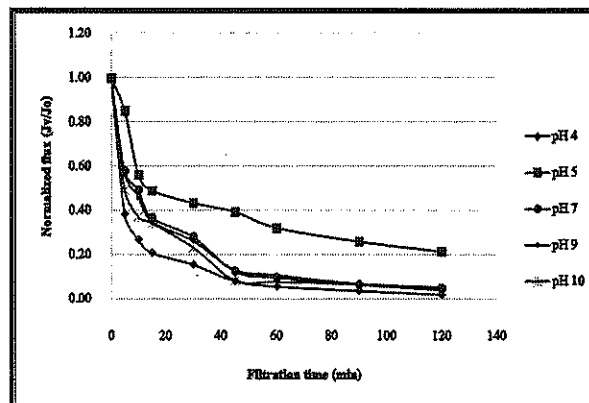
(ค) ค่า pH ต่าง ๆ ของสาร PACI

ภาพที่ 4.3 ค่าฟลักซ์กับเวลาที่ pH ต่าง ๆ ของน้ำฟิวดิน

จากการศึกษาหา pH ที่เหมาะสมของสารละลาย $Al_2(SO_4)_3$ ในการลดค่าฟลักซ์ เมื่อปรับ pH 5 พบว่า ค่าฟลักซ์ลดลงช้ากว่า pH อื่น ๆ ซึ่งเนื่องจาก pH 5 มีฤทธิ์เป็นกรดสามารถทำให้จุลชีพอ่อนแอลง (คณินทร์, 2546) ส่วน pH ที่เหมาะสมของ $FeCl_3$ pH ที่ให้ค่าฟลักซ์ลดลงช้ากว่า pH อื่นๆ คือ pH 7 ให้ค่าฟลักซ์ลดลงต่ำกว่าร้อยละ 10 ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว Ferric coagulant จะทำงานได้ดีที่พีเอชต่ำกว่าเกลือของอะลูมิเนียมและสามารถใช้งานใน pH ที่กว้างกว่า คือ จาก 4-11 ที่ pH ต่ำ Ferric coagulant ใช้ได้ดีในการกำจัดสีและ pH สูง Ferric coagulant ใช้ได้ดีในการกำจัดเหล็ก แมงกานีส ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดสี นอกจากนี้ $Fe(OH)_3$ ผองศาเซลเซียส ยังหนักกว่า $Al(OH)_3$ floc และตกตะกอนได้เร็วกว่า ข้อดีของ ferrous และ Ferric coagulant เมื่อเปรียบเทียบกับ Aluminum coagulant คือ $Fe(OH)_3$ floc จะไม่กลับมาละลายที่ค่าความเป็นด่างสูงๆ จากภาพที่ 4.3 (ค) การศึกษาหา pH ที่เหมาะสมของสารละลาย PACl pH ที่ให้ค่าฟลักซ์ลดลงช้ากว่า pH อื่น ๆ คือ pH 5 ให้ค่าฟลักซ์ลดลงร้อยละ 17 เมื่อเทียบกับค่าฟลักซ์เริ่มต้น เนื่องจากการนำ PACl มาใช้เป็นสารสร้างตะกอนแทน $Al_2(SO_4)_3$ คือ ใช้ได้กับน้ำในช่วง pH ที่กว้างกว่าการใช้ $Al_2(SO_4)_3$ โดยเฉพาะที่ pH น้อยกว่า 5.5 หรือ pH มากกว่า 7 (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2541)

4.5.2 ผลการทดลองหา pH ที่เหมาะสมของสารเคมี (น้ำสังเคราะห์)

ภาพที่ 4.4 ศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมของสารเคมี (น้ำสังเคราะห์) โดยทำการปรับ pH 4 5 7 9 และ 10 มาผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยเติมสารเคมี 3 ชนิด คือ $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ และ PACl ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดำเนินระบบเป็นเวลา 120 นาที ผ่านเมมเบรนขนาดรูพรุน $0.45 \mu m$ จากผลการทดลอง พบว่า โดยส่วนมากการปรับ pH ค่าฟลักซ์ลดลงเร็วมากค่าฟลักซ์มีแนวโน้มลดลงต่อเวลา โดยลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 15 นาทีแรก และลดลงอย่างต่อเนื่อง จากภาพที่ 4.4 (ก) การเพิ่มค่าพีเอชจาก 4 ถึง 10 ให้ผลการลดลงของฟลักซ์ที่ใกล้เคียงกันซึ่งแต่ละ pH ไม่ให้ความแตกต่างสำหรับการลดลงของฟลักซ์มากนักยกเว้น pH 4 ซึ่งมีค่าฟลักซ์สูงกว่าหรือลดลงช้ากว่า pH อื่น ซึ่ง pH 4 มีฤทธิ์เป็นกรดสามารถทำให้จุลชีพอ่อนแอลงซึ่งสาร $Al_2(SO_4)_3$ ค่า pH ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 5-7 ดังที่ได้กล่าวมา จากภาพที่ 4.4 (ข) ค่า pH ที่เหมาะสมของ $FeCl_3$ pH ที่ให้ฟลักซ์ที่ใกล้เคียงกันซึ่งแต่ละ pH ไม่ให้ความแตกต่างสำหรับการลดลงของฟลักซ์มากนัก จากภาพที่ 4.4 (ค) สารละลาย PACl การลดลงของค่าฟลักซ์มีลักษณะคล้าย ๆ กับ $Al_2(SO_4)_3$ แต่ pH ที่ให้ค่าฟลักซ์ลดลงช้ากว่า pH อื่น คือ pH 5 ซึ่ง PACl ใช้ได้กับน้ำในช่วงพีเอชที่กว้างกว่าการใช้สาร $Al_2(SO_4)_3$ โดยเฉพาะที่พีเอชน้อยกว่า 5.5 หรือพีเอชมากกว่า

(ก) ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสาร $Al_2(SO_4)_3$ (ข) ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสาร $FeCl_3$ 

(ค) ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสาร PACI

ภาพที่ 4.4 ค่าฟลักซ์กับเวลาที่ pH ต่าง ๆ ของน้ำสังเคราะห์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเบื้องต้นโดยผลการศึกษารวมตะกอนและไมโครฟิลเตรชันสำหรับการกำจัดความขุ่นของน้ำตัวอย่างที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดที่ดีที่สุด ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดด้วยกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน ศึกษาคุณสมบัติของน้ำตัวอย่าง เช่น การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช และความขุ่น

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ประสิทธิภาพของชนิดสารเคมีที่มีผลต่อการลดค่าความขุ่น

จากการศึกษาชนิดของสารเคมีที่มีผลต่อการกำจัดความขุ่น พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นจาก 0 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดของสารละลายทั้ง 3 ชนิด ไม่เกินร้อยละ 50 ซึ่งผลการทดลองใช้สารละลาย 3 ชนิด ช่วยในการกำจัดความขุ่น ซึ่งสารเคมีที่ให้ค่าการกำจัดความขุ่นดีที่สุดของน้ำดิบ คือ สาร FeCl_3 ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร PACI ที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ประมาณร้อยละ 44.87, 43.67 และ 36.14 ตามลำดับ ส่วนน้ำสังเคราะห์สารเคมีที่ให้ค่าการกำจัดความขุ่นดีที่สุดคือ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร FeCl_3 ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และ PACI ที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งให้ค่าการกำจัดความขุ่นเท่ากับ ร้อยละ 40.28 ร้อยละ 31.66 ร้อยละ 19.36 ตามลำดับ

5.1.2 ผลของ pH ที่มีผลต่อการลดค่าความขุ่น

จากการศึกษาหา pH ที่เหมาะสมของสารละลายที่มีผลต่อการกำจัดความขุ่น ซึ่งเมื่อปรับ pH จาก 4 เป็น 10 พบว่า ค่า pH ที่ให้ค่าการกำจัดความขุ่นสูงที่สุดของน้ำผิวดิน ได้แก่ สาร $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ที่ค่า pH 4 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร, สาร FeCl_3 ที่ pH 7 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และสาร PACI ที่ pH 4 ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งให้ค่าการกำจัดความขุ่นเท่ากับร้อยละ 85.62, 49.56 และเมื่อปรับเป็นร้อยละ 31.04 ตามลำดับ ส่วนน้ำสังเคราะห์ค่า pH ที่ให้ค่าการกำจัดความขุ่นสูงที่สุด คือ FeCl_3 ที่ pH 7 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ที่ pH 9 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และ PACI ที่ pH 5 ความเข้มข้น

$Al_2(SO_4)_3$ ที่ pH 9 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และ PACl ที่ pH 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งให้ค่าการกำจัดความขุ่นเท่ากับ ร้อยละ 79.78 ร้อยละ 59.39 และ ร้อยละ 27.87 ตามลำดับ

5.1.3 ประสิทธิภาพของชนิดสารเคมีที่มีผลต่อการลดลงของฟลักซ์

จากการศึกษาชนิดของสารเคมีที่มีผลต่อการลดลงของฟลักซ์ โดยใช้น้ำตัวอย่าง 2 ประเภท คือ น้ำดิบ หนองอีเจม และน้ำสังเคราะห์ พบว่า ค่าฟลักซ์จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว ในช่วงระยะเวลา 15 นาทีแรก โดยค่าฟลักซ์จะลดลงน้อยกว่าร้อยละ 10 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าฟลักซ์ เริ่มต้น หลังจากนั้นค่าฟลักซ์มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งเวลาผ่านไป 120 นาที ค่าฟลักซ์ลดลงเหลือน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับฟลักซ์เริ่มต้น ซึ่งในส่วนของน้ำผิวดินสารเคมีที่ทำให้การลดลงของฟลักซ์น้อยที่สุด ได้แก่ สาร $FeCl_3$ ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร, $Al_2(SO_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และสาร PACl ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ประมาณ ร้อยละ 25.96 ร้อยละ 25.88 และร้อยละ 18.35 ตามลำดับ ส่วนน้ำสังเคราะห์สารเคมีที่ทำให้การลดลงของฟลักซ์น้อยที่สุด ได้แก่ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร สาร $FeCl_3$ ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และ PACl ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ประมาณ ร้อยละ 22.95 ร้อยละ 7.91 และ ร้อยละ 6.52

5.1.4 ผลของ pH ที่มีผลต่อการลดลงของฟลักซ์

จากการศึกษาหา pH ที่เหมาะสมของสารละลายที่มีผลต่อการลดลงของฟลักซ์ ซึ่งเมื่อปรับ pH จาก 4 เป็น 10 พบว่าน้ำผิวดินให้ค่าการลดลงของฟลักซ์น้อยที่สุดของสาร PACl ที่ค่า pH 5 ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร สาร $Al_2(SO_4)_3$ ที่ pH 4 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และสาร $FeCl_3$ ที่ pH 7 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ค่าเท่ากับ ร้อยละ 17.35 ร้อยละ 14.07 และ ร้อยละ 6.61 ตามลำดับ ส่วนน้ำสังเคราะห์ ให้ค่าการลดลงของฟลักซ์น้อยที่สุดของสาร $FeCl_3$ ที่ pH 4 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร สาร PACl ที่ pH 5 ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ pH 7 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ค่าเท่ากับ ร้อยละ 24.79 ร้อยละ 21.33 และ ร้อยละ 10.68 ตามลำดับ

สาเหตุที่ทำให้ค่าฟลักซ์ของน้ำผิวดินมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากเกิดการสะสมสารแขวนลอยและคอลลอยด์ ซึ่งมีอนุภาคขนาดใหญ่ที่บริเวณผิวหน้าเยื่อแผ่นเมมเบรน ทำให้เกิดการอุดตัน ทั้งนี้ยังพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการลดค่าฟลักซ์ เมื่อนำน้ำตัวอย่าง 2 ชนิด มาเปรียบเทียบกัน พบว่า น้ำดิบ ให้ค่าการกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าน้ำสังเคราะห์อาจเนื่องมาจากน้ำดิบมีอนุภาคคอลลอยด์ เมื่ออยู่ในน้ำมีประจุประจำตัว โดยพวกที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จะมีประจุบวก เช่น สารอินทรีย์ สบู่ หรือสารจำพวก

และเนื่องจากอนุภาคดังกล่าวมีประจุทำให้อนุภาคที่มีประจุชนิดเดียวกันเกิดแรงผลักกันระหว่างอนุภาค ทำให้อนุภาคเหล่านั้นมีเสถียรภาพสูง โดยไม่สามารถแยกออกจากน้ำโดยวิธีตกตะกอนธรรมดาได้ จึงต้องใช้วิธีการสร้างตะกอนรวม (Coagulation) ทางเคมีเป็นกระบวนการที่ใส่สารเคมีลงไปในน้ำเสียเพื่อทำลายแรงผลักระหว่างอนุภาคเล็กๆ ในน้ำ ทำให้อนุภาคสามารถเข้าใกล้กันและจับตัวกันได้ อนุภาคเหล่านี้เมื่อรวมตัวกันจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า ฟล็อก (Floc) จนมีน้ำหนักมากพอที่จะจมลงและแยกตัวออกจากน้ำได้ในที่สุด ซึ่งเป็นการทำให้คอลลอยด์ไม่แขวนลอยในน้ำได้ด้วยการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ส่วนน้ำสังเคราะห์ที่ไม่มีคุณสมบัติดังที่ได้กล่าวมา จึงทำให้การกำจัดความขุ่นได้น้อยกว่าน้ำดิบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาถึงคุณลักษณะของเมมเบรนที่จะใช้ เพื่อใช้อธิบายกลไกของการอุดตันได้ดีขึ้น เช่น วัสดุที่ใช้ในการผลิต ขนาดรูพรุนของเมมเบรน และชนิดของประจุที่ผิวหน้าเมมเบรน เพื่อนำไปสู่การพัฒนางานวิจัยในขั้นต่อไป

5.2.2 ควรทำการศึกษาเมมเบรนประเภทต่าง ๆ ร่วมด้วยเพื่อจะได้มีการเปรียบเทียบผลของการทดลองทำให้สามารถนำไปใช้งานให้เกิดประโยชน์มากที่สุด

5.2.3 ควรศึกษาเพิ่มเติมกับแหล่งน้ำผิวดินอื่นๆรวมไปถึงประสิทธิภาพในการกำจัดปัจจัยอื่นๆ เช่น สี แบคทีเรีย เป็นต้น

5.2.4 ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงลักษณะการอุดตันของเมมเบรนเพื่อนำไปวิเคราะห์กับ โมเดล จำลองการอุดตัน

5.2.5 ควรศึกษาในแต่ละฤดูกาลร่วมด้วยเพื่อให้ทราบถึงลักษณะของตัวอย่างที่จะนำมาทำการทดลอง เพื่อนำไปใช้งานให้เกิดประโยชน์มากที่สุด

5.2.6 การทดลองในครั้งนี้ใช้ความเข้มข้นของสารเคมีมากเกินไป ควรศึกษาความเข้มข้นของสารเคมีที่น้อยกว่านี้ เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- โกมล สีวะบรร, เชาวยุทธ พรพิมลเทพ และสุวิทย์ ชุมนุมศิริวัฒน์. 2534. การประปาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : ธารการพิมพ์.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. การบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2548. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. กรุงเทพฯ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2541. วิศวกรรมประปา. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.
- คณินทร์ บุญศาสตร์. 2546. ผลของโซเดียมไฮโปคลอไรต์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อการล้างไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในกระบวนการเอ็กซ์คิเวตเต็ดสลัดจ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- คมกริช สุวรรณทา. 2550. รายงานปฏิบัติงานสหกิจศึกษา โครงการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบเคมี บริษัท ไทยเทค โนเพลท จำกัด. โครงการสหกิจศึกษาและพัฒนาอาชีพ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ณัฐนาถ ประสมศรี. 2537. โคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอโจจากเมล็ดมะรุม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จารุวรรณ เกษมทรัพย์. 2538. การกำจัดฟอสเฟตจากน้ำเสียชุมชนโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เชิดชัย ตั้งอมรสฤษดิ์. 2537. การศึกษาเยื่อแผ่นไดนามิกบนเยื่อแผ่นอนินทรีย์แบบไมโครฟิลเตรชันในการกรองน้ำสับประรด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นลินี เหลืองรุ่งรอง. 2544. กระบวนการไมโครฟิลเตรชันในการผลิตน้ำประปา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปฏิรูป ผลจันทร์. 2544. การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติออกจากน้ำโดยใช้กระบวนการนาโนฟิลเตรชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประ โยชน์ พรหมชัย. 2540. การลดปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งชุมชนที่ผ่านการบำบัด ขั้นที่ 2 โดยกระบวนการตกตะกอนผลึกทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยมหิดล.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- พนิดา สามพรานไพบูลย์. 2538. การลดลงของฟลักซ์และความต้านทานต่อการไหลในระบบ Cross flow Microfiltration. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นฤชา ฤชุพันธุ์. 2534. การก่อกำเนิดตะกอนโดยสารส้ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภาณุวัฒน์ สีทา. 2550. การบำบัดน้ำผิวดินเบื้องต้นด้วยกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาอุปราชธานี.
- ภาศัลย์ ใจรัมย์. 2547. การประยุกต์ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพสำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันทุลเวศน์. 2539. วิศวกรรมประปา เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ยุวรี ชื่นทองอร่าม. 2547. การบำบัดเคมีในน้ำทิ้งโรงงานฆ่าสุกรโดยการใช้ไฮโดรเจน และ/หรือ เฟอร์ริก คลอไรด์ เป็นการบำบัดขั้นปฐมภูมิ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยมหิดล.
- รัชฎาวรรณ พันธ์อำพน. 2540. การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำดิบจากแหล่งธรรมชาติที่มีความขุ่นสูงและตกตะกอนยากมาผลิตน้ำประปาโดยกระบวนการ ตกตะกอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รัตนา จิระรัตนานนท์ และคุษฎี อุดภาพ. 2536. “การศึกษา Fouling และ ความต้านทานต่อการไหลในระบบ Cross-flow microfiltration (CFMF)”, ใน การประชุมทางวิศวกรรมเคมีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3. หน้า 289 – 305. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รัตนา จิระรัตนานนท์. 2543. กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สุปรีดา หอมกลิ่น. 2547. การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำธรรมชาติโดยการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

สุพัฒน์พงษ์ มัตราช. การใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ในขบวนการบำบัดน้ำเสีย.

http://www.wadsin.co.cc/ferric_water_td.htm. มกราคม, 2552.

สามารถ สีชัยโย. 2548. ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน. วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

สุพัฒน์พงษ์ มัตราช. 2547. เอกสารประกอบการบรรยาย water and wastewater

treatment for environmental engineering semester. อุบลราชธานี : ภาควิชา
วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

สัญญา ว่องไวอมรเวช. 2542. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนโดยกระบวนการ
โคแอกกูเลชัน-ฟล็อกกูเลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต :
มหาวิทยาลัยมหิดล.

สนธยา สรหงษ์. 2545. การศึกษาการเกิด Fouling บนแผ่นเยื่อกรอง ในกระบวนการนาโน
ฟิลเตรชันสำหรับการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อำไพ ชนะไชย. 2536. การศึกษาการเกิด Fouling ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ในกระบวนการอัลตรา
ฟิลเตรชันของน้ำเสาวรศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อนุรักษ์ ปิติรักษ์สกุล. 2544. “ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคของแข็งโดยใช้เครื่องลอยตะกอน
ชนิดอากาศละลายแบบกะ”, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
ปีที่ 11(4): ต.ค. – ธ.ค., 2544.

อุดมศักดิ์ เจียรวิษญ์ .2541 . การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดขั้นต้นสำหรับน้ำเสีย
โรงงานผลิตนมถั่วเหลืองด้วยกระบวนการดีเอเอฟกับกระบวนการ โคแอกกูเลชัน .
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อัญชติ นิมอนุสรณ์กุล. 2538. การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบแผ่นหมุนชีวภาพกลับมาใช้ใหม่
โดยผ่านกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยโพลีลูมินัมคลอไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- อัศวิน กิตติขั้วवाल. 2538. โคมเยกกุแลนตฺและโคมเยกกุแลนตฺแลนตฺเอคจากไคโทแซน. วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Buckley, C.A. "Membrane technology for treatment of dye house effluents", Water Science and
Technology. 25: 203 – 209, 1992.
- Fane, A.G. "An Introduction to Membrane Process. Proceedings of the Forth ASEAN Workshop
on Membrane Technology", Bangi Malaysia. 13: 15 – 25, 1987.
- Zhong, J. and et al. "Treatment of oily wastewater produced from refinery processes using
Flocculation and ceramic membrane filtration", Environmental Science and
Technology. 32: 93- 98, 2003.
- Mulder, M. Basic principle of membrane technology. 2ed. Netherland: Membrane Science and
Technology, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- Osamu, O. Technical transfer textbook for the project on the industrial water technology
institute phase 2 : Water and wastewater treatment process. Japan: IWTI, 2001.
- Rearick, W.A., Farias, L.T. and Goettsch, H.B.G. Water and salt reuse in the dye house. Cotton
Incorporated, 1995.
- Robert P, Perry's chemical engineering handbook. 6ed. Singapore: Mcgraw-Hill, 1998.
- Vigneswaren, S., Vigneswaren, B. and Ben Aim, R. "Application of Microfiltration for water and
wastewater treatment", Environmental sanitation Review. 31: 14-19, 1996.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ความเหมาะสมของสารเคมีในการดำเนินระบบของน้ำผิวดินผ่านเมมเบรน

ตารางที่ ก.1 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหาความเหมาะสมของ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านมมbranแบบ ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi

Time (min)	Time (hr)	Temp (°C)	0 mg/l			20 mg/l			30 mg/l			40 mg/l			50 mg/l		
			Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH
ก่อนกรอง	0	26.7	46.30	4.422	7.01	2.84	1.662	4.05	2.60	1.672	4.28	6.72	1.571	4.33	2.91	2.538	4.24
0	0	26.7	4.85	4.421	7.06	0.99	1.703	4.29	1.48	1.366	4.27	0.91	1.437	4.27	0.97	1.577	4.26
5	-0.08	26.7	0.79	3.312	7.03	0.89	1.834	4.35	0.83	1.893	4.26	0.69	1.560	4.25	0.86	2.176	4.23
10	0.17	26.7	0.76	3.425	7.05	0.74	1.865	4.35	0.97	1.381	4.31	0.68	1.071	4.26	0.75	1.496	4.25
15	0.25	26.7	0.76	3.337	7.03	0.67	1.734	4.33	0.86	1.051	4.31	0.82	1.247	4.12	0.72	2.691	4.13
30	0.5	26.7	0.75	3.312	7.06	0.56	1.563	4.33	1.31	1.084	4.35	0.70	1.491	4.22	0.91	1.657	4.15
45	0.75	26.7	0.75	3.274	7.05	0.52	1.667	4.49	0.90	1.654	4.30	0.86	1.757	4.23	0.72	1.546	4.16
60	1	26.7	0.74	3.269	7.01	0.44	1.588	4.36	1.13	2.008	4.36	0.91	0.051	4.23	0.73	1.672	4.17
90	1.52	26.7	0.71	3.266	7.02	0.56	1.694	4.22	0.54	1.418	4.30	0.67	1.663	4.23	0.57	1.573	4.17
120	2	26.7	0.69	3.267	7.06	0.32	1.691	4.31	0.86	2.383	4.33	0.63	1.029	4.29	0.53	1.668	4.17

ตารางที่ ก.2 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหาความเหมาะสมของ FeCl₃ ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบ ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 µm ความดัน 20 psi

Time (min)	Time (hr)	Temp (°C)	0 mg/l			200 mg/l			300 mg/l			400 mg/l			500 mg/l		
			Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH
ก่อนกรอง	0.00	26.7	4630	4.422	7.01	2.60	1.343	3.52	12.39	3.29	14.41	1.201	3.09	14.65	1.435	3.11	
0	0	26.7	4.85	4.421	7.06	1.32	1.238	3.54	0.76	3.26	0.54	1.529	3.09	2.11	1.226	3.05	
5	0.08	26.7	0.79	3.512	7.03	0.83	2.350	3.55	0.51	3.26	0.50	1.206	3.09	1.97	1.563	3.05	
10	0.17	26.7	0.76	3.425	7.05	0.97	1.697	3.54	0.63	3.25	0.53	1.273	3.14	1.69	1.443	3.04	
15	0.25	26.7	0.76	3.337	7.03	0.86	1.388	3.54	0.53	3.25	0.43	1.083	3.11	1.34	1.565	3.04	
30	0.5	26.7	0.75	3.312	7.06	1.31	2.061	3.23	0.44	3.26	0.49	1.263	3.12	1.11	1.337	3.04	
45	0.75	26.7	0.75	3.274	7.05	0.90	0.053	3.55	0.70	3.30	0.53	1.202	3.11	0.70	1.070	3.03	
60	1	26.7	0.74	3.269	7.01	1.13	1.250	3.50	0.54	3.24	0.54	1.054	3.10	0.55	1.211	3.04	
90	1.52	26.7	0.71	3.266	7.02	0.54	0.071	3.55	0.50	3.30	0.44	1.193	3.08	0.49	1.075	3.02	
120	2	26.7	0.69	3.267	7.06	0.86	1.398	3.51	0.56	3.12	0.38	1.184	3.08	0.51	1.127	3.01	

ตารางที่ ก.3 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหาความเหมาะสมของ PACI ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านแบบปรนแบบ ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi

Time (min)	Time (hr)	Temp (°C)	0 mg/l			200 mg/l			300 mg/l			400 mg/l			500 mg/l		
			Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH
ก่อนกรอง	0.00	26.7	46.30	4.423	7.01	1.97	5.258	4.46	6.287	3.77	6.08	6.635	4.13	2.95	6.856	4.04	
0	0.00	26.7	4.85	4.421	7.06	1.7	2.837	4.08	3.681	3.69	1.62	3.385	4.11	2.36	0.147	4.03	
5	0.03	26.7	0.79	3.512	7.03	1.46	0.0938	4.01	0.205	3.74	1.58	3.738	4.08	2.06	0.138	4.01	
10	0.17	26.7	0.76	3.425	7.05	1.31	0.0945	4.00	4.256	3.68	1.54	0.138	4.08	1.96	0.093	4.01	
15	0.25	26.7	0.76	3.337	7.03	1.24	0.0776	4.00	4.518	3.76	1.48	0.229	4.07	1.88	0.085	4.01	
30	0.50	26.7	0.75	3.312	7.06	1.18	0.0879	4.02	0.071	3.75	1.36	5.266	4.06	1.83	5.854	4.03	
45	0.75	26.7	0.75	3.274	7.05	1.12	4.406	4.04	0.078	3.79	1.11	0.206	4.05	1.75	5.846	4.01	
60	1.00	26.7	0.74	3.269	7.01	0.82	3.591	4.03	0.073	3.81	0.86	0.168	4.06	1.72	5.939	4.01	
90	1.52	26.7	0.71	3.266	7.02	0.7	0.0613	4.04	0.076	3.77	0.69	0.173	3.98	1.33	0.075	4.02	
120	2.00	26.7	0.69	3.267	7.06	0.53	0.0746	4.00	0.082	3.75	0.52	0.154	4.01	1.12	0.071	4.04	

ภาคผนวก ข

pH ที่ความเหมาะสมของสารเคมีในการดำเนินระบบของน้ำผิวดินผ่านเมมเบรน

ตารางที่ ข.1 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหา pH ที่เหมาะสมของ pH 4, 5, 7, 9 และ 10 ของสาร $Al_2(SO_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 200 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi

Time (min)	Time (hour)	Temp (°C)	pH 4			pH 5			pH 7			pH 9			pH 10		
			Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH
	ก่อนกรอง	0	2.97	0.495	3.45	6.44	3.889	3.14	27.70	2.241	3.54	3.65	2.168	3.51	1.59	2.399	3.85
	0	0	0.69	0.401	3.59	22.50	2.468	3.16	1.13	2.144	3.53	1.75	1.986	3.55	1.48	2.081	3.89
	5	-0.08	0.52	0.389	3.24	1.73	2.414	3.14	0.79	2.167	3.56	1.54	2.033	3.53	1.24	2.107	3.81
	10	0.17	0.53	0.394	3.73	1.32	2.380	3.27	0.78	2.112	3.54	1.43	1.973	3.54	1.26	2.056	3.88
	15	0.25	0.50	0.381	3.76	0.98	0.130	3.25	0.77	2.101	3.55	1.14	2.130	3.52	1.26	2.239	3.90
	30	0.5	0.51	0.383	3.77	0.65	0.081	3.24	0.60	2.198	3.54	1.22	2.017	3.54	1.22	2.141	3.87
	45	0.75	0.55	0.381	3.74	0.60	0.077	3.36	0.53	2.054	3.52	1.03	1.917	3.55	1.19	2.141	3.79
	60	1	0.49	0.394	3.79	0.51	2.459	3.30	0.51	2.011	3.54	0.87	2.144	3.52	1.15	2.089	3.82
	90	1.52	0.33	0.376	3.77	0.44	0.066	3.39	0.44	2.121	3.55	0.76	2.136	3.54	1.01	2.035	3.88
	120	2	0.27	0.372	3.59	0.39	0.060	3.20	0.41	2.038	3.52	0.76	1.836	3.56	1.04	2.107	3.87

ตารางที่ ๒.2 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหา pH ที่เหมาะสมของ pH 4, 5, 7, 9 และ 10 ของ FeCl₃ ที่ความเข้มข้น 200 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 µm ความดัน 20 psi

Time (min)	Time (hour)	Temp (°C)	pH 4			pH 5			pH 7			pH 9			pH 10		
			Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH
ก่อนกรอง	0.00	28.1	2.08	2.934	3.05	1.29	2.709	3.18	1.29	2.233	3.42	1.59	2.473	4.13	2.70	1.900	4.46
0	0.00	28.1	1.34	2.536	3.09	1.21	2.345	3.22	1.21	2.178	3.45	1.20	1.968	4.11	1.41	1.770	4.49
5	-0.08	28.1	1.30	2.479	3.01	1.15	0.110	3.23	1.15	1.940	3.40	1.10	0.106	4.18	1.00	0.062	4.44
10	0.17	28.1	1.26	2.420	3.08	1.10	2.217	3.23	1.10	2.102	3.39	1.00	2.118	4.15	0.86	0.097	4.47
15	0.25	28.1	1.23	2.113	3.09	1.03	2.251	3.24	1.03	2.076	3.43	0.92	0.097	4.11	0.82	0.068	4.40
30	0.50	28.1	1.21	2.104	3.07	0.87	2.271	3.24	0.87	2.098	3.45	0.84	2.138	4.18	0.75	1.778	4.46
45	0.75	28.1	1.18	1.972	3.09	0.75	2.435	3.24	0.75	2.124	3.48	0.78	2.052	4.13	0.64	0.079	4.41
60	1.00	28.1	1.14	1.959	3.12	0.54	2.228	3.25	0.54	2.086	3.50	0.65	2.034	4.11	0.53	1.790	4.49
90	1.52	28.1	1.01	1.832	3.08	0.24	2.286	3.20	0.24	2.077	3.46	0.56	1.952	4.17	0.44	0.065	4.47
120	2.00	28.1	0.86	1.806	3.07	0.10	2.218	3.21	0.10	2.102	3.51	0.51	2.046	4.16	0.40	1.664	4.50

ตารางที่ ๓.3 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหา pH ที่ เหมาะสมของ pH 4 ,5 , 7, 9 และ 10 ของ PACI ที่ความเข้มข้น 400 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 µm ความดัน 20 psi

Time (min)	Time (hour)	Temp (°C)	pH 4			pH 5			pH 7			pH 9			pH 10		
			Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH
ก่อนกรอง	0.00	28.1	13.30	2.225	3.78	1.81	5.351	3.79	2.35	1.178	3.73	8.53	7.543	3.74	1.56	6.662	3.67
0	0.00	28.1	1.99	0.128	3.74	1.83	5.197	3.92	0.87	5.455	3.86	0.73	5.470	3.81	0.65	5.086	3.61
5	0.08	28.1	1.58	5.376	3.82	1.83	4.127	4.01	0.80	0.189	3.77	0.67	0.121	3.79	0.56	0.128	3.64
10	0.17	28.1	1.58	5.528	3.86	1.68	5.481	3.96	0.76	0.170	3.74	0.65	0.137	3.77	0.53	5.555	3.69
15	0.25	28.1	1.28	5.392	3.89	1.52	5.733	3.96	0.67	0.135	3.83	0.61	5.268	3.76	0.52	0.132	3.66
30	0.50	28.1	1.28	5.422	3.90	1.19	5.646	3.96	0.60	5.478	3.77	0.53	0.124	3.78	0.51	0.116	3.67
45	0.75	28.1	1.19	5.394	3.92	1.16	4.418	4.03	0.53	0.135	3.86	0.57	0.125	3.74	0.46	0.096	3.69
60	1.00	28.1	1.18	5.510	3.92	1.04	5.439	3.97	0.49	0.127	3.79	0.40	0.116	3.76	0.46	0.136	3.62
90	1.52	28.1	1.16	5.366	3.94	0.96	5.166	4.10	0.45	0.124	3.80	0.37	0.114	3.75	0.43	0.124	3.69
120	2.00	28.1	1.11	5.478	3.88	0.90	4.378	3.80	0.36	0.126	3.76	0.36	0.117	3.79	0.42	0.089	3.68

ภาคผนวก ก

ความเหมาะสมของสารเคมีในการดำเนินระบบของน้ำสังเคราะห์ผ่านเมมเบรน

ตารางที่ ค.1 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหาความเหมาะสมของ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบ ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi

Time (min)	Time (hour)	Temp (°C)	0 mg/l			200 mg/l			300 mg/l			400 mg/l			500 mg/l		
			Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH
ก่อนกรอง	0.00	28.1	6.74	0.446	5.44	4.72	0.568	4.04	15.80	0.445	4.07	7.65	0.416	3.68	13.70	0.227	3.74
0	0.00	28.1	1.01	0.396	5.29	1.01	0.375	4.07	0.69	0.388	4.06	0.88	0.304	3.68	0.78	0.516	3.76
5	0.08	28.1	0.84	0.385	5.47	0.84	0.364	4.07	0.55	0.365	4.02	0.60	0.303	3.64	0.59	1.057	3.69
10	0.17	28.1	0.80	0.373	5.87	0.80	0.412	4.04	0.56	0.450	4.04	0.54	0.337	3.67	0.58	0.891	3.77
15	0.25	28.1	0.76	0.366	5.43	0.76	0.343	4.04	0.52	0.365	4.01	0.51	0.309	3.70	0.58	0.722	3.64
30	0.50	28.1	0.63	0.361	5.11	0.63	0.380	3.86	0.53	0.346	4.00	0.49	0.359	3.65	0.60	1.468	3.74
45	0.75	28.1	0.59	0.354	5.97	0.59	0.389	4.05	0.51	0.382	3.96	0.48	0.344	3.70	0.58	0.385	3.72
60	1.00	28.1	0.58	0.342	5.26	0.58	0.403	3.98	0.48	0.399	4.08	0.45	0.315	3.69	0.60	0.657	3.78
90	1.52	28.1	0.54	0.332	5.55	0.56	0.367	4.02	0.40	0.375	4.05	0.41	0.333	3.78	0.58	0.535	3.79
120	2.00	28.1	0.49	0.329	5.09	0.49	0.347	4.04	0.52	0.356	4.03	0.37	0.312	3.80	0.52	0.609	3.74

ตารางที่ ค.2 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหาความเหมาะสมของ FeCl₃ ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบ ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 µm ความดัน 20 psi

Time (min)	Time (hour)	Temp (°C)	0 mg/l			200 mg/l			300 mg/l			400 mg/l			500 mg/l		
			Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH
ก่อนกรอง	0.00	28.1	6.74	0.446	5.44	34.70	0.617	3.38	61.10	0.360	3.05	21.80	0.318	3.11	139.00	0.322	2.93
0	0.00	28.1	1.01	0.396	5.29	0.73	0.457	3.42	0.56	0.248	3.10	0.51	0.234	3.09	0.70	0.325	2.91
5	-0.08	28.1	0.84	0.385	5.47	0.56	0.434	3.39	0.56	0.259	3.13	0.50	0.323	3.08	0.56	0.332	2.89
10	0.17	28.1	0.80	0.373	5.87	0.50	0.432	3.34	0.52	0.248	3.08	0.49	0.263	3.08	0.58	0.300	2.89
15	0.25	28.1	0.76	0.366	5.43	0.48	0.332	3.36	0.51	0.313	3.09	0.47	0.258	3.09	0.56	0.342	2.93
30	0.50	28.1	0.63	0.361	5.11	0.46	0.409	3.35	0.49	0.268	3.11	0.45	0.278	3.07	0.58	0.407	2.91
45	0.75	28.1	0.59	0.354	5.97	0.46	0.380	3.40	0.47	0.303	3.12	0.45	0.266	3.09	0.54	0.413	2.93
60	1.00	28.1	0.58	0.342	5.26	0.47	0.398	3.36	0.47	0.283	3.10	0.44	0.266	3.06	0.49	0.310	2.87
90	1.52	28.1	0.54	0.332	5.55	0.43	0.343	3.36	0.45	0.264	3.13	0.44	0.254	3.07	0.44	0.312	2.92
120	2.00	28.1	0.49	0.329	5.09	0.40	0.330	3.39	0.43	0.295	3.12	0.43	0.233	3.06	0.44	0.301	2.96

ตารางที่ ค.3 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหาความเหมาะสมของ PACI ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบ ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi

Time (min)	Time (hour)	Temp (°C)	0 mg/l			200 mg/l			300 mg/l			400 mg/l			500 mg/l		
			Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH
ก่อนกรอง			6.74	0.446	5.44	5.29	1.348	3.93	7.45	2.210	3.88	13.30	2.956	3.83	6.65	3.587	3.76
0	0.00	28.1	1.01	0.396	5.29	0.68	1.417	3.94	0.66	2.098	3.85	0.72	2.622	3.87	0.69	3.589	3.80
5	0.08	28.1	0.84	0.385	5.47	0.67	1.307	3.99	0.64	1.857	3.93	0.67	2.752	3.91	0.67	3.488	3.81
10	0.17	28.1	0.80	0.373	5.87	0.66	1.336	3.94	0.59	2.219	3.89	0.62	2.544	3.84	0.66	3.434	3.79
15	0.25	28.1	0.76	0.366	5.43	0.66	1.365	3.97	0.54	2.174	3.84	0.57	2.790	3.89	0.65	3.377	3.85
30	0.50	28.1	0.63	0.361	5.11	0.66	1.217	3.87	0.52	2.134	3.92	0.58	2.771	3.85	0.59	3.434	3.81
45	0.75	28.1	0.59	0.354	5.97	0.65	1.401	3.91	0.50	1.930	3.96	0.59	2.784	3.90	0.56	3.358	3.78
60	1.00	28.1	0.58	0.342	5.26	0.62	1.342	3.85	0.45	1.846	3.88	0.54	2.879	3.91	0.55	3.342	3.77
90	1.52	28.1	0.54	0.332	5.55	0.60	1.314	3.91	0.45	1.776	3.94	0.55	2.755	3.90	0.49	3.336	3.86
120	2.00	28.1	0.49	0.329	5.09	0.59	1.294	3.93	0.44	1.669	3.89	0.50	2.631	3.90	0.47	3.346	3.89

ภาคผนวก ง

pH ที่เหมาะสมของสารเคมีในการดำเนินระบบของน้ำล้างเคราะห์ผ่านเมมเบรน

ตารางที่ ง.1 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการทำ pH ที่ เหมาะสมของ pH 4, 5, 7, 9 และ 10 ของ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 200 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi

Time (min)	Time (hour)	Temp ($^{\circ}C$)	pH 4			pH 5			pH 7			pH 9			pH 10		
			Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH
ก่อนกรอง	0.00	28.1	6.09	0.537	3.83	14.70	0.473	3.88	13.90	0.390	3.95	31.40	0.470	3.72	34.40	0.350	3.78
0	0.00	28.1	0.76	0.364	3.84	0.63	0.412	3.89	0.39	0.381	3.97	1.74	0.369	7.68	1.57	0.362	4.11
5	0.08	28.1	0.74	0.342	3.83	0.58	4.831	3.85	0.36	0.397	3.95	0.86	0.299	3.70	0.92	0.309	4.13
10	0.17	28.1	0.72	0.339	3.86	0.54	0.426	3.87	0.35	0.570	3.99	0.69	0.456	3.68	0.84	0.247	4.12
15	0.25	28.1	0.69	0.459	3.75	0.53	0.465	3.81	0.52	0.330	3.95	0.57	0.250	3.71	0.78	0.293	4.12
30	0.50	28.1	0.66	0.401	3.82	0.51	0.424	3.85	0.49	0.414	3.96	0.56	0.254	3.74	0.76	0.258	4.13
45	0.75	28.1	0.62	0.359	3.84	0.50	0.359	3.88	0.47	0.327	3.99	0.56	0.362	3.66	0.74	0.267	4.13
60	1.00	28.1	0.60	0.346	3.88	0.49	0.378	3.83	0.45	0.383	3.96	0.56	0.267	3.74	0.71	0.290	4.11
90	1.52	28.1	0.47	0.338	3.83	0.44	0.324	3.90	0.40	0.361	3.94	0.49	0.272	3.72	0.62	0.245	4.12
120	2.00	28.1	0.35	0.398	3.87	0.43	0.345	3.87	0.31	0.323	3.97	0.33	0.255	3.70	0.54	0.261	4.13

ตารางที่ ง.2 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหา pH ที่ เหมาะสมของ pH 4, 5, 7, 9 และ 10 ของ FeCl₃ ที่ความเข้มข้น 500 mg/l

ผ่านเมมเบรนแบบ ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 µm ความดัน 20 psi

Time (min)	Time (hour)	Temp (°C)	pH 4			pH 5			pH 7			pH 9			pH 10		
			Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH
ก่อนกรอง	0.00	28.1	189.00	0.495	3.06	140.00	0.337	3.09	3.17	0.339	3.17	36.00	0.540	3.37	58.60	0.349	3.12
0	0.00	28.1	1.13	0.394	3.02	0.71	0.331	3.12	3.09	0.402	3.09	0.76	0.318	3.24	4.50	0.424	3.14
5	-0.08	28.1	0.81	0.401	3.02	0.61	0.326	3.11	3.09	0.281	3.09	0.71	0.309	3.21	3.31	0.450	3.14
10	0.17	28.1	0.78	0.383	3.02	0.57	0.325	3.09	3.11	0.260	3.11	0.68	0.299	3.27	3.27	0.302	3.13
15	0.25	28.1	0.71	0.381	3.01	0.55	0.361	3.10	3.10	0.374	3.10	0.65	0.394	3.28	2.15	0.438	3.14
30	0.50	28.1	0.65	0.394	3.02	0.54	0.243	3.10	3.08	0.344	3.08	0.62	0.290	3.25	1.35	0.463	3.12
45	0.75	28.1	0.53	0.389	3.05	0.53	0.271	3.11	3.10	0.377	3.10	0.58	0.310	3.27	1.07	0.360	3.10
60	1.00	28.1	0.45	0.381	3.01	0.52	0.311	3.12	3.09	0.342	3.09	0.56	0.367	3.20	0.62	0.488	3.08
90	1.52	28.1	0.32	0.369	3.07	0.44	0.325	3.11	3.11	0.364	3.11	0.49	0.322	3.24	0.44	0.417	3.11
120	2.00	28.1	0.29	0.373	3.05	0.31	0.235	3.08	3.11	0.345	3.11	0.34	0.336	3.22	0.31	0.393	3.12

ตารางที่ ง.3 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการหา pH ที่เหมาะสมของ pH 4, 5, 7, 9 และ 10 ของ PACI ที่ความเข้มข้น 400 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi

Time (min)	Time (hour)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	pH 4			pH 5			pH 7			pH 9			pH 10		
			Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/l)	pH
ก่อนกรอง	0.00	28.1	10.80	1.347	3.06	17.60	1.146	3.06	3.77	1.214	4.46	28.10	1.314	3.66	41.90	0.009	1.52
0	0.08	28.1	0.62	1.308	3.24	1.24	1.059	3.24	3.79	1.510	0.56	0.59	1.392	3.69	0.79	0.010	1.22
5	0.17	28.1	0.59	1.530	3.64	1.15	1.238	3.64	3.58	1.210	0.53	0.58	1.369	3.61	0.75	0.010	1.22
10	0.25	28.1	0.56	1.555	3.71	1.08	1.179	3.71	3.51	1.553	0.51	0.58	1.536	3.65	0.72	0.010	1.59
15	0.50	28.1	0.54	1.551	3.77	1.00	1.232	3.77	3.91	1.233	0.50	0.54	1.498	3.66	0.67	0.010	2.30
30	0.75	28.1	0.52	1.544	3.76	0.98	0.992	3.76	3.76	1.323	0.48	0.52	1.492	3.71	0.65	0.009	1.64
45	1.00	28.1	0.50	1.382	3.06	0.94	0.993	3.06	3.81	1.438	0.47	0.50	1.179	3.69	0.62	0.007	1.20
60	1.52	28.1	0.45	1.564	3.45	0.77	1.008	3.45	3.77	1.235	0.42	0.45	1.096	3.66	0.60	0.008	1.37
90	2.00	28.1	0.40	1.348	3.43	0.56	0.993	3.64	3.71	1.342	0.19	0.40	1.175	3.67	0.51	0.005	1.38
120	0.00	28.1	0.39	1.499	3.44	0.33	1.012	3.84	3.74	1.266	0.10	0.37	1.083	3.62	0.44	0.004	1.62

ภาคผนวก จ

ความเหมาะสมของสารเคมีในการทดลองของฟลักซ์ของน้ำผิวดิน

ตารางที่ จ.1 ผลการทดลองของฟลักซ์ ในการหาความเหมาะสมของ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบ ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi

Time (min)	Temp (°C)	Amount (g)	0 mg/l				200 mg/l				300 mg/l				400 mg/l				500 mg/l											
			Permeate (g)	Flux (g/h)	Q ₁₀ (l/h)	Q ₂₀ (l/h)	Permeate (g)	Flux (g/h)	Q ₁₀ (l/h)	Q ₂₀ (l/h)	Permeate (g)	Flux (g/h)	Q ₁₀ (l/h)	Q ₂₀ (l/h)	Permeate (g)	Flux (g/h)	Q ₁₀ (l/h)	Q ₂₀ (l/h)	Permeate (g)	Flux (g/h)	Q ₁₀ (l/h)	Q ₂₀ (l/h)								
0	26.7	0.002	0.004	0.40	0.40	1.00	0.28	0.28	1.00	0.48	0.48	1.00	0.48	0.48	1.00	0.48	0.48	1.00	0.059	0.48	0.48	1.00	0.054	0.48	0.48	1.00	0.09	0.48	0.48	1.00
5	26.7	0.002	0.015	0.66	0.40	0.16	0.48	0.24	0.34	0.85	0.41	0.48	0.52	0.48	0.52	0.48	0.48	0.55	0.025	0.41	0.48	0.52	0.025	0.48	0.48	0.55	0.025	0.48	0.48	0.55
10	26.7	0.002	0.009	0.64	0.40	0.11	0.46	0.22	0.78	0.75	0.24	0.48	0.50	0.48	0.50	0.48	0.48	0.55	0.005	0.24	0.48	0.50	0.005	0.48	0.48	0.55	0.005	0.48	0.48	0.55
15	26.7	0.002	0.007	0.65	0.40	0.08	0.40	0.20	0.70	0.70	0.17	0.48	0.56	0.48	0.56	0.48	0.48	0.55	0.006	0.17	0.48	0.56	0.006	0.48	0.48	0.55	0.006	0.48	0.48	0.55
20	26.7	0.002	0.025	0.62	0.40	0.06	0.54	0.16	0.59	0.59	0.14	0.48	0.59	0.48	0.59	0.48	0.48	0.55	0.009	0.14	0.48	0.59	0.009	0.48	0.48	0.55	0.008	0.48	0.48	0.55
45	26.7	0.002	0.004	0.62	0.40	0.05	0.14	0.14	0.52	0.52	0.11	0.48	0.55	0.48	0.55	0.48	0.48	0.55	0.005	0.11	0.48	0.55	0.005	0.48	0.48	0.55	0.006	0.48	0.48	0.55
60	26.7	0.002	0.004	0.62	0.40	0.04	0.22	0.12	0.45	0.45	0.07	0.48	0.12	0.48	0.12	0.48	0.48	0.55	0.005	0.07	0.48	0.55	0.005	0.48	0.48	0.55	0.006	0.48	0.48	0.55
90	26.7	0.002	0.005	0.61	0.40	0.05	0.02	0.10	0.55	0.55	0.09	0.48	0.08	0.48	0.08	0.48	0.48	0.55	0.009	0.04	0.48	0.55	0.009	0.48	0.48	0.55	0.008	0.48	0.48	0.55
120	26.7	0.002	0.002	0.61	0.40	0.02	0.07	0.07	0.26	0.26	0.06	0.48	0.05	0.48	0.05	0.48	0.48	0.55	0.006	0.05	0.48	0.55	0.006	0.48	0.48	0.55	0.008	0.48	0.48	0.55

ตารางที่ จ.2 ผลการลดลงของฟลักซ์ ในการหาความหมาะสมของ $FeCl_3$ ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบ

ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi

Time (min)	Temp (°C)	membrane Area (cm ²)	0 mg/l				300 mg/l				500 mg/l				400 mg/l				500 mg/l																					
			Permeate (g)	Flux (g/h)	J _v (cm ³ /h)	J _v /δ (cm ³ /h)	Permeate (L)	Flux (g/h)	J _v (cm ³ /h)	J _v /δ (cm ³ /h)	Permeate (L)	Flux (g/h)	J _v (cm ³ /h)	J _v /δ (cm ³ /h)	Permeate (L)	Flux (g/h)	J _v (cm ³ /h)	J _v /δ (cm ³ /h)	Permeate (L)	Flux (g/h)	J _v (cm ³ /h)	J _v /δ (cm ³ /h)																		
0	26.7	0.002	0.034	0.40	1.00	0.28	0.28	0.25	0.47	0.47	1.00	0.84	0.84	0.057	0.28	0.28	1.00	0.59	0.28	0.28	1.00	0.28	0.28	1.00	0.28	0.28	0.28	1.00	0.28	0.28	0.28	1.00	0.28	0.28	0.28	1.00	0.28	0.28	0.28	
5	26.7	0.002	0.013	0.06	0.40	0.16	0.40	0.40	0.40	0.40	0.54	0.40	0.47	0.029	0.14	0.28	0.51	0.23	0.11	0.28	0.23	0.51	0.23	0.11	0.28	0.23	0.11	0.28	0.23	0.11	0.28	0.23	0.11	0.28	0.23	0.11	0.28	0.23	0.11	0.28
10	26.7	0.002	0.009	0.04	0.40	0.11	0.40	0.28	0.28	0.28	0.76	0.28	0.47	0.023	0.11	0.28	0.40	0.16	0.07	0.28	0.16	0.40	0.16	0.07	0.28	0.16	0.07	0.28	0.16	0.07	0.28	0.16	0.07	0.28	0.16	0.07	0.28	0.16	0.07	0.28
15	26.7	0.002	0.007	0.03	0.40	0.08	0.40	0.28	0.28	0.28	0.67	0.28	0.47	0.017	0.08	0.28	0.30	0.13	0.06	0.28	0.13	0.30	0.13	0.06	0.28	0.13	0.06	0.28	0.13	0.06	0.28	0.13	0.06	0.28	0.13	0.06	0.28	0.13	0.06	0.28
30	26.7	0.002	0.005	0.02	0.40	0.06	0.40	0.28	0.28	0.28	0.63	0.28	0.47	0.014	0.07	0.28	0.24	0.09	0.04	0.28	0.09	0.24	0.09	0.04	0.28	0.09	0.04	0.28	0.09	0.04	0.28	0.09	0.04	0.28	0.09	0.04	0.28	0.09	0.04	0.28
45	26.7	0.002	0.004	0.02	0.40	0.05	0.40	0.28	0.28	0.28	0.54	0.28	0.47	0.011	0.05	0.28	0.20	0.08	0.04	0.28	0.08	0.20	0.08	0.04	0.28	0.08	0.04	0.28	0.08	0.04	0.28	0.08	0.04	0.28	0.08	0.04	0.28	0.08	0.04	0.28
60	26.7	0.002	0.004	0.02	0.40	0.04	0.40	0.28	0.28	0.28	0.46	0.28	0.47	0.009	0.04	0.28	0.15	0.07	0.03	0.28	0.07	0.15	0.07	0.03	0.28	0.07	0.03	0.28	0.07	0.03	0.28	0.07	0.03	0.28	0.07	0.03	0.28	0.07	0.03	0.28
90	26.7	0.002	0.003	0.01	0.40	0.03	0.40	0.28	0.28	0.28	0.34	0.28	0.47	0.007	0.03	0.28	0.12	0.05	0.03	0.28	0.05	0.12	0.05	0.03	0.28	0.05	0.03	0.28	0.05	0.03	0.28	0.05	0.03	0.28	0.05	0.03	0.28	0.05	0.03	0.28
120	26.7	0.002	0.002	0.01	0.40	0.02	0.40	0.28	0.28	0.28	0.26	0.28	0.47	0.006	0.02	0.28	0.08	0.03	0.02	0.28	0.03	0.08	0.03	0.02	0.28	0.03	0.02	0.28	0.03	0.02	0.28	0.03	0.02	0.28	0.03	0.02	0.28	0.03	0.02	0.28

ตารางที่ จ.3 ผลการทดลองของฟลักซ์ ในการหาความเหมาะสมของ PACI ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l ผ่านเมมเบรนแบบ ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi

Time (hour)	Temp (C)	membrane Area (cm ²)	0 mg/l				300 mg/l				400 mg/l				500 mg/l											
			Permeate (g)	Flux (l/h)	Jo (L/m ² h)	JwJo	Permeate (L)	Flux (l/h)	Jo (L/m ² h)	JwJo	Permeate (L)	Flux (l/h)	Jo (L/m ² h)	JwJo	Permeate (L)	Flux (l/h)	Jo (L/m ² h)	JwJo								
0.00	26.7	0.002	0.084	0.40	0.40	1.00	1.00	0.029	0.14	0.14	0.14	1.00	0.035	0.17	0.17	0.17	1.00	0.022	0.11	0.11	1.00	0.015	0.07	0.07	1.00	
0.05	26.7	0.002	0.013	0.06	0.40	0.16	0.43	0.013	0.06	0.14	0.14	0.43	0.014	0.07	0.17	0.41	0.019	0.09	0.11	0.09	0.11	0.36	0.011	0.05	0.07	0.77
0.17	26.7	0.002	0.009	0.04	0.40	0.11	0.40	0.012	0.06	0.14	0.40	0.40	0.013	0.06	0.17	0.37	0.017	0.08	0.11	0.08	0.11	0.78	0.010	0.05	0.07	0.70
0.25	26.7	0.002	0.007	0.03	0.40	0.05	0.37	0.011	0.05	0.14	0.37	0.37	0.011	0.05	0.17	0.32	0.015	0.07	0.11	0.07	0.11	0.69	0.009	0.05	0.07	0.64
0.50	26.7	0.002	0.005	0.02	0.40	0.06	0.33	0.010	0.05	0.14	0.33	0.33	0.009	0.04	0.17	0.26	0.013	0.06	0.11	0.06	0.11	0.59	0.008	0.04	0.07	0.54
0.75	26.7	0.002	0.004	0.02	0.40	0.05	0.29	0.009	0.04	0.14	0.29	0.29	0.008	0.04	0.17	0.23	0.012	0.06	0.11	0.06	0.11	0.54	0.006	0.03	0.07	0.42
1.00	26.7	0.002	0.004	0.02	0.40	0.04	0.25	0.007	0.04	0.14	0.25	0.25	0.007	0.03	0.17	0.20	0.010	0.05	0.11	0.05	0.11	0.48	0.005	0.03	0.07	0.37
1.52	26.7	0.002	0.003	0.01	0.40	0.03	0.18	0.005	0.03	0.14	0.18	0.18	0.004	0.02	0.17	0.12	0.007	0.03	0.11	0.03	0.11	0.31	0.003	0.02	0.07	0.22
2.00	26.7	0.002	0.002	0.01	0.40	0.02	0.12	0.003	0.02	0.14	0.12	0.12	0.003	0.01	0.17	0.08	0.004	0.02	0.11	0.02	0.11	0.15	0.002	0.01	0.07	0.13

ภาคผนวก ฉ

pH ที่เหมาะสมของสารเคมีในการลดลงของฟลักซ์ของน้ำผิวดิน

ตารางที่ ๓.1 ผลการลดลงของฟลักซ์ในการทำ pH ที่เหมาะสมของ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ pH 4, 5, 7, 9 และ 10 ผ่านเมมเบรนแบบ
ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi

Time (min)	Temp (°C)	membrane Area of (m ²)	pH 4			pH 5			pH 7			pH 9			pH 10				
			Permeate (g)	Flux (g/cm ² h)	J _s (cm ³ /h)	J _v (cm ³ /h)	Permeate (L)	Flux (g/cm ² h)	J _s (cm ³ /h)	J _v (cm ³ /h)	Permeate (L)	Flux (g/cm ² h)	J _s (cm ³ /h)	J _v (cm ³ /h)	Permeate (L)	Flux (g/cm ² h)	J _s (cm ³ /h)	J _v (cm ³ /h)	
0	28.1	0.002	20.520	97.60	86.17	86.17	1.00	73.040	346.01	346.01	1.00	222.410	1068225	1068225	1.00	115.610	555.28	555.28	1.00
5	28.1	0.002	19.220	63.50	71.95	86.17	0.65	14.980	75.46	346.01	0.22	44.690	215.18	1068225	0.20	50.530	242.80	555.28	0.44
10	28.1	0.002	10.890	54.87	53.46	86.17	0.62	13.570	65.18	346.01	0.19	32.700	157.06	1068225	0.15	35.790	171.90	555.28	0.31
15	28.1	0.002	8.820	42.36	46.35	86.17	0.54	12.690	60.95	346.01	0.18	25.040	120.27	1068225	0.11	30.920	148.51	555.28	0.27
30	28.1	0.002	7.460	35.83	37.51	86.17	0.44	11.550	55.48	346.01	0.16	14.870	71.42	1068225	0.07	26.190	125.79	555.28	0.23
45	28.1	0.002	6.110	29.55	27.28	86.17	0.32	10.290	49.42	346.01	0.14	13.440	64.55	1068225	0.06	24.060	115.56	555.28	0.21
60	28.1	0.002	5.440	26.13	19.02	86.17	0.22	9.330	44.81	346.01	0.13	12.620	60.61	1068225	0.06	22.930	100.13	555.28	0.20
90	28.1	0.002	3.660	16.62	9.80	86.17	0.11	7.140	34.29	346.01	0.10	7.220	34.68	1068225	0.03	16.300	78.29	555.28	0.14
120	28.1	0.002	2.840	13.74	6.63	86.17	0.08	5.360	25.74	346.01	0.07	5.960	28.63	1068225	0.03	14.630	70.37	555.28	0.13

ตารางที่ ๑.2 ผลการลดลงของฟลักซ์ในการหา pH ที่เหมาะสมของ $FeCl_3$ ที่ pH 4, 5, 7, 9 และ 10 ผ่านเมมเบรนแบบ ไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi

Temp ($^{\circ}C$)	membrane Area (m^2)	pH 4			pH 5			pH 7			pH 9			pH 10		
		Permeate (L)	Flux ($l/m^2/h$)	Reject ($l/m^2/h$)	Permeate (L)	Flux ($l/m^2/h$)	Reject ($l/m^2/h$)	Permeate (L)	Flux ($l/m^2/h$)	Reject ($l/m^2/h$)	Permeate (L)	Flux ($l/m^2/h$)	Reject ($l/m^2/h$)	Permeate (L)	Flux ($l/m^2/h$)	Reject ($l/m^2/h$)
28.1	0.002	71.040	346.01	346.01	29.590	141.69	141.69	20.130	96.69	96.69	112.360	539.67	539.67	177.400	852.07	852.07
28.1	0.002	15.710	75.46	346.01	9.930	47.69	141.69	16.730	80.36	96.69	11.120	53.41	539.67	12.230	58.74	852.07
28.1	0.002	9.140	43.90	346.01	9.140	43.90	141.69	9.140	43.90	96.69	9.140	43.90	539.67	9.440	45.34	852.07
28.1	0.002	8.020	38.52	346.01	8.020	38.52	141.69	8.020	38.52	96.69	8.020	38.52	539.67	8.790	42.22	852.07
28.1	0.002	7.170	34.44	346.01	7.170	34.44	141.69	7.170	34.44	96.69	7.170	34.44	539.67	7.780	37.37	852.07
28.1	0.002	6.530	31.36	346.01	6.530	31.36	141.69	6.530	31.36	96.69	6.530	31.36	539.67	6.980	33.53	852.07
28.1	0.002	5.600	26.90	346.01	5.600	26.90	141.69	5.600	26.90	96.69	5.600	26.90	539.67	5.790	27.81	852.07
28.1	0.002	3.210	15.42	346.01	3.210	15.42	141.69	3.210	15.42	96.69	3.210	15.42	539.67	3.990	19.16	852.07
28.1	0.002	1.330	6.39	346.01	1.330	6.39	141.69	1.330	6.39	96.69	1.330	6.39	539.67	2.120	10.18	852.07

ตารางที่ ๓.3 ผลการทดลองของฟลักซ์ ในการหา pH ที่เหมาะสมของ PACI ที่ pH 4, 5, 7, 9 และ 10 ผ่านแบบรวมแบบ

ไมโครฟิเดรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi

Time (min)	Temp (°C)	Amount (mg)	pH 4			pH 5			pH 7			pH 9			pH 10			
			Passage (L)	Flow (L/min)	Leak (L/min)	Passage (L)	Flow (L/min)	Leak (L/min)	Passage (L)	Flow (L/min)	Leak (L/min)	Passage (L)	Flow (L/min)	Leak (L/min)	Passage (L)	Flow (L/min)	Leak (L/min)	
0	28.1	0.002	0.011	0.05	0.07	1.00	0.050	0.43	0.43	1.00	0.064	0.31	0.31	1.00	0.060	0.29	0.29	1.00
5	28.1	0.002	0.008	0.04	0.06	0.83	0.010	0.05	0.43	0.11	0.011	0.05	0.31	0.18	0.012	0.06	0.29	0.20
10	28.1	0.002	0.007	0.03	0.06	0.77	0.008	0.04	0.43	0.09	0.010	0.05	0.31	0.16	0.010	0.05	0.29	0.17
15	28.1	0.002	0.005	0.03	0.05	0.69	0.007	0.03	0.43	0.07	0.009	0.04	0.31	0.14	0.010	0.05	0.29	0.16
30	28.1	0.002	0.004	0.02	0.04	0.61	0.005	0.02	0.43	0.06	0.009	0.04	0.31	0.14	0.009	0.04	0.29	0.15
45	28.1	0.002	0.003	0.02	0.04	0.53	0.004	0.02	0.43	0.05	0.007	0.03	0.31	0.11	0.008	0.04	0.29	0.13
60	28.1	0.002	0.002	0.01	0.04	0.50	0.003	0.02	0.43	0.04	0.006	0.03	0.31	0.10	0.007	0.03	0.29	0.11
80	28.1	0.002	0.002	0.01	0.02	0.28	0.002	0.01	0.43	0.02	0.004	0.02	0.31	0.07	0.004	0.02	0.29	0.07
120	28.1	0.002	0.001	0.01	0.01	0.17	0.001	0.01	0.43	0.01	0.002	0.01	0.31	0.03	0.002	0.01	0.29	0.04

ภาคผนวก ช

ความเหมาะสมของสารเคมีที่มีผลในการลดลงของฟลักซ์ของน้ำใต้กระาะห้

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองของฟลักซ์ ในการหาความเหมาะสมของ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l

ผ่านแบบปรนแบบไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi

Time (min)	Flow Rate (l/min)	Fouling (%)	0 mg/l			200 mg/l			300 mg/l			400 mg/l			500 mg/l						
			Permeate (g)	Flux (l/m ² h)	Fe (mg/l)	Permeate (L)	Flux (l/m ² h)	Fe (mg/l)	Permeate (L)	Flux (l/m ² h)	Fe (mg/l)	Permeate (L)	Flux (l/m ² h)	Fe (mg/l)	Permeate (L)	Flux (l/m ² h)	Fe (mg/l)				
0	0.00	26.7	0.002	0.40	0.40	1.00	0.06	0.28	0.28	1.00	0.48	0.48	1.00	0.10	0.48	0.48	1.00	0.05	0.26	0.26	1.00
5	0.08	26.7	0.002	0.40	0.40	0.16	0.05	0.24	0.28	0.84	0.41	0.48	0.85	0.09	0.41	0.48	0.85	0.02	0.09	0.26	0.33
10	0.17	26.7	0.002	0.40	0.40	0.11	0.05	0.22	0.28	0.78	0.24	0.48	0.50	0.05	0.24	0.48	0.50	0.01	0.06	0.26	0.25
15	0.25	26.7	0.002	0.40	0.40	0.08	0.04	0.20	0.28	0.70	0.17	0.48	0.36	0.04	0.17	0.48	0.36	0.01	0.06	0.26	0.22
30	0.50	26.7	0.002	0.40	0.40	0.06	0.03	0.16	0.28	0.59	0.14	0.48	0.29	0.03	0.14	0.48	0.29	0.01	0.04	0.26	0.14
45	0.75	26.7	0.002	0.40	0.40	0.05	0.03	0.14	0.28	0.52	0.11	0.48	0.23	0.02	0.11	0.48	0.23	0.01	0.03	0.26	0.11
60	1.00	26.7	0.002	0.40	0.40	0.04	0.03	0.12	0.28	0.43	0.07	0.48	0.15	0.02	0.07	0.48	0.15	0.01	0.03	0.26	0.10
90	1.52	26.7	0.002	0.40	0.40	0.03	0.02	0.10	0.28	0.35	0.04	0.48	0.09	0.01	0.04	0.48	0.09	0.00	0.02	0.26	0.06
120	2.00	26.7	0.002	0.40	0.40	0.02	0.02	0.07	0.28	0.26	0.03	0.48	0.05	0.01	0.03	0.48	0.05	0.00	0.01	0.26	0.02

ตารางที่ ข.2 ผลการลดลงของฟลักซ์ในการหาความเหมาะสมของ FeCl₃ ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l

ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 µm ความดัน 20 psi

Time (min)	Temp (°C)	Amount (µg)	0 mg/l			300 mg/l			400 mg/l			500 mg/l					
			Passage (g)	Flux (µg/cm ² h)	Fe (µm ² /h)	Passage (L)	Flux (µg/cm ² h)	Fe (µm ² /h)	Passage (L)	Flux (µg/cm ² h)	Fe (µm ² /h)	Passage (L)	Flux (µg/cm ² h)	Fe (µm ² /h)			
0	28.1	0.002	0.084	0.40	0.40	1.00	1.10	1.10	1.50	1.50	1.00	2.12	2.12	2.70	2.70	1.00	
5	28.1	0.002	0.013	0.06	0.40	0.16	0.091	0.44	1.10	0.60	0.40	0.211	1.01	2.12	1.41	2.70	0.52
10	28.1	0.002	0.009	0.04	0.40	0.11	0.069	0.33	1.10	0.46	0.31	0.160	0.77	2.12	1.06	2.70	0.39
15	28.1	0.002	0.007	0.03	0.40	0.08	0.059	0.28	1.10	0.38	0.26	0.133	0.64	2.12	0.89	2.70	0.33
30	28.1	0.002	0.005	0.02	0.40	0.06	0.044	0.21	1.10	0.38	0.19	0.098	0.47	2.12	0.63	2.70	0.23
45	28.1	0.002	0.004	0.02	0.40	0.05	0.035	0.17	1.10	0.23	0.16	0.065	0.31	2.12	0.57	2.70	0.21
60	28.1	0.002	0.004	0.02	0.40	0.04	0.032	0.15	1.10	0.20	0.14	0.043	0.21	2.12	0.48	2.70	0.18
90	28.1	0.002	0.003	0.01	0.40	0.03	0.018	0.09	1.10	0.13	0.08	0.023	0.11	2.12	0.36	2.70	0.13
120	28.1	0.002	0.002	0.01	0.40	0.02	0.011	0.05	1.10	0.07	0.05	0.013	0.06	2.12	0.21	2.70	0.08

ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองของฟลักซ์ ในการหา ความเหมาะสมของ PACI ที่ความเข้มข้น 0, 200, 300, 400 และ 500 mg/l

ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi

Time (min)	Temp (°C)	Amount (mg)	0 mg/l			300 mg/l			400 mg/l			500 mg/l									
			Permeate (g)	Flux (l/h) (m ² /h)	Rejection (%)	Permeate (l)	Flux (l/h) (m ² /h)	Rejection (%)	Permeate (l)	Flux (l/h) (m ² /h)	Rejection (%)	Permeate (l)	Flux (l/h) (m ² /h)	Rejection (%)							
0	28.1	0.002	0.084	0.40	1.00	0.550	2.64	2.64	1.00	0.430	2.06	2.06	1.00	0.425	2.04	2.04	1.00	0.446	2.14	2.14	1.00
5	28.1	0.002	0.013	0.06	0.40	0.16	1.31	2.64	0.49	0.272	1.09	2.06	0.53	0.207	0.99	2.04	0.49	0.178	0.85	2.14	0.40
10	28.1	0.002	0.009	0.04	0.40	0.11	0.99	2.64	0.37	0.172	0.82	2.06	0.40	0.153	0.73	2.04	0.36	0.147	0.70	2.14	0.33
15	28.1	0.002	0.007	0.03	0.40	0.08	0.84	2.64	0.31	0.137	0.66	2.06	0.32	0.116	0.61	2.04	0.30	0.121	0.58	2.14	0.27
30	28.1	0.002	0.005	0.02	0.40	0.06	0.63	2.64	0.24	0.105	0.50	2.06	0.24	0.089	0.43	2.04	0.21	0.084	0.40	2.14	0.19
45	28.1	0.002	0.004	0.02	0.40	0.05	0.54	2.64	0.20	0.082	0.39	2.06	0.19	0.072	0.34	2.04	0.17	0.066	0.32	2.14	0.15
60	28.1	0.002	0.004	0.02	0.40	0.04	0.38	2.64	0.14	0.050	0.24	2.06	0.12	0.061	0.29	2.04	0.14	0.057	0.27	2.14	0.13
90	28.1	0.002	0.003	0.01	0.40	0.03	0.22	2.64	0.08	0.036	0.13	2.06	0.06	0.044	0.21	2.04	0.10	0.033	0.16	2.14	0.07
120	28.1	0.002	0.002	0.01	0.40	0.02	0.13	2.64	0.05	0.012	0.06	2.06	0.03	0.038	0.13	2.04	0.07	0.015	0.07	2.14	0.03

ภาคผนวก ช

pH ที่เหมาะสมของสารเคมีที่มีผลในการลดลงของฟลักซ์ของน้ำสังเคราะห์

ตารางที่ ข.1 ผลการลดลงของฟลักซ์ ในการหา pH ที่เหมาะสมของ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ pH 4, 5, 7, 9 และ 10 ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชัน ขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi

Time (min)	Time (hour)	Temp (°C)	mass of alum (g)	pH 4			pH 5			pH 7			pH 9			pH 10					
				Flux (l/h·m ²)	J _e (l/m ² ·h)	J _v /J _e	Flux (l/h·m ²)	J _e (l/m ² ·h)	J _v /J _e	Flux (l/h·m ²)	J _e (l/m ² ·h)	J _v /J _e	Flux (l/h·m ²)	J _e (l/m ² ·h)	J _v /J _e	Flux (l/h·m ²)	J _e (l/m ² ·h)	J _v /J _e			
0	0.00	28.1	0.421	2.02	1.00	0.480	2.31	2.31	1.00	0.563	2.70	2.70	1.00	0.480	2.31	2.31	1.00	0.319	1.53	1.53	1.00
5	0.08	28.1	0.002	2.02	0.48	0.216	1.04	2.31	0.45	0.239	1.15	2.70	0.42	0.216	1.04	2.31	0.45	0.127	0.61	1.53	0.40
10	0.17	28.1	0.002	0.83	0.41	0.158	0.76	2.31	0.33	0.179	0.86	2.70	0.32	0.158	0.76	2.31	0.33	0.096	0.46	1.53	0.30
15	0.25	28.1	0.002	0.71	0.35	0.135	0.65	2.31	0.28	0.147	0.71	2.70	0.26	0.135	0.65	2.31	0.28	0.080	0.39	1.53	0.25
30	0.50	28.1	0.002	0.55	0.27	0.105	0.51	2.31	0.22	0.110	0.53	2.70	0.20	0.105	0.51	2.31	0.22	0.067	0.32	1.53	0.21
45	0.75	28.1	0.002	0.47	0.23	0.083	0.40	2.31	0.17	0.092	0.44	2.70	0.16	0.083	0.40	2.31	0.17	0.049	0.23	1.53	0.15
60	1.00	28.1	0.002	0.38	0.19	0.073	0.35	2.31	0.15	0.082	0.40	2.70	0.15	0.073	0.35	2.31	0.15	0.045	0.22	1.53	0.14
90	1.52	28.1	0.002	0.25	0.12	0.058	0.28	2.31	0.12	0.064	0.31	2.70	0.11	0.058	0.28	2.31	0.12	0.039	0.19	1.53	0.12
120	2.00	28.1	0.002	0.19	0.09	0.040	0.19	2.31	0.08	0.047	0.22	2.70	0.08	0.040	0.19	2.31	0.08	0.022	0.10	1.53	0.07

ตารางที่ ข.2 ผลการลดลงของฟลักซ์ในการหา pH ที่เหมาะสมของ FeCl₃ ที่ pH 4, 5, 7, 9 และ 10 ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชัน
ขนาดรูพรุน 0.45 µm ความดัน 20 psi

Time (min)	Temp (°C)	Amount (µg)	pH 4			pH 5			pH 7			pH 9			pH 10			
			Flux (Ug/cm ² h)	J _v (Ug/cm ² h)	Permeance (U)	Flux (Ug/cm ² h)	J _v (Ug/cm ² h)	Permeance (U)	Flux (Ug/cm ² h)	J _v (Ug/cm ² h)	Permeance (U)	Flux (Ug/cm ² h)	J _v (Ug/cm ² h)	Permeance (U)	Flux (Ug/cm ² h)	J _v (Ug/cm ² h)	Permeance (U)	
0	28.1	0.002	0.60	1.00	0.042	0.20	0.20	1.00	0.470	2.26	0.465	2.23	2.23	1.00	0.576	2.77	2.77	1.00
5	28.1	0.002	0.59	0.98	0.016	0.07	0.20	0.37	0.273	1.31	0.264	1.27	2.23	0.57	0.285	1.37	2.77	0.50
10	28.1	0.002	0.52	0.87	0.012	0.06	0.20	0.27	0.232	1.12	0.214	1.03	2.23	0.46	0.214	1.03	2.77	0.37
15	28.1	0.002	0.48	0.79	0.010	0.05	0.20	0.23	0.173	0.83	0.163	0.78	2.23	0.35	0.198	0.95	2.77	0.34
30	28.1	0.002	0.36	0.60	0.008	0.04	0.20	0.19	0.132	0.63	0.122	0.58	2.23	0.26	0.134	0.64	2.77	0.23
45	28.1	0.002	0.34	0.56	0.006	0.03	0.20	0.14	0.058	0.28	0.060	0.29	2.23	0.13	0.048	0.23	2.77	0.08
60	28.1	0.002	0.31	0.51	0.005	0.02	0.20	0.12	0.045	0.22	0.050	0.24	2.23	0.11	0.044	0.21	2.77	0.08
90	28.1	0.002	0.24	0.40	0.004	0.02	0.20	0.10	0.030	0.15	0.031	0.15	2.23	0.07	0.038	0.18	2.77	0.07
120	28.1	0.002	0.15	0.25	0.003	0.02	0.20	0.08	0.021	0.10	0.024	0.12	2.23	0.05	0.023	0.11	2.77	0.04

ตารางที่ ๓.3 ผลการลดลงของฟลักซ์ ในการหา pH ที่เหมาะสมของ PACI ที่ pH 4, 5, 7, 9 และ 10 ผ่านเมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชัน
ขนาดรูพรุน 0.45 μm ความดัน 20 psi

Time (min)	Temp (°C)	Amount (μg)	pH 4			pH 5			pH 7			pH 9			pH 10					
			Flux (Vs) ($\text{L}/\text{m}^2/\text{h}$)	J_0 ($\text{L}/\text{m}^2/\text{h}$)	Rejection (%)	Flux (Vs) ($\text{L}/\text{m}^2/\text{h}$)	J_0 ($\text{L}/\text{m}^2/\text{h}$)	Rejection (%)	Flux (Vs) ($\text{L}/\text{m}^2/\text{h}$)	J_0 ($\text{L}/\text{m}^2/\text{h}$)	Rejection (%)	Flux (Vs) ($\text{L}/\text{m}^2/\text{h}$)	J_0 ($\text{L}/\text{m}^2/\text{h}$)	Rejection (%)						
0	0.00	0.002	2.84	2.84	1.00	0.60	0.60	1.00	2.19	2.19	1.00	0.370	1.78	1.78	1.00	0.349	1.67	1.67	1.00	
5	0.08	0.002	1.09	2.84	0.38	0.51	0.60	0.85	0.71	2.19	0.32	0.197	0.95	1.78	1.78	0.53	0.119	1.67	1.67	0.34
10	0.17	0.002	0.159	2.84	0.27	0.34	0.60	0.56	0.48	2.19	0.22	0.151	0.73	1.78	1.78	0.41	0.083	1.67	1.67	0.24
15	0.25	0.002	0.123	2.84	0.21	0.29	0.60	0.49	0.35	2.19	0.16	0.118	0.56	1.78	1.78	0.32	0.065	1.67	1.67	0.19
30	0.50	0.002	0.092	2.84	0.15	0.28	0.60	0.47	0.24	2.19	0.11	0.086	0.41	1.78	1.78	0.23	0.041	1.67	1.67	0.12
45	0.75	0.002	0.048	2.84	0.08	0.23	0.60	0.39	0.15	2.19	0.07	0.073	0.35	1.78	1.78	0.20	0.030	1.67	1.67	0.08
60	1.00	0.002	0.034	2.84	0.06	0.19	0.60	0.32	0.10	2.19	0.05	0.064	0.30	1.78	1.78	0.17	0.018	1.67	1.67	0.05
90	1.52	0.002	0.022	2.84	0.04	0.15	0.60	0.26	0.04	2.19	0.02	0.040	0.19	1.78	1.78	0.11	0.009	1.67	1.67	0.03
120	2.00	0.002	0.012	2.84	0.02	0.13	0.60	0.21	0.03	2.19	0.02	0.031	0.15	1.78	1.78	0.08	0.008	1.67	1.67	0.02

ภาคผนวก ฅ
วิธีคำนวณเตรียมสารเคมี

ณ.1 ขั้นตอนในการเตรียมสารอะลูมิเนียมซัลเฟตในหน่วย มก./ล

1. วิธีทำ

เตรียม อะลูมิเนียมซัลเฟต 1 %			
จาก 1 %	=	1/100	= 0.01
เตรียมสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต 1 ลิตร	=	0.01 x 1,000 กรัม	
	=	10 กรัม	
ดังนั้น ชั่ง อะลูมิเนียมซัลเฟต 10 กรัม			
เติมน้ำ DI ให้ได้ปริมาตร	=	1,000 กรัม	
หรือ	=	10,000 มิลลิลิตรต่อลิตร	

2. ตัวอย่างในการเติมสารละลายในน้ำตัวอย่าง

เติมสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตในน้ำตัวอย่าง 200 มิลลิลิตรต่อลิตร	
จากการเตรียมสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตมีความเข้มข้น 10,000 มิลลิลิตรต่อลิตร	
	= 1,000 มิลลิลิตร
ดังนั้น ปิเปตสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต 20 มิลลิลิตร เติมน้ำตัวอย่าง 1 ลิตร	

ณ.2 ขั้นตอนในการเตรียมสารเฟอร์ริกคลอไรด์ในหน่วย มิลลิกรัม./ลิตร

1. วิธีทำ

เตรียมสารเฟอร์ริกคลอไรด์ 1 %			
จาก 1 %	=	1/100	= 0.01
เตรียมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 1 ลิตร	=	0.01 x 1,000 กรัม	
	=	10 กรัม	
ดังนั้น ชั่ง เฟอร์ริกคลอไรด์ 10 กรัม			
เติมน้ำ DI ให้ได้ปริมาตร	=	1,000 กรัม	
หรือ	=	10,000 มิลลิลิตรต่อลิตร	

2. ตัวอย่างในการเติมสารละลายในน้ำตัวอย่าง

เติมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ในน้ำตัวอย่าง 200 มิลลิลิตรต่อลิตร	
จากการเตรียมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ มีความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	
	= 1,000 มิลลิลิตร
ดังนั้น ปิเปตสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 20 มล. เติมน้ำตัวอย่าง 1 ลิตร	

ณ.3 เตรียมสารละลายโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์

1. วิธีคำนวณ จากความเข้มข้นเริ่มต้น = 30 %
 ต้องการเตรียม 1 %

$$\begin{aligned} \text{จาก } C_1V_1 &= C_2V_2 \\ 30\%V_1 &= 1\% \times 1,000 \text{ มิลลิลิตร} \\ V_1 &= \frac{1\% \times 1,000 \text{ มิลลิลิตร}}{30\%} \\ &= 33.33 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

ดังนั้น นำปริมาตรที่คำนวณได้ มาเตรียมสารละลาย โพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์
 ปิเปตสารละลายโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ 33.33 มิลลิลิตร ใส่ในขวดที่มีปริมาตร
 1 ลิตร เติมน้ำ DI ให้ปริมาตรครบ 1 ลิตรจะได้ความเข้มข้น = 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. ตัวอย่างในการเติมสารละลายในน้ำตัวอย่าง

เติมสารละลายโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ ในน้ำตัวอย่าง 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
 จากการเตรียมสารละลายโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ มีความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
 = 1,000 มิลลิลิตร

ดังนั้น ปิเปตสารละลายโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ 20 มิลลิลิตร.

จะได้ความเข้มข้น $\frac{20 \text{ มิลลิลิตร} \times 10,000 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}}{1,000 \text{ มิลลิลิตร}} = 200 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$

ปิเปตสารละลายโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ 30 มิลลิลิตร.

จะได้ความเข้มข้น $\frac{30 \text{ มิลลิลิตร} \times 10,000 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}}{1,000 \text{ มิลลิลิตร}} = 300 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$

ปิเปตสารละลายโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ 40 มิลลิลิตร.

จะได้ความเข้มข้น $\frac{40 \text{ มิลลิลิตร} \times 10,000 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}}{1,000 \text{ มิลลิลิตร}} = 400 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$

บีเปตสารละลายโพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ 50 มิลลิลิตร.

จะได้ความเข้มข้น $\frac{20 \text{ มิลลิลิตร} \times 10,000 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}}{1,000 \text{ มิลลิลิตร}} = 500 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวอรุณ พันธุ์กว้าง
วัน เดือน ปี เกิด	4 มีนาคม 2523
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (สิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, พ.ศ. 2546
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2547-ปัจจุบัน บริษัท เอส.เอส. การสุรา จำกัด
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	พนักงานควบคุมคุณภาพ หน่วยควบคุมคุณภาพ แผนกวิทยาศาสตร์ ส่วนผลิต บริษัท เอส.เอส.การสุรา จำกัด โรงงานสุรา จังหวัดอุบลราชธานี 101 หมู่ 8 ถนนสถิตนิมานการ ตำบลแก้งโคม อำเภอสว่างวีระวงศ์ จังหวัดอุบลราชธานี 34190