# การประยุกต์ใช้ระบบการกรองโดยตรง

นาย ปรีชา แสงพิสิทธิ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2531
ISBN 974-569-403-7
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016154
I10301264

# APPLICATION OF DIRECT FILTRATION

Mr.Preecha Saengpisit

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Sanitary Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1988

ISBN 974-569-403-7

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้ระบบการกรองโดยตรง

โดย นาย ปรีชา แสงพิสิทธิ์

ภาควิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปรีชา แสงพิสิทธิ์ : การประยุกต์ใช้ระบบการกรองโดยตรง (APPLICATION OF DIRECT FILTRATION) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 138 หน้า

ระบบการกรองโดยตรงเป็นระบบที่ใช้ในการทำความสะอาดน้ำมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดอนุภาคความขุ่นที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ระบบนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 กระบวนการคือ กระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการกรอง โดยไม่ต้องมีกระบวนการตกตะกอนทำให้ระบบนี้มีข้อดีในด้านความประหยัด มีต้นทุนในการผลิตต่ำ แต่ระบบนี้ก็มีข้อจำกัดในด้านคุณภาพน้ำดิบที่จะต้องมีระดับความขุ่นต่ำ จากการวิจัยซึ่งทำการศึกษาระบบการกรองโดยตรงแบบกรองสัมผัสที่ใช้สารสัมเป็นสารโคแอกกูแลนต์ พบว่าระบบนี้สามารถใช้กับน้ำดิบที่มีระดับความขุ่น 10 NTU ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่อัตราการกรอง 10 ลบ ม/ตร ม-ชม และใช้ปริมาณสารสัม 5-7.5 มก/ล โดยทำการล้างย้อนเพียงวันละ 1 ครั้ง แต่สำหรับน้ำดิบที่มีระดับความขุ่นสูง และมีความต้องการปริมาณสารสัมสูงจะส่งผลให้มีโอกาสเกิดเบรคธรูได้ง่ายและรวดเร็ว ทำให้ต้องทำการล้างย้อนบ่อยครั้งขึ้น

จากการทดลองสามารถสรุปผลและแนวโน้มได้ดังนี้คือ ระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองมีความสัมพันธ์แปรตามระดับความขุ่นของน้ำดิบ และอัตราการกรอง แต่แปรผกผันกับปริมาณสารสัม ส่วนอัตราการสูญเสียเฮดมีความสัมพันธ์แปรตามระดับความขุ่นของน้ำดิบ อัตราการกรองและปริมาณสารสัมที่ใช้

นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับระดับความขุ่นของน้ำดิบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล

ปีการศึกษา 2531 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREECHA SAENGPISIT : APPLICATION OF DIRECT FILTRATION.
THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. MUNSIN TUNTOOLAVEST, Ph.D. 138 pp.

Direct filtration is a water purification process used to remove colloidal particulates from the water. This process is a combination between coagulation and filtration. By utilizing the direct filtration in a water treatment system, sedimentation is not needed any more. This results in the reduction of water production cost. However, the disadvantage of this system is the limited level of turbidity in the raw water allowed to enter the filtration system. According to experimental results obtained during the direct filtration of synthetic water utilizing alum as a coagulant, the best performance of the pilot plant was obtained under the following condition : filtration rate 10 $m^3/m^2$-hr, raw water turbitidy 10 NTU, alum dosage 5-7.5 mg/l. Daily backwash of the pilot filter was required. When applying to the high-turbidity raw water, more alum was required and consequently, the turbidity breakthrough occured very quickly. The filtration cycle was short and frequent backwash of filter was necessary.

Experimental results tended to indicate that filtrate turbidity varied directly with raw water turbidity and filtration rate but inversely with alum dose. While the loss of head seemed to vary with raw water turbidity, filtration rate and alum dose.

In addition, efficiency of turbidity removal had inversely relationship to raw water turbidity.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ..... ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล .....
ปีการศึกษา 2531 ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



# กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน และให้ความรู้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณ พี่ น้อง ตลอดจนกัลยาณมิตรทุกๆท่าน ที่ได้ให้กำลังใจ เอื้อเฟื้อ และอนุเคราะห์ระหว่างทำการวิจัย

คุณประโยชน์ทั้งหลายของวิทยานิพนธ์นี้ ขอมอบแด่บุพการี ซึ่งเต็มเปี่ยมด้วยเมตตาหาที่สุดมิได้

ท้ายที่สุด ผู้วิจัยขอกราบบูชา ซึ่งธรรมะแห่งองค์สมเด็จพระสัมมาสัมพุทธเจ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฎ
บทที่
1 บทนำ ..... 1
2 วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการวิจัย ..... 3
2.1 วัตถุประสงค์ ..... 3
2.2 ขอบเขตของการวิจัย ..... 3
3 ทบทวนเอกสาร ..... 4
3.1 ทฤษฎีการกรองโดยตรง ..... 4
3.2 กระบวนการกรองโดยตรง ..... 6
3.2.1 กระบวนการโคแอกกูเลชัน ..... 6
3.2.1.1 การกวนเร็ว ..... 6
3.2.1.2 การกวนช้า ..... 7
3.2.2 กระบวนการกรอง ..... 8
3.3 เคมีของสารส้มในน้ำ ..... 8
3.4 กลไกโคแอกกูเลชัน ..... 13
3.4.1 กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ ..... 13
3.4.2 กลไกแบบกวาด ..... 14
3.4.3 กลไกแบบผสม ..... 14

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| บทที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3.5 | พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการโคแอกกูเลชัน | 15 |
| | 3.5.1 ความเร็วแกรเดียนต์ | 15 |
| | 3.5.2 เวลากักน้ำ | 17 |
| | 3.5.3 พีเอช และปริมาณสารส้ม | 17 |
| | 3.5.4 ระดับความขุ่นของน้ำดิบ | 20 |
| | 3.5.4.1 ระดับความขุ่นต่ำ | 20 |
| | 3.5.4.2 ระดับความขุ่นสูง | 20 |
| | 3.5.4.3 ระดับความขุ่นสูงมาก | 20 |
| 3.6 | การควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน | 22 |
| | 3.6.1 การทดลองจาร์เทสต์ | 22 |
| | 3.6.2 การหาความสามารถในการกรอง | 23 |
| 3.7 | ดัชนีการกรอง | 23 |
| 3.8 | กลไกของการกรองน้ำ | 25 |
| | 3.8.1 กลไกเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาสารกรอง | 25 |
| | 3.8.2 กลไกจับสารแขวนลอย | 27 |
| 3.9 | ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระบบการกรองโดยตรง | 29 |
| | 3.9.1 คุณภาพน้ำดิบ | 29 |
| | 3.9.2 การเตรียมน้ำก่อนกรอง | 29 |
| | 3.9.3 สารกรอง | 30 |
| | 3.9.4 อัตราการกรอง | 31 |
| | 3.9.5 การล้างย้อน | 31 |


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| บทที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 4 | การดำเนินการวิจัย | 33 |
| | 4.1 แผนการวิจัย | 33 |
| | 4.1.1 พารามิเตอร์ในการทดลอง | 33 |
| | 4.1.2 ลำดับการทดลอง | 34 |
| | 4.2 วัสดุ และอุปกรณ์ในการวิจัย | 35 |
| | 4.2.1 อุปกรณ์จาร์เทสต์ | 35 |
| | 4.2.2 อุปกรณ์หาค่าดัชนีการกรองขนาดมาตราส่วนเล็ก | 35 |
| | 4.2.3 อุปกรณ์การกรองโดยตรงแบบกรองสัมผัสขนาดจำลอง | 37 |
| | 4.3 การเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์ และสารเคมี | 39 |
| | 4.3.1 น้ำขุ่นสังเคราะห์ | 39 |
| | 4.3.2 สารเคมี | 41 |
| | 4.3.2.1 สารส้ม | 41 |
| | 4.3.2.2 สารละลายกรดเกลือ | 41 |
| | 4.3.2.3 สารละลายด่าง | 42 |
| | 4.4 การดำเนินการทดลอง | 42 |
| | 4.4.1 การหาปริมาณสารส้มโดยใช้อุปกรณ์การกรองขนาดมาตราส่วนเล็ก | 42 |
| | 4.4.2 การหาปริมาณสารส้มโดยใช้อุปกรณ์การกรองขนาดจำลอง | 44 |
| | 4.4.3 การทดลองศึกษาถึงผลของอัตราการกรอง | 45 |
| | 4.5 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำ และการสูญเสียเฮด | 46 |


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| บทที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 5 | ผลการทดลองและวิจารณ์ | 47 |
| | 5.1 การทดลองหาปริมาณสารส้มโดยใช้อุปกรณ์การกรองขนาดมาตราส่วนเล็ก | 47 |
| | 5.2 การทดลองหาปริมาณสารส้มโดยใช้อุปกรณ์การกรองขนาดจำลอง | 51 |
| | 5.2.1 ผลต่อคุณภาพน้ำที่ผ่านการกรอง และอายุการกรอง | 51 |
| | 5.2.1.1 ระดับความขุ่น 10 NTU | 51 |
| | 5.2.1.2 ระดับความขุ่น 50 NTU | 51 |
| | 5.2.1.3 ระดับความขุ่น 100 NTU | 51 |
| | 5.2.2 ผลต่ออัตราการสูญเสียเฮด | 55 |
| | 5.2.3 การอุดตันภายในชั้นสารกรอง | 61 |
| | 5.2.4 การใช้ค่าดัชนีการกรองเปรียบเทียบ | 71 |
| | 5.2.5 การเปรียบเทียบปริมาณสารส้ม เมื่อใช้อุปกรณ์การกรองขนาดมาตราส่วนเล็กและขนาดจำลอง | 72 |
| | 5.3 การทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของอัตราการกรอง | 74 |
| | 5.3.1 ผลต่อคุณภาพน้ำที่ผ่านการกรอง และอายุการกรอง | 74 |
| | 5.3.2 ผลต่ออัตราการสูญเสียเฮด | 79 |
| | 5.3.3 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น | 83 |
| | 5.4 การล้างย้อน | 84 |
| | 5.5 สาเหตุของความคลาดเคลื่อนในการทดลอง | 85 |
| 6 | สรุปผลการทดลอง | 86 |
| 7 | ความสำคัญทางวิศวกรรม | 88 |
| 8 | ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยเพิ่มเติม | 89 |
| เอกสารอ้างอิง | | 90 |
| ภาคผนวก | | 94 |
| ประวัติผู้เขียน | | 138 |

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ค่าแปรเปลี่ยนของปริมาณสารส้ม สำหรับแต่ละระดับความขุ่น ..... 44

4.2 ค่าแปรเปลี่ยนของอัตราการกรอง สำหรับแต่ละระดับความขุ่น ..... 46

5.1 ผลการคำนวณค่าดัชนีการกรอง ..... 71

5.2 เปรียบเทียบปริมาณสารส้มที่ให้ค่าดัชนีการกรองต่ำที่สุด ..... 72

5.3 ปริมาณน้ำที่ผลิตได้เมื่อสิ้นสุดอายุการกรอง ..... 74

5.4 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำล้างย้อน ..... 75

5.5 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น ..... 83

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญรูป


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3.1 | ระบบผลิตน้ำประปาแบบทั่วไปและแบบกรองโดยตรง | 5 |
| 3.2 | ลักษณะของการเกิดชั้นของไอออนที่ผิวอนุภาคคอลลอยด์ | 10 |
| 3.3 | พลังงานระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ | 12 |
| 3.4 | กลไกการทำลายเสถียรภาพแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ | 13 |
| 3.5 | กลไกการทำลายเสถียรภาพแบบกวาด | 14 |
| 3.6 | ผลของความเร็วแกรเดียนต์ต่อกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ | 16 |
| 3.7 | ผลของความเร็วแกรเดียนต์ต่อกลไกแบบกวาด | 16 |
| 3.8 | ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มและพีเอช | 18 |
| 3.9 | แผนภูมิที่ใช้ในการควบคุมกลไกโคแอกกูเลชันของสารส้ม | 19 |
| 3.10 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความขุ่นตกค้างและสารเคมี | 21 |
| 3.11 | กลไกการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาสารกรอง | 26 |
| 3.12 | ประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยขึ้นอยู่กับขนาด | 26 |
| 3.13 | กลไกการจับสารแขวนลอย | 28 |
| 4.1 | ลำดับการทดลอง | 34 |
| 4.2 | อุปกรณ์หาค่าดัชนีการกรองขนาดมาตราส่วนเล็ก | 36 |
| 4.3 | อุปกรณ์การกรองโดยตรงแบบกรองสัมผัสขนาดจำลอง | 38 |
| 4.4 | อิทธิพลของอนุภาคดินและปริมาณสารส้ม | 39 |
| 5.1 | ค่าดัชนีการกรองที่แต่ละปริมาณสารส้มสำหรับระดับความขุ่น 10 NTU | 48 |
| 5.2 | ค่าดัชนีการกรองที่แต่ละปริมาณสารส้มสำหรับระดับความขุ่น 50 NTU | 49 |
| 5.3 | ค่าดัชนีการกรองที่แต่ละปริมาณสารส้มสำหรับระดับความขุ่น 100 NTU | 50 |
| 5.4 | ระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองที่แต่ละปริมาณสารส้ม สำหรับระดับความขุ่น 10 NTU | 52 |
| 5.5 | ระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองที่แต่ละปริมาณสารส้ม สำหรับระดับความขุ่น 50 NTU | 53 |
| 5.6 | ระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองที่แต่ละปริมาณสารส้ม สำหรับระดับความขุ่น 100 NTU | 54 |

รูปที่ หน้า

5.7 การสูญเสียเฮดทั้งหมดที่แต่ละปริมาณสารส้มสำหรับระดับความขุ่น 10 NTU ..... 57
5.8 การสูญเสียเฮดทั้งหมดที่แต่ละปริมาณสารส้มสำหรับระดับความขุ่น 50 NTU ..... 58
5.9 การสูญเสียเฮดทั้งหมดที่แต่ละปริมาณสารส้มสำหรับระดับความขุ่น 100 NTU .... 59
5.10 ลักษณะเส้นกราฟเบรคธรู ..... 60
5.11 การสูญเสียเฮดในแต่ละชั้นกรองที่แต่ละปริมาณสารส้ม
สำหรับระดับความขุ่น 10 NTU ..... 62
5.12 ระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองที่แต่ละอัตราการกรอง
สำหรับระดับความขุ่น 10 NTU ..... 76
5.13 ระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองที่แต่ละอัตราการกรอง
สำหรับระดับความขุ่น 50 NTU ..... 77
5.14 ระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองที่แต่ละอัตราการกรอง
สำหรับระดับความขุ่น 100 NTU ..... 78
5.15 การสูญเสียเฮดทั้งหมดที่แต่ละอัตราการกรองสำหรับระดับความขุ่น 10 NTU .... 80
5.16 การสูญเสียเฮดทั้งหมดที่แต่ละอัตราการกรองสำหรับระดับความขุ่น 50 NTU .... 81
5.17 การสูญเสียเฮดทั้งหมดที่แต่ละอัตราการกรองสำหรับระดับความขุ่น 100 NTU ... 82

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย