การบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกหนังโดยใช้กระบวนการกรองที่มีเศษหินแกรนิตเป็นสารกรอง

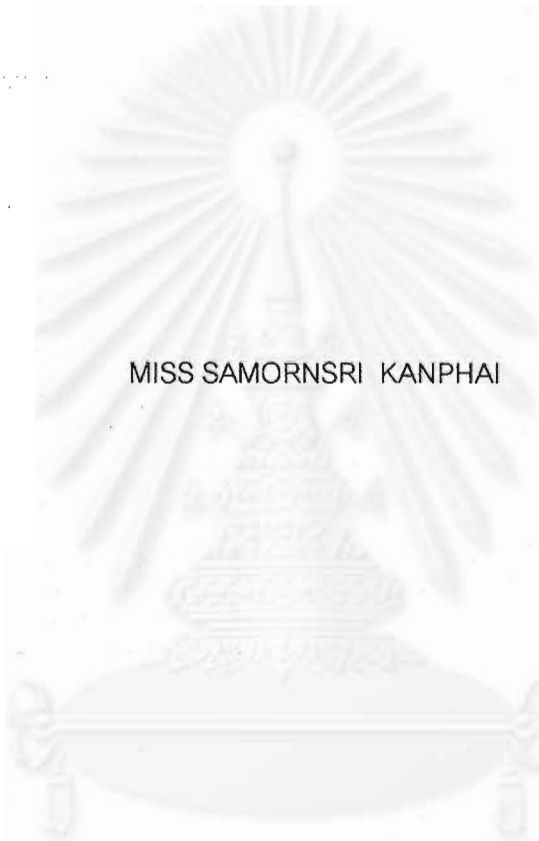
นางสาวสมรศรี กันภัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-1234-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TANNERY WASTEWATER TREATMENT USING FILTRATION WITH GRANITE ROCK AS FILTER MEDIA



MISS SAMORNSRI KANPHAI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science
Inter-department of Environmental Science
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2000

ISBN 974-13-1234-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกหนังโดยใช้กระบวนการกรองที่มีเศษหินแกรนิตเป็นสารกรอง
โดย	นางสาวสมรศรี กันภัย
สหสาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กีระนันทน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เปรมจิตต์ แทนสถิตย์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมรศรี กันภัย : การบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกหนังโดยใช้กระบวนการกรองที่มีเศษหินแกรนิตเป็นสารกรอง (TANNERY WASTEWATER TREATMENT USING FILTRATION WITH GRANITE ROCK AS FILTER MEDIA) อ.ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์, จำนวนหน้า 70 หน้า. ISBN 974-13-1234-2.

การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกหนัง โดยใช้กระบวนการกรองที่มีเศษหินแกรนิตเป็นสารกรองแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การกรองน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงและการกรองน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำซึ่งผ่านระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง โดยพิจารณาจากพารามิเตอร์ที่สำคัญคือ พีเอช ความขุ่น ซีโอดี และโครเมียม

ผลการศึกษาการกรองน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง มาทำการบำบัดขั้นต้นด้วยสารส้มเปรียบเทียบสารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. และ 1.40-1.70 มม ที่อัตรากรอง 2 และ 4 ลบ.ม./ตร.ม.ชม. พบว่าสารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. มีอัตรากรองที่เหมาะสม 2 ลบ.ม./ตร.ม.ชม. สารกรองขนาดเล็กจะกำจัดความขุ่น ซีโอดี และโครเมียมได้มากกว่าสารกรองขนาดใหญ่ และที่ขนาดสารกรองเท่ากันการกรองด้วยอัตรากรองต่ำจะสามารถกำจัดความขุ่น ซีโอดี และโครเมียมได้ดีกว่าอัตรากรองสูง สำหรับการกรองน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำโดยใช้สารกรอง 3 ขนาด คือ 0.42-0.60 มม. 1.00-1.40 มม. และ1.40-1.70 มม. ที่อัตรากรอง 2, 4 และ 8 ลบ.ม./ตร.ม.ชม. พบว่าขนาดสารกรองที่เหมาะสมในการกรองคือ 0.42-0.60 มม. และอัตรากรองที่เหมาะสมคือ 2 ลบ.ม./ตร.ม.ชม. ปริมาตรน้ำที่กรองได้ 96 ลบ.ม./ตร.ม. อายุการใช้งานของสารกรองทั้งสามขนาดที่อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตร.ม.ชม. คือ 48 ชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2543 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

4072410623 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD : FILTRATION / TANNERY WASTEWATER TREATMENT / GRANITE ROCK / TERTIARY TREATMENT / CHROMIUM REMOVAL

SAMORNSRI KANPHAI : TANNERY WASTEWATER TREATMENT USING FILTRATION WITH GRANITE ROCK AS FILTER MEDIA. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.THARES SRISATHIT, Ph.D. , 70 pp. ISBN 974-13-1234-2.

The study of tannery wastewater treatment could be classified into 2 types : the filtration of highly intensed wastewater and the filtration of lowly intensed wastewater which was treated by the activated sludge treatment. The significant parameters in the study were as following : pH, turbidity, COD and total chromium.

From the study , when the treatment of highly intensed wastewater treated by primary treatment with alum compare with filter media size at filtration rate 2 and 4 m^3/m^2 hr, the result was 0.42-0.60 mm and 1.40-1.60 mm that the appropriate filtration rate of the 0.42-0.60 mm filter media was $2m^3/m^2hr$. Smaller filter media could remove the more of turbidity, COD, and total chromium more effectively. When the lowly intensed wastewater was filtered by three sizes of filter media : 0.42-0.60 mm, 1.00-1.40 mm, 1.40-1.70 mm at filtration rate 2, 4 and 8 m^3/m^2hr, the result was that 0.42-0.60 mm was the appropriate size of filter media at 2 m^3/m^2hr was the appropriate filtration rate. The quantity of filtered water was 96 m^3/m^2. The filter run at that filtration rate of three sizes media were 48 hr.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Inter-department Environmental Science Student's signature Samornsri Kanphai

Field of study Environmental Science Advisor's signature T. Srisathit

Academic year 2000 Co-advisor's signature -

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะสำเร็จมิได้ ถ้าไม่ได้รับความกรุณาจากผู้ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนการทำวิจัย ขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำการทำงาน

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์ ผู้อำนวยการหลักสูตรสหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ เปรมจิตต์ แทนสถิตย์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอบคุณหน่วยงานต่างๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทำวิจัย อันได้แก่ ศูนย์พัฒนาและวิจัยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาธรณีวิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอบคุณกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนัง กม. 30 จังหวัดสมุทรปราการ ที่เอื้อเฟื้อตัวอย่างน้ำเสียสำหรับการวิจัย และขอขอบคุณ บริษัท พลาทรัพย์ จำกัด ที่อนุญาตให้ใช้สถานที่ตั้งชุดทดลองในบริเวณโรงงานรวมทั้งอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่าง

ขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนบางส่วนในการวิจัย

ขอบคุณพ่อแม่ และน้อง ๆ ที่ให้กำลังใจเสมอที่จะทำงานให้สำเร็จ ทั้งเพื่อน ๆ ที่สละเวลามาเป็นแรงใจ และบางครั้งก็สละแรงกายด้วย และผู้ที่แม้มิได้เอ่ยนาม แต่เป็นที่จดจำในความกรุณาที่ได้รับ

และท้ายสุดนี้หากประโยชน์อันใดที่เกิดขึ้นจากการวิจัยขออุทิศแด่ อาจารย์ผู้ริเริ่มแนวทางการวิจัย รองศาสตราจารย์ ดร. สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ฌ
สารบัญรูป.....ญ
คำย่อ.....ฏ
บทที่
1. บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3
2.1 กระบวนการการผลิตและแหล่งกำเนิดน้ำเสีย.....3
2.2 การบำบัดน้ำเสียของโรงฟอกหนัง.....6
2.3 โครเมียม.....9
2.4 การกรอง.....10
2.5 หินแกรนิต.....23
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....24
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....27
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้.....27
3.2 วิธีการวิจัย.....28
4. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล.....33
4.1 ลักษณะทางกายภายของหินแกรนิต.....33
4.2 การกรองน้ำที่มีความเข้มข้นสูง.....33
4.3 การกรองน้ำที่มีความเข้มข้นต่ำ.....40

หน้า

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 53
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 53
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 55
รายการอ้างอิง..... 57
บรรณานุกรม..... 58
ภาคผนวก..... 59
ภาคผนวก ก..... 60
ภาคผนวก ข..... 64
ประวัติผู้เขียน..... 70

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

4.1 ลักษณะทางกายภาพของเศษหินแกรนิต..... 33

4.2 คุณภาพน้ำก่อนทำการกรองและหลังการกรอง..... 34

4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดเมื่อขนาดสารกรองต่างกัน.....35

4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดเมื่ออัตรากรองต่างกัน..... 36

4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดเมื่อความลึกต่างกัน.....40

4.6 ลักษณะน้ำเสียที่นำมาทำการกรองและหลังการกรอง.....41

4.7 อายุการกรองน้ำที่อัตรากรองและสารกรองต่างกัน..... 41

4.8 ประสิทธิภาพการบำบัดเมื่อขนาดสารกรองต่างกันที่อัตรากรองต่างๆ..... 43

4.9 ประสิทธิภาพการบำบัดที่ความลึกต่างๆของสารกรองที่อัตรากรองต่างๆ.....46

5.1 สรุปการกรองน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง..... 53

5.2 สรุปการกรองน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ..... 54

ก1 ประสิทธิภาพการบำบัดของสารกรองขนาด 0.42-0.60 มม.
ที่อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตร.ม.ชม..... 61

ก2 ประสิทธิภาพการบำบัดของสารกรองขนาด 1.40-1.70 มม.
ที่อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตร.ม.ชม..... 62

ก3 ประสิทธิภาพการบำบัดของสารกรองขนาด 1.40-1.70 มม.
ที่อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตร.ม.ชม..... 63

ข1 การทดลองกรองน้ำที่ผ่านระบบตะกอนเร่งที่อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตร.ม.ชม.....65

ข2 การทดลองกรองน้ำที่ผ่านระบบตะกอนเร่งที่อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตร.ม.ชม.....66

ข3 การทดลองกรองน้ำที่ผ่านระบบตะกอนเร่งที่อัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตร.ม.ชม.....67

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 กรรมวิธีการฟอก ฟอกโครม และการย้อมสี.....5

2.2 กรรมวิธีการฟอก ฟอกฝาด และการย้อมสี.....7

2.3 แผนผังการบำบัดน้ำเสียของกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนัง กม.30 จังหวัดสมุทรปราการ.....8

2.4 แผนผังการบำบัดน้ำเสียของบริษัท พลาทรัพย์ จำกัด.....9

2.5 ผลของความเป็นกรดด่างต่อความสามารถในการละลายของโครเมียม(III).....11

2.6 ประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาค.....15

2.7 การกำจัดสารแขวนลอยภายในทรายกรอง.....18

2.8 รูปแบบของการสูญเสียแรงดันน้ำที่มีการกรองแบบติดผิว.....19

2.9 การเพิ่มอัตรากรองทำให้สามารถชะลอการเพิ่มของการสูญเสียแรงดันน้ำของเครื่องกรองมีกลไกแบบติดผิวและสามารถผลิตน้ำได้มากขึ้น.....19

2.10 ลักษณะการสูญเสียแรงดันน้ำของเครื่องกรอง.....20

2.11 การกรองน้ำแบบอัตราลดสามารถผลิตน้ำได้มากกว่าการกรองแบบอัตราคงที่.....23

2.12 อิทธิพลของขนาดสารกรองที่มีต่ออายุการกรอง.....24

2.13 อิทธิพลของขนาดสารกรองที่มีต่อความใสของน้ำที่กรอง.....24

2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตน้ำกับอายุเครื่องกรอง.....27

2.15 เครื่องกรองน้ำที่มี $t_1=t_2$.....27

3.1 หินแกรนิตที่ใช้ในการทดลอง.....34

3.2 แบบจำลองการทำงานชุดการทดลอง.....34

3.3 ชุดทดลอง.....37

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำย่อ

มก/ล	มิลลิกรัมต่อลิตร
มม.	มิลลิเมตร
ซม.	เซนติเมตร
ม.	เมตร
ลบ.ซม./ก	ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม
ม./ชม.	เมตรต่อชั่วโมง
ตร.ม./ก.	ตารางเมตรต่อกรัม
ตร.ม./ลบ.ม.	ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร
กล./นาที. ตร.ฟุต	แกลลอนต่อนาทีต่อตารางฟุต
ลบ.ม./ตร.ม.ชม	ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง
ลบ.ม./ตร.ม.	ลูกบาศเมตรต่อตารางเมตร
mg/l	มิลลิกรัมต่อลิตร
mm	มิลลิเมตร
m/hr	เมตรต่อชั่วโมง
$m^3/m^2.hr$	ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การบำบัดน้ำเสียของโรงฟอกหนังโดยทั่วไปของกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนัง กม.30 และกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนัง กม.34 จังหวัดสมุทรปราการ เป็นระบบบำบัดตะกอนเร่ง(Activated Sludge) การบำบัดด้วยวิธีนี้จะให้ประสิทธิภาพบำบัดสูง แต่เนื่องด้วยน้ำทิ้งจากการผลิตมีค่าความสกปรกสูง จากการสำรวจของ ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และมั่นสิน ตัณทุลเวศม์ (2520 :33 – 35) อ้างถึงใน ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2535 :20) พบว่า พีเอช (pH) 7.34 , บีโอดี (BOD) 3300 มก/ล , ซีโอดี(COD) 5462 มก/ล , สารแขวนลอย(SS)182 มก/ล, สารแวนลอยทั้งหมด(TS) 2988 มก/ล , สารแขวนลอยที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVS) 82 มก/ล และโครเมียม 1.5 มก/ล ตามลำดับ Patterson (1978) กล่าวถึงการกำจัดโครเมียมด้วยการตกตะกอนเคมีตามด้วยการตกตะกอนและการกรองว่าช่วยในการกำจัดโครเมียมไฮดรอกไซด์ที่มีขนาดเล็กและไม่สามารถตกตะกอนได้ โดยน้ำเสียตกตะกอนด้วยปูนขาวและผ่านบ่อตกตะกอนมีโครเมียม1.3-4.6 มก/ล.เมื่อผ่านทรายกรองสามารถลดโครเมียมได้เป็น 0.3-1.3 มก/ล.นอกจากนี้ Metcalf & Eddy (1991) ได้สรุปถึงการนำน้ำกลับมาใช้โดยกล่าวถึงการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบตะกอนเร่งตามด้วยการกรองสามารถกำจัดบีโอดี ซีโอดี สารแขวนลอยทั้งหมด โครเมียม และความขุ่น ร้อยละ 25-50, 25-50, >50, 25-50 และ >50 ตามลำดับ ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยการเพิ่มกระบวนการกรองเพื่อช่วยลดภาระของระบบบำบัด จึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะสามารถนำมาใช้ได้กับการบำบัดขั้นต้นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงก่อนการบำบัดขั้นตอนต่อไป หรือเป็นตัวที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งก่อนการปล่อยทำให้น้ำมีสารแขวนลอยลดลงมีความใสมากขึ้น และสารกรองที่จะนำมาใช้ควรจะเป็นสารกรองที่หาง่ายและมีราคาไม่แพงนักเมื่อเทียบกับทรายกรองที่ใช้โดยทั่วไป การวิจัยนี้จึงเลือกหินแกรนิตซึ่งสามารถพบทั่วไปทุกภาคของประเทศ มีการนำมาใช้ประโยชน์มากมายทั้งเป็นหินประดับและหินก่อสร้าง ประกอบกับคุณสมบัติบางประการของหินแกรนิตที่บดเป็นขนาดเล็กแล้วสามารถใช้เป็นสารกรองได้ดี

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาความสามารถในการลดค่าซีโอดี ความขุ่น และโครเมียมด้วยกระบวนการกรองโดยเศษหินแกรนิต

1.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพการกรองด้วยเศษหินแกรนิตของน้ำเสียโรงฟอกหนังที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นโดยการตกตะกอนเคมีกับการกรองน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบตะกอนเร่ง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของสารกรองได้แก่ พื้นที่ผิว และปริมาตรโพรง

1.3.2 ศึกษาลักษณะสมบัติต่างๆของน้ำเสียก่อนการกรอง และหลังการกรองที่ขนาดสารกรองและอัตราการกรองต่างกัน พิจารณาจากพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดได้แก่ พีเอช ความขุ่น ซีโอดี และโครเมียมทั้งหมด

1.3.3 ศึกษาการกรองน้ำเสียจากโรงฟอกหนังของกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนังกม.30 ที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนเคมี

1.3.4 ศึกษาการกรองน้ำเสียจากโรงฟอกหนังของบริษัทพลาทรัพย์ จำกัด ที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบตะกอนเร่ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถใช้เศษหินแกรนิต ซึ่งเป็นวัสดุที่หาง่ายเป็นสารกรองแทนสารตัวอื่น เมื่อประสิทธิภาพการกรอง และสมบัติในการกรองไม่ต่างจากวัสดุอื่นที่นิยมใช้กัน

1.4.2 เป็นทางเลือกในการพิจารณาวิธีการบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกหนัง

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตเริ่มตั้งแต่หนังดิบ(หนังหมักเกลือ)จนเป็นหนังสำเร็จ แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ คือ ส่วนเตรียมการฟอก(Beam House Preparation) ส่วนฟอกฝาด(Vegetable Tanning) และส่วนฟอกโครม (Chrome Tanning)

2.1.1 กรรมวิธีก่อนการฟอก

เป็นการกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการออกจากหนังดิบ และเตรียมหนังให้พร้อมที่จะฟอก ประกอบด้วยการล้างแช่ด้วยน้ำ การแช่น้ำปูน ขูดตัดพังพืด ผ่า ล้างทำลายฤทธิ์ปูนและบ่ม ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.1 การเริ่มต้นจะเริ่มจากการนำหนังดิบดองเกลือไปเคาะเกลือออก จากนั้นนำไปล้างและแช่น้ำ หนังทั้งหมดจะถูกนำไปหย่อนลงถังหมุนหรือถังใบพัดซึ่งมีน้ำอยู่เต็มเติมสบู่ลงไปล้างเศษสิ่งสกปรก จากนั้นเติมโซเดียมซัลไฟด์และตามด้วยปูนขาว สารเคมีทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับขน หนังกำพร้า และพังพืดซึ่งอยู่ภายนอกทำให้เหลือแต่หนังแท้ ซึ่งพบว่าหนังที่ผ่านการแช่ปูนแล้วจะถูกนำมาขูดพังผืดด้วยเครื่องขูดพังผืด ซึ่งมีน้ำหล่อเลี้ยงอยู่ จากนั้นจะนำหนังไปเข้าเครื่องผ่าซึ่งอาศัยน้ำหล่อเลี้ยงเช่นกัน ปกติหลังจากหนังถูกแยกออกจากกันแล้วหนังที่จะฟอกต้องชั่งน้ำหนักก่อนใส่ลงในถังไสปั่น เพื่อจะได้คำนวณปริมาณสารเคมีที่จะใช้กับหนังได้อย่างถูกต้อง มีการใส่ปูนขาวอีกครั้งเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกบนผิวหนัง หลังจากนั้นจะมีการเปิดน้ำสะอาดล้างปูนออกจากหนังอีกครั้งหนึ่ง ก่อนที่จะฟอกหนังจำเป็นต้องได้รับการปรับสภาพก่อนโดยการล้างทำลายฤทธิ์ปูนด้วนเกลือแอมโมเนียและกรดกำมะถันเจือจาง มีการเติมเอนไซม์พวกเบทหรือรำลงไป เพื่อลดการโป่งพองของหนัง ย่อยเส้นใยให้หนังเรียบ และช่วยให้หนังมีคุณภาพดีขึ้น หลังจากบ่มหนังได้ที่แล้วจะมีการล้างด้วยน้ำสะอาดจนหมดสีขาวของปูนขาว

2.1.2 การฟอก

การฟอกที่นิยมใช้มีสองวิธีคือ การฟอกโครมซึ่งอาศัยโครเมียม และการฟอกฝาดซึ่งอาศัยแทนนิน การฟอกโครมเป็นที่นิยมกว่า เนื่องจากใช้เวลาสั้น สารเคมีราคาถูก หนังที่ฟอกแล้วทนต่อความร้อนและความชื้นดีกว่า และก่อนที่จะนำหนังมาฟอกจะต้องมีการดองกรดซึ่งขั้น

ตอนนี้จะใช้สารเคมี คือเกลือแกง กรดกำมะถัน และกรดฟอร์มิก วัตถุประสงค์ของการดองกรดก็เพื่อปรับพีเอชให้เหมาะสมกับปฏิกิริยาการฟอกหนัง และช่วยลดการตกตะกอนของโครเมียมระหว่างการฟอกอาจมีการเติมสารเคมีเพิ่มเติมลงไประหว่างการดองกรดเพื่อลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสีย

2.1.2.1 การฟอกโครม

การฟอกโครมกระทำในถังหมุน ซึ่งจะใช้สารเคมีพวกเบสิกโครเมียม(III) ซัลเฟต มีปริมาณโครเมียมร้อยละ26 ในรูปโครม(III)ออกไซด์ (Cr_2O_3)โดยน้ำหนัก ค่าพีเอชเริ่มต้นควรเป็น 3.5 และสิ้นสุดที่พีเอช 4.2 เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาอุณหภูมิในถังจะประมาณ 40 องศาเซลเซียส

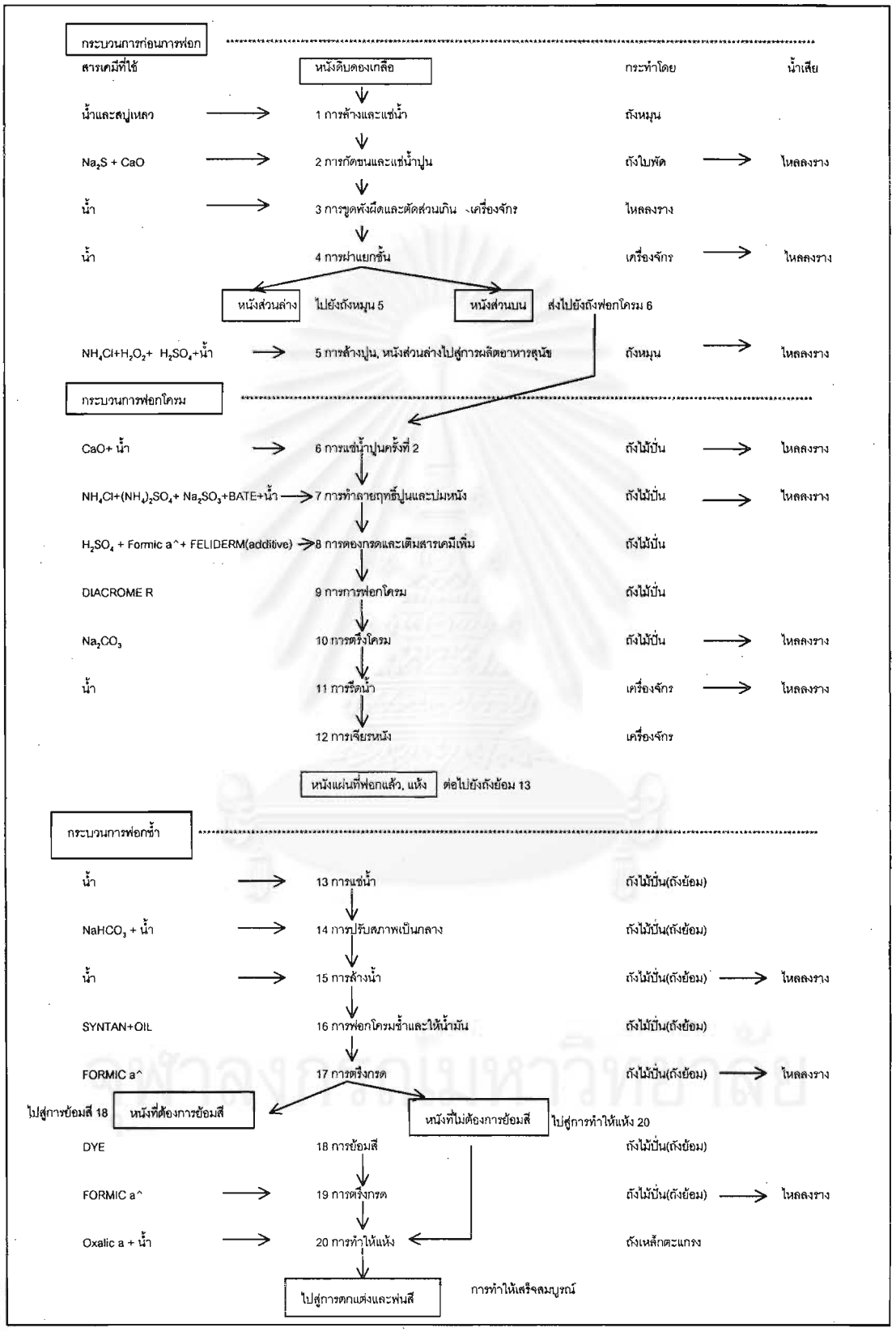
โดยปกติประมาณร้อยละ70 ของโครเมียมจะทำปฏิกิริยาหมดไปกับหนัง การตรึงโครมให้อยู่กับหนังสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเพิ่มพีเอชและอุณหภูมิสิ้นสุด ดังนั้นหลังจากฟอกโครมเสร็จแล้วจะมีการเติมโซเดียมคาร์บอเนตลงไปเพื่อปรับพีเอชให้ได้ประมาณ 4.5

2.1.2.2 การฟอกฝาด

การฟอกฝาด สามารถกระทำได้ในถังไม้ปั่นหรือบ่อคอนกรีตอนุกรม โดยจะใช้แทนนินซึ่งสกัดจากเปลือกไม้พวกยูคาลิปตัส ต้นควีบราโค และอื่นๆ มาเป็นสารฟอก เนื่องจากสารเคมีราคาสูง น้ำฟอกที่ใช้แล้วจากถังปั่นไม้ที่ใช้แล้วจะนำมาใช้ซ้ำในบ่อคอนกรีตบ่อแรก ๆ จากทั้งหมด 4 บ่ออนุกรม รูปที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการฟอกหนังซึ่งทำการฟอกหนังแบบฟอกฝาด

ขั้นตอนที่สำคัญคือการล้างฝาดส่วนเกินครั้งที่ 1 และ 2 โดยเฉพาะครั้งที่ 1มีผลอย่างมากต่อคุณภาพของหนังที่ใช้ฟอกฝาด กรดออกซาลิกจะช่วยล้างฝาดออกจากหนังซึ่งจะต้องอาศัยความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสม การล้างฝาดส่วนเกินครั้งที่สองจะมีผลต่อคุณภาพหนังได้และต้องเข้มงวดเช่นกัน

หนังสำเร็จรูปที่เกิดจากการฟอกฝาดจะมีน้ำหนักมากกว่าฟอกโครมและมีต้นทุนการผลิตสูงกว่าการฟอกโครมประมาณสองเท่า หลังจากการฟอกแล้วหนังจะถูกรีดน้ำทำให้แห้ง เจียรผิวด้วยเครื่องตัดแต่ง และคัดเลือกเพื่อเก็บไว้รอจำหน่ายหรือแปรรูปต่อไป



รูปที่ 2.1 กรรมวิธีการฟอก , การฟอกโครม และการย้อมสี (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ , 2535)

2.1.3 การฟอกซ้ำ การย้อมสี และให้น้ำมัน

การฟอกซ้ำมักกระทำกับการฟอกโครม เพื่อปรับปรุงคุณภาพหนังให้เหมาะสมกับความต้องการในขณะนี้สารเคมีที่ใช้อาจเป็น โครม แทนนิน หรือซินแทน(ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ขึ้น) ก็ได้ ปกติจะมีการฟอกจางสีหนังในขั้นตอนนี้โดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตและกรดซัลฟุริก

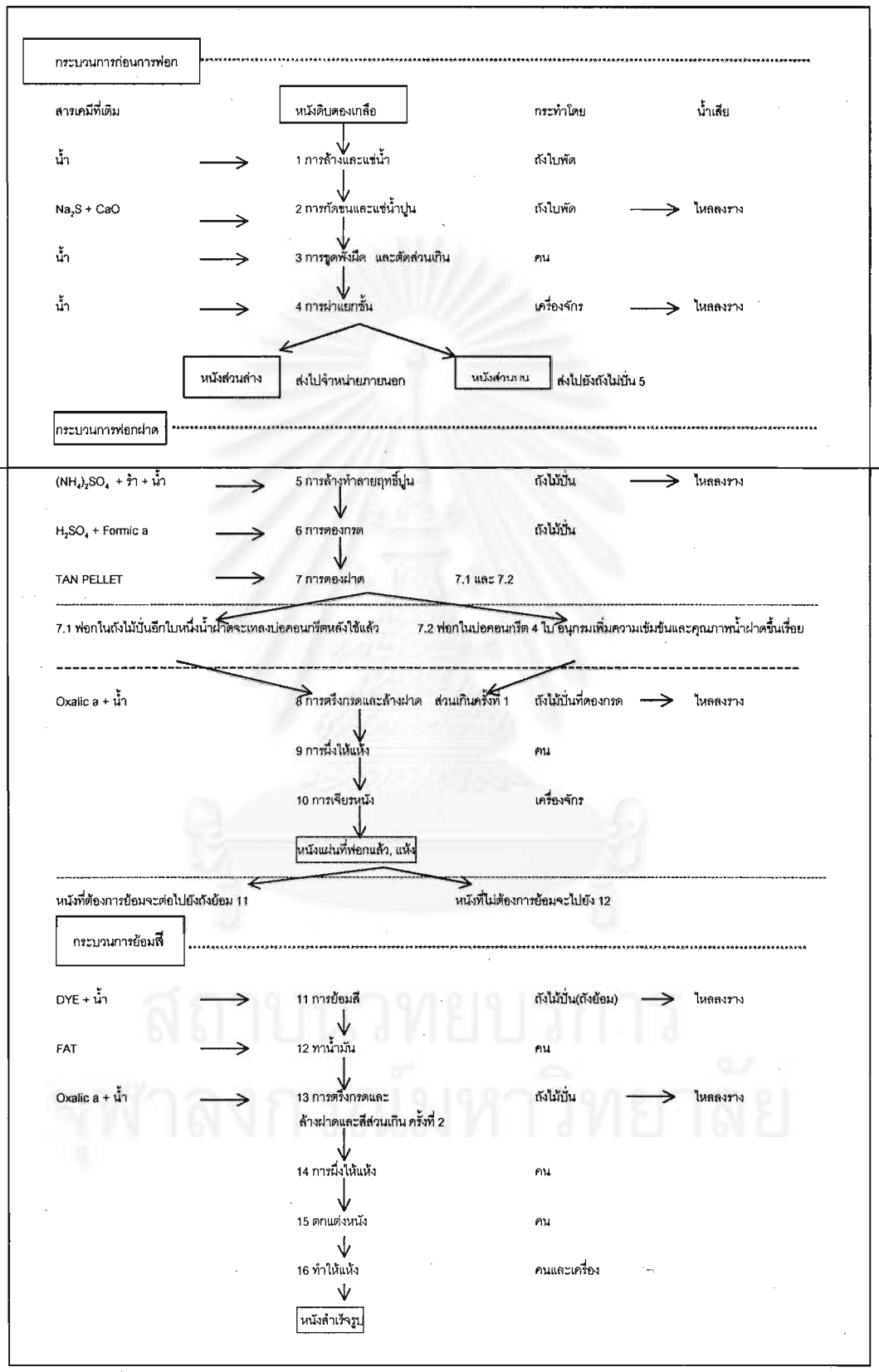
การย้อมสีกระทำได้ตามที่ตลาดต้องการและอาจไม่ย้อมสีก็ได้ ขั้นตอนการย้อมสีแตกต่างกันตามแต่ชนิดของสีที่ใช้ย้อม ปกติจะใช้กรดฟอร์มิกปรับสภาพก่อนการย้อมสี และการตรึงให้สีติดหนังซึ่งอาศัยอุณหภูมิสูงที่ได้จากไอน้ำ

หนังที่จะนำไปใช้งานจำเป็นต้องมีความอ่อนนุ่มอยู่ตัว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการทาน้ำมันให้แก่หนังที่ฟอกแล้ว การทาน้ำมันอาจทำพร้อมการฟอกซ้ำหรือการย้อมสี หรืออาศัยการทาหนังที่ผ่านขั้นตอนนี้แล้วจะนำไปผ่านการพ่นสี พิมพ์ลาย และอื่น ๆ เพื่อให้ตรงกับความต้องการของตลาดต่อไป

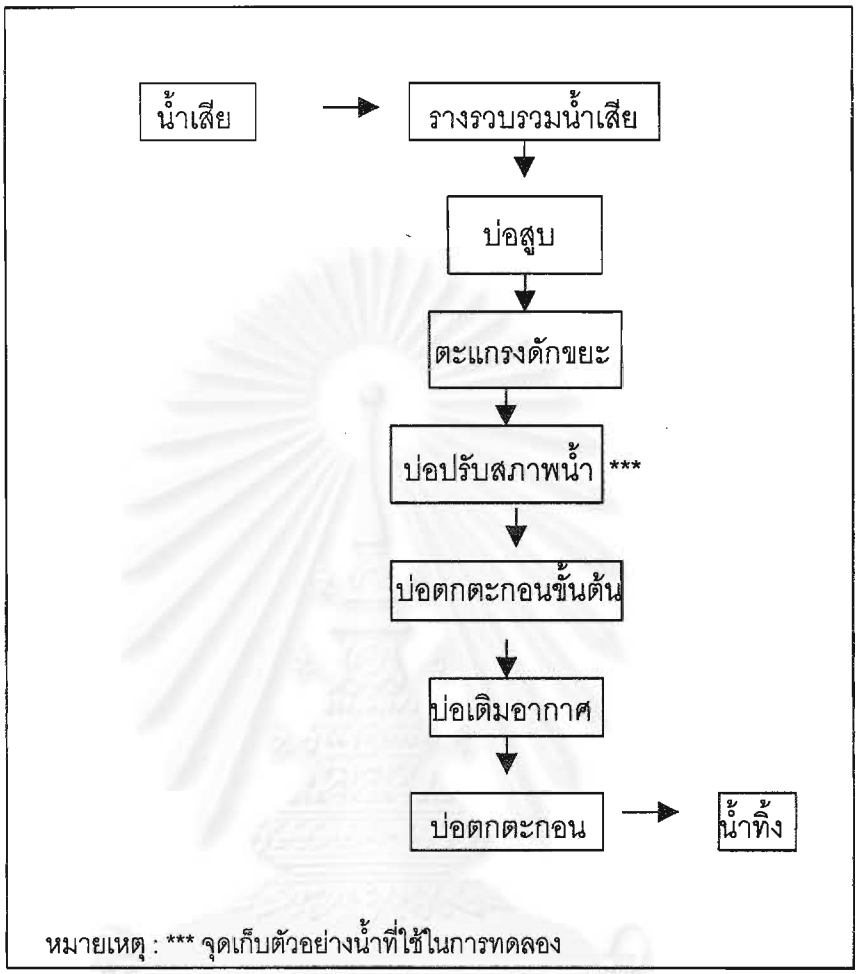
2.2 การบำบัดน้ำเสียของโรงฟอกหนัง

ระบบบำบัดน้ำเสียของทั้งกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนังกม.30 จังหวัดสมุทรปราการ และบริษัท พลาทรัพย์ จำกัด จะเป็นระบบตะกอนเร่ง

การบำบัดของกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนังจะรวบรวมน้ำเสียทั้งหมดลงรางน้ำ ไปยังบ่อสูบน้ำเสียจะผ่านตะแกรงดักขยะ และไหลลงบ่อปรับสภาพน้ำที่มีการเติมอากาศ จากนั้นสูบไปถังคอนกรีตกลมเพื่อตกตะกอนขั้นต้น น้ำส่วนบนไปยังบ่อเติมอากาศ บ่อตกตะกอนขั้นที่สอง และปล่อยลงสู่ลำราง ดังรูปที่ 2.3

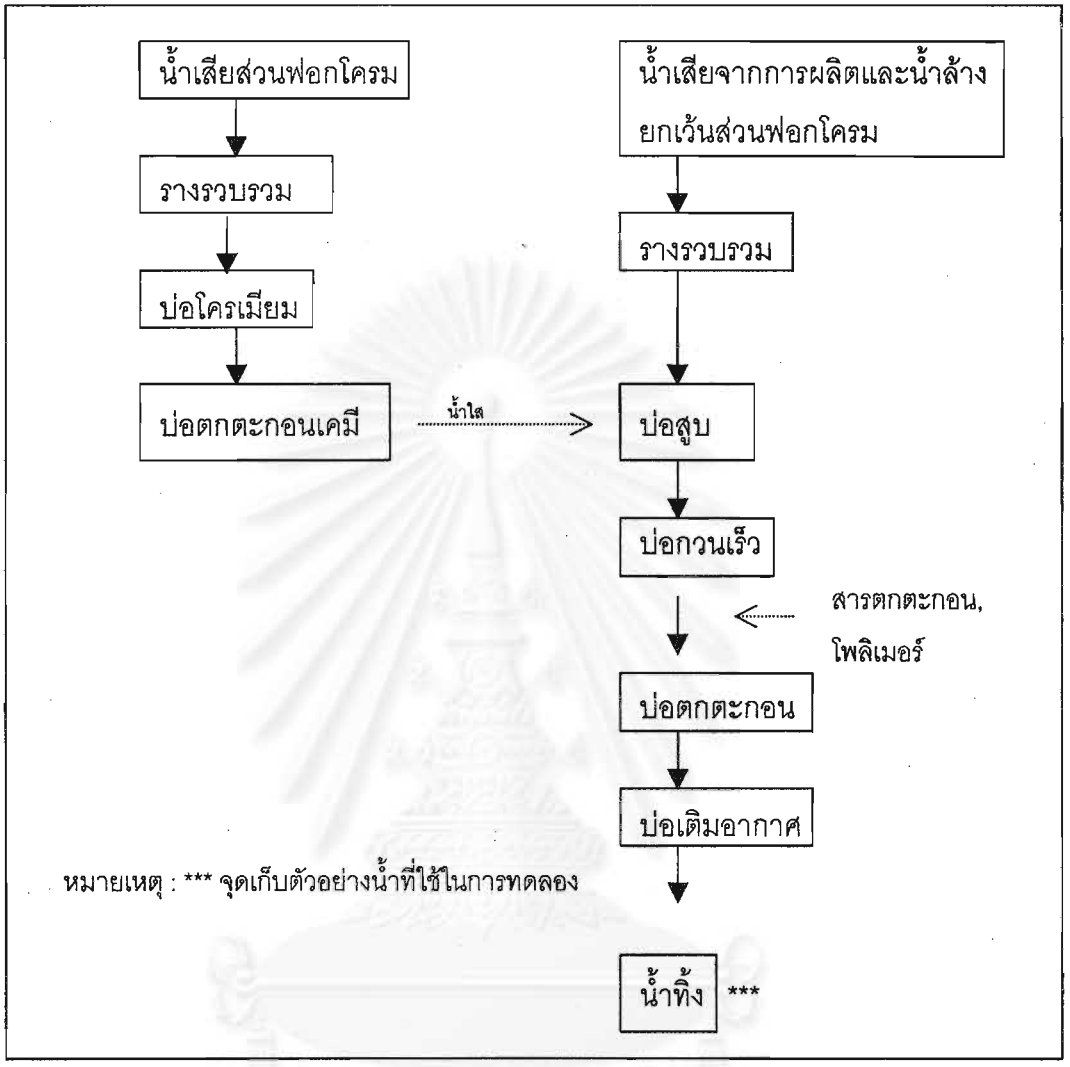


รูปที่ 2.2 กรรมวิธีการฟอก , การฟอกฝาด และการย้อมสี (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ , 2535)



รูปที่ 2.3 แผนผังการบำบัดเสียของกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนัง กม. 30 จ.สมุทรปราการ

ส่วนการบำบัดน้ำเสียของ บริษัท พลาทรัพย์ จำกัด จะเป็นระบบที่แยกน้ำทิ้งออกเป็น 2 ส่วนคือ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตและการทำความสะอาดยกเว้นส่วนฟอกโครม เข้าระบบบำบัดโดยตรง ส่วนที่เป็นน้ำเสียจากการฟอกโครม จะต้องผ่านการบำบัดโครมด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปล่อยให้ตกตะกอน และน้ำใสเหนือตะกอน เข้าสู่ระบบบำบัดที่ประกอบด้วย บ่อกวนเร็วที่เติมสารช่วยในการตกตะกอนได้แก่ สารตกตะกอน และโพลิเมอร์ สำหรับการรวมของฟล็อค เข้าสู่ถังตกตะกอนขั้นต้น น้ำใสจากบ่อตกตะกอนขั้นต้นไปบ่อเติมอากาศ และบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง ตามลำดับ และน้ำใสจะสูบออกลงสู่รางระบายน้ำ (รูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 แผนผังการบำบัดเสียของบริษัทพลาทรัพย์ จำกัด

2.3 โครเมียม

2.3.1 โครเมียมในน้ำ

โครเมียมที่ละลายอยู่ในน้ำมีทั้งโครเมียม(III), (Cr^{+3}) และโครเมียม(VI), (Cr^{+6}) ปกติโครเมียม(III) สามารถตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ ,(OH^-) คลอไรด์,(Cl^-) ละลายในน้ำในรูปไนเตรต, (NO_3^-) และถูกย่อยสลายเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำถ้าอยู่ในรูปซัลไฟด์, (S_2^-) และซัลเฟต, (SO_4^{2-})(Lester,1987) โครเมียม(VI)ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอยู่ในรูปโครเมต, (CrO_4^{2-}) และไดโครเมต, ($Cr_2O_7^{2-}$) สารประกอบโครเมียมใช้เติมในระบบทำความเย็นเพื่อยับยั้งการผุกร่อน ใช้ในอุตสาหกรรมหนึก สีย้อมและสี ในอุตสาหกรรมเหล็ก ชิ้นส่วนอะไหล่รถยนต์ จะใช้กรดโครมิค

(chromic acid) สำหรับอุตสาหกรรมที่ใช้โครเมียม(III) โดยตรงได้แก่ อุตสาหกรรมกระจก เซรามิก ภาพถ่าย สีอินทรีย์ สีย้อมสำหรับสิ่งทอ และกาวที่ทำจากสัตว์ สำหรับอุตสาหกรรมฟอกหนังที่ทำการศึกษาจะใช้โครเมียมในรูปนี้

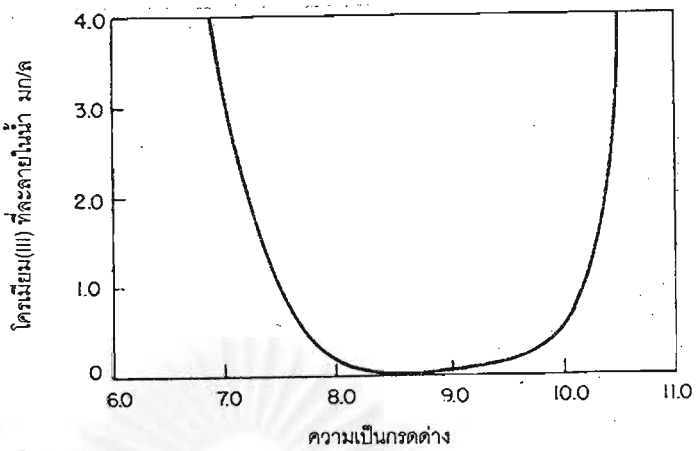
2.3.2 การบำบัดน้ำทิ้งจากโครเมียม

การกำจัดโครเมียม(VI)ทำได้โดยการรีดักชั่น(reduction) ไปเป็นโครเมียม(III) และตกตะกอนให้อยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ที่ละลายน้ำได้น้อยและความเป็นพิษลดลง การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) วิธีทางไฟฟ้าเคมี (electrochemical reduction) การระเหย(evaporative recovery) หรือวิธีอื่นๆได้แก่การใช้ถ่านกัมมันต์(activated carbon) การรีเวอร์สออสโมซิส (reverse osmosis) การแช่แข็ง (freez concentration) สารเคมีที่ใช้รีดักชั่น ได้แก่ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide) , โซเดียมไบซัลไฟต์ (sodium bisulfite) , เมตาไบซัลไฟต์ (metabisulfite), ไฮโดรซัลไฟต์(hydrosulfite) หรือเฟอรัสซัลเฟต(ferrous sulfate)

โครเมียม(III)สามารถกำจัดโดยการตกตะกอนให้อยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ด้วยปูนขาว ($CaCO_3$) , โซดาไฟ (NaOH) หรือโซดาแอช (Na_2CO_3) หรือทำให้เข้มข้นขึ้นโดยการการแลกเปลี่ยนไอออนและนำกลับ และอีกทางคือการตกตะกอนเป็นโครมิคซัลไฟด์(chromic sulfide) สำหรับการแลกเปลี่ยนไอออนเป็นวิธีที่ควรจะนำมาใช้เนื่องจากโครเมียมมีราคาสูง อย่างไรก็ตามการตกตะกอนของโครมิคไฮดรอกไซด์,($Cr(OH)_3$) และกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นเป็นวิธีที่นิยมใช้กัน ตะกอนที่เกิดขึ้นจะกำจัดโดยการฝังกลบ การตกตะกอนทั่วไปได้ผลในช่วงความเป็นกรดด่าง 8.5-9.5(รูปที่ 2.5) ซึ่งตะกอนละลายน้ำได้น้อยในช่วงนี้ แม้ในบางครั้งการตกตะกอนจะเกิดขึ้นได้ดีที่ความเป็นกรดด่าง12.2 สำหรับอุตสาหกรรมกาวจากสัตว์ หลังจากการตกตะกอนเคมีและตกตะกอนตามด้วยการกรองจะช่วยให้การกำจัดอนุภาคโครมิคไฮดรอกไซด์ที่ไม่ตกตะกอนในถังตกตะกอนได้

2.4 การกรอง

การกรองได้ถูกใช้เพื่อทำความสะอาดน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองหรือเพื่อผลิตน้ำทิ้งที่มีสารแขวนลอยต่ำ การกรองไม่เพียงแต่เป็นกระบวนการบำบัดชั้นสูงเท่านั้น แต่ยังถูกใช้เป็นการบำบัดเบื้องต้น (pretreatment) เพื่อการบำบัดในขั้นต่อไป



รูปที่ 2.5 ผลของความเป็นกรดด่างต่อความสามารถในการละลายของโครเมียม(III) (Parsons,1965 อ้างโดย Patterson,1978)

การกรองประกอบด้วยการผ่านของน้ำไปยังสารกรองที่ดักขับอนุภาคแขวนลอย สารกรองอาจเป็นทรายละเอียด ถ่านแอนทราไซต์ ดินเบา(diatomaceus earth) หรือผ้ากรอง (filter fabric) ระบบกรองอาจเป็นแบบแรงโน้มถ่วงหรือแรงดัน ของแข็งจะสะสมในสารกรองดังนั้น จึงใช้น้ำดีล้างย้อนในทิศตรงกันข้ามกับการไหลของน้ำเป็นครั้งคราวเพื่อควบคุมการสูญเสียแรงดันน้ำเมื่อผ่านระบบการกรอง (Qasim,1985)

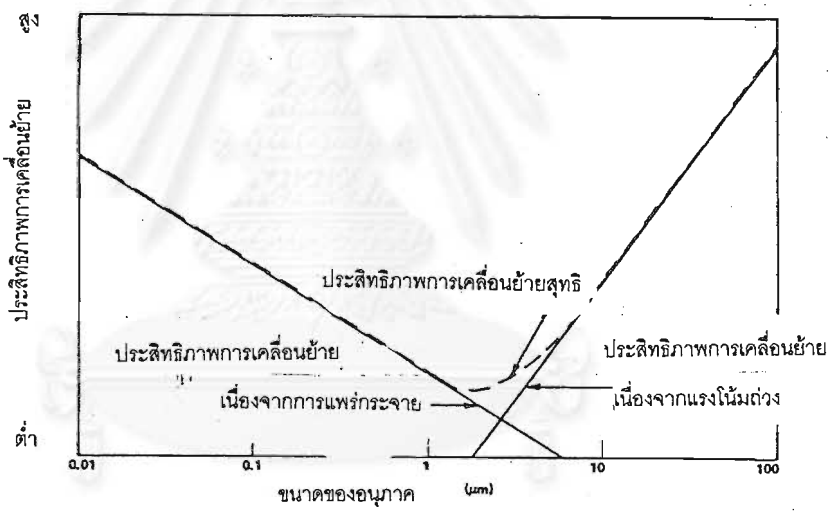
2.4.1 กลไกของการกรองน้ำ

การกรองน้ำเป็นการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยในน้ำมาไว้บนสารกรอง หรือมาไว้ที่ช่องว่างระหว่างสารกรอง ดังนั้นกลไกในการกรองน้ำ จึงเกี่ยวกับวิธีการเคลื่อนย้าย (Transport) สารแขวนลอยในน้ำ ให้เข้าไปหาสารกรอง ซึ่งอยู่นิ่ง ๆ และวิธีการทำให้สารแขวนลอยเกาะจับอยู่กับสารกรอง หรือสิ่งที่ติดอยู่บนสารกรองก่อนแล้ว (Attachment)

2.4.1.1 กลไกเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาสารกรอง (Transport Mechanism)

ในกรณีของการกรองผ่านชั้นทรายหรือสารกรองอื่น สารแขวนลอยเคลื่อนที่เข้าหาสารกรองได้ 2 วิธี วิธีแรกเป็นการเคลื่อนที่ตามธรรมชาติของสารที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน และเป็นการเคลื่อนที่ในระดับโมเลกุล ที่เกิดจากการแพร่กระจายแบบบราวเนียน (Brownian Diffusion) วิธีที่สองเป็นการเคลื่อนที่ตามเส้นทางการไหลของน้ำ สารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอนจะวิ่งเบียดเข้าหาสารกรอง (Interception) ในขณะที่ผ่านช่องว่างขนาด

เล็ก นอกจากนี้สารแขวนลอยขนาดใหญ่ยังอาจตกตะกอนในทิศทางที่เคลื่อนที่เข้าหาสารกรองได้ ขนาด และการกระจายขนาด(Size Distribution)ของสารแขวนลอย มีความสำคัญต่อกลไกเคลื่อนย้ายเป็นอย่างมาก(รูปที่ 2.6) กล่าวคือ เมื่อขนาดของสารแขวนลอยเล็กกว่า 1 ไมครอน ประสิทธิภาพของการเคลื่อนย้ายจะแปรผกผันกับขนาด นั่นคือการแพร่กระจายทำให้สารขนาดเล็กเคลื่อนที่ได้มากกว่า และมีโอกาสวิ่งเข้าหาสารกรองได้มากกว่าสารขนาดใหญ่ แต่เมื่อสารมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน จะมีการแพร่กระจายในระดับโมเลกุลน้อยมากจนไม่มีนัยสำคัญ ขนาดและน้ำหนักของสารแขวนลอย จะเข้ามามีบทบาทสำคัญในการสร้างกลไกแบบตกตะกอนและติดค้าง (Interception) ดังนั้นประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายจึงแปรตรงกับขนาดของสารแขวนลอย ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ทั้งนี้เนื่องจากสารขนาดใหญ่มีน้ำหนักมากและมีปริมาตรมากจึงตกตะกอนหรือติดค้างสารกรองได้ง่าย ตามที่กล่าวมานี้จะเห็นได้ว่า สารแขวนลอยที่มีขนาดประมาณ 1 ไมครอน กรองออกได้ยากกว่าสารขนาดอื่น



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยและขนาดอนุภาค (Fuller G.W. , 1998 อ้างโดย Baumann E.R. ,1979)

2.4.1.2 กลไกจับสารแขวนลอย (Attachment Machanism)

สารแขวนลอยขนาดใหญ่อาจตกตะกอนและเกาะติดอยู่บนสารกรองหรืออาจตกค้างอยู่ในช่องว่างระหว่างสารกรองทำให้สามารถกรองออกจากน้ำได้ อย่างไรก็ตาม ปรากฏว่า เครื่องกรองสามารถกำจัดคอลลอยด์ขนาดเล็กออกจากน้ำได้ด้วย ซึ่งกลไกทางกายภาพเพียงลำพังไม่น่ากระทำได้ การกรองน้ำต้องอาศัยกลไกแบบที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย

กลไกดังกล่าวคือ การดูดติดผิว (Adsorption) และทำลายประจุไฟฟ้าของคอลลอยด์ให้เป็นกลาง (Charge Neutralization) การดูดติดผิวเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้คอลลอยด์สามารถเกาะจับอยู่บนสารกรองหรือบนสิ่งอื่นที่จับบนสารกรองอยู่ก่อนแล้ว อย่างไรก็ตามสารกรองและคอลลอยด์มักมีประจุลบทั้งคู่ จึงต้องมีการทำลายประจุไฟฟ้าของสารตัวใดตัวหนึ่งก่อนหรือของทั้งคู่ เพื่อมิให้เกิดแรงผลักระหว่างประจุเดียวกัน ในกรณีของการกรองน้ำ นับว่าแตกต่างจากกรณีของโคแอกกูเลชัน เนื่องจากคอลลอยด์อยู่ในน้ำซึ่งเคลื่อนที่ผ่านชั้นกรองซึ่งอยู่กับที่ ทำให้สามารถทำลายประจุไฟฟ้าของคอลลอยด์ก่อนผ่านเข้าชั้นกรองได้ หรือถ้าเปลี่ยนประจุของคอลลอยด์ให้เป็นประจุบวกก่อนผ่านเข้าชั้นกรองก็จะได้ผลในการกรองมากยิ่งขึ้น เพราะการที่สารกรองและคอลลอยด์มีประจุต่างกัน เป็นการส่งเสริมการดูดติดผิวให้เกิดขึ้นได้อย่างเหนียวแน่น การเติมสารส้มหรือโพลีเมอร์ เพื่อช่วยในการกรองโดยตรง (Direct Filtration) ก็เป็นการทำลายประจุของคอลลอยด์ และ/หรือเปลี่ยนประจุลบให้เป็นประจุบวก ดังนั้น จึงช่วยทำให้การกรองน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ในบางครั้งคอลลอยด์ต่าง ๆ อาจรวมกันเป็นฟล้อค ทำให้มีขนาดใหญ่จนสามารถตกตะกอนเป็นสารกรองหรือติดค้างอยู่ในระหว่างช่องว่าง

การกรองสารแขวนลอยขนาดเล็กและใหญ่ออกจากน้ำ อาศัยกลไก 2 ชุด ซึ่งแตกต่างกัน สารแขวนลอยขนาดใหญ่ หรือฟล้อคที่แข็งแรงสามารถตกตะกอนบนสารกรอง หรือติดค้างอยู่ในช่องว่าง ระหว่างสารกรองซึ่งแยกออกจากน้ำได้ ส่วนสารแขวนลอยขนาดเล็กต้องอาศัยแรงที่เกิดจากการแพร่กระจาย (Diffusion Force) และมีกลไกดูดติดผิว ซึ่งมีการทำลายประจุลบให้เป็นกลาง และ/หรือเปลี่ยนประจุลบให้เป็นบวก รูปที่ 2.7 แสดงถึงกลไกแบบต่าง ๆ ของการกรองน้ำ ที่ทำให้สามารถกำจัดสารแขวนลอยได้

การกำจัดสารแขวนลอยด้วยกลไกทั้งสองแบบ มีผลต่อการกรองน้ำไม่เหมือนกัน การตกตะกอนและการติดค้าง ซึ่งเป็นกลไกทางกายภาพ น่าจะเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของชั้นกรองหรือที่ความลึกไม่เกิน 2-3 นิ้ว จากผิวหน้า ทำให้มีชั้นตะกอน ปกคลุมปิดผิวบนของชั้นกรอง ลักษณะเช่นนี้ทำให้การสูญเสียแรงดันน้ำเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว (รูปที่ 2.8) กราฟของการสูญเสียแรงดันน้ำจะเป็นเส้นโค้งแบบกระทะหงาย เครื่องกรองน้ำที่มีการกรองเป็นแบบติดผิว(คล้ายกับเครื่องกรองแบบใช้แผ่นกรอง)จะมีการสูญเสียแรงดันน้ำเป็นแบบดังแสดงในรูปที่ 2.8 ทำให้อุดตันเร็วดังนั้นจึงไม่ใช่ลักษณะของเครื่องกรองที่ดี ถ้าหากเกิดขึ้นควรพยายามหลีกเลี่ยง โดยเพิ่มอัตรากรองให้สูงขึ้นเพื่อเพิ่มแรงผลักดัน ให้สารแขวนลอยสามารถแทรกตัวเข้าภายในชั้นกรองได้ลึกมาก

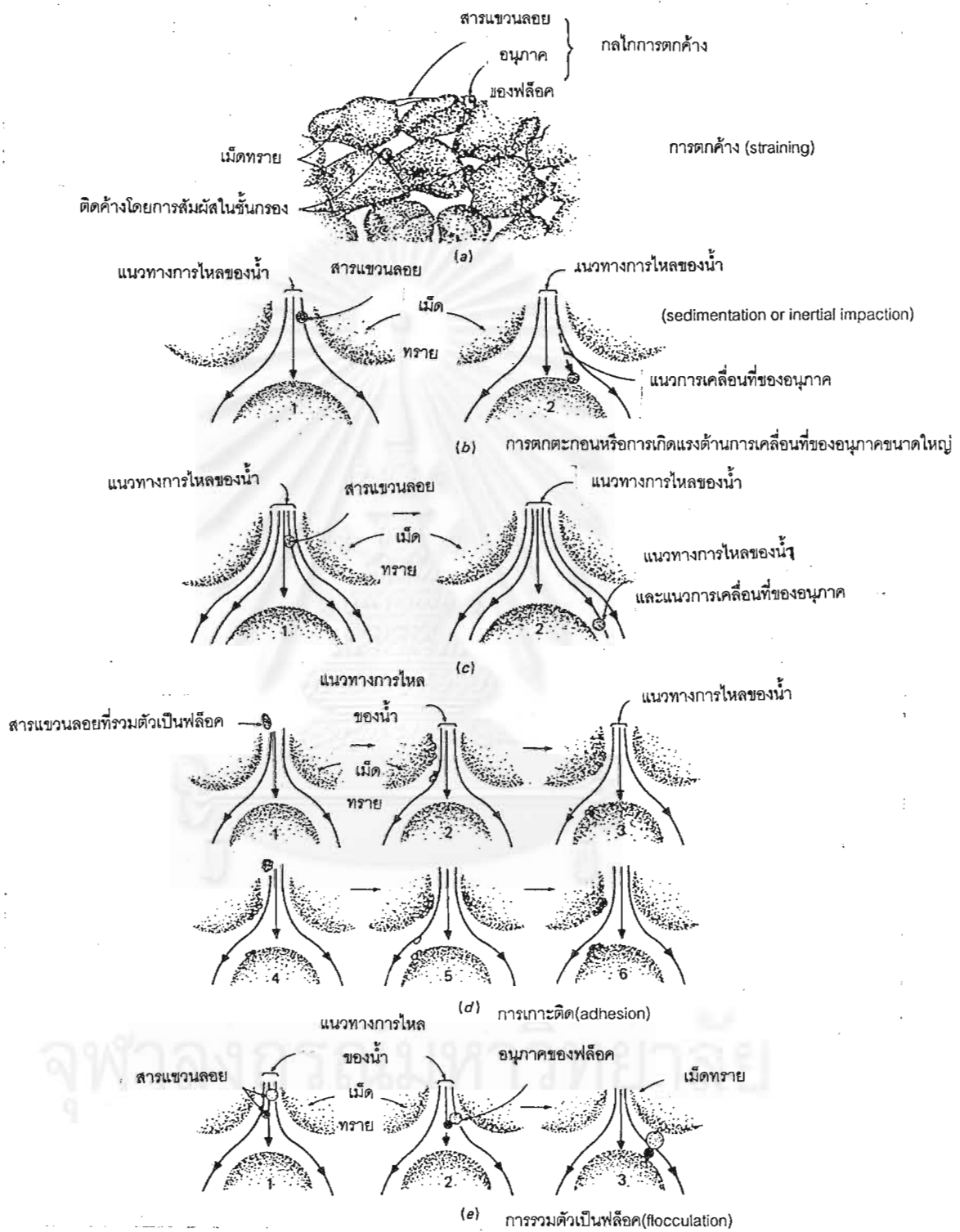
ขึ้น ดังนั้น การเพิ่มอัตรากรองในกรณีนี้ทำให้ผลิตน้ำได้มากขึ้นและรูปร่างของกราฟแสดงการสูญเสียแรงดันน้ำจะเปลี่ยนไปดังแสดงในรูปที่ 2.9

เครื่องกรองที่ทำงานได้ดีและมีอายุไม่สั้นเกินไป ควรกำจัดสารแขวนลอยด้วยกลไกทั้งแบบกายภาพและเคมี (การดูดผิวและทำลายประจุไฟฟ้า) เนื่องจากวิธีนี้ทำให้การกรองเกิดขึ้น ได้ลึกและทั่วทั้งชั้นกรอง และการสูญเสียแรงดันน้ำ จึงเกิดขึ้นค่อนข้างสม่ำเสมอ ทำให้กราฟของการสูญเสียแรงดันน้ำเป็นเส้นตรง หรือมีความโค้งน้อย (รูปที่ 2.9)

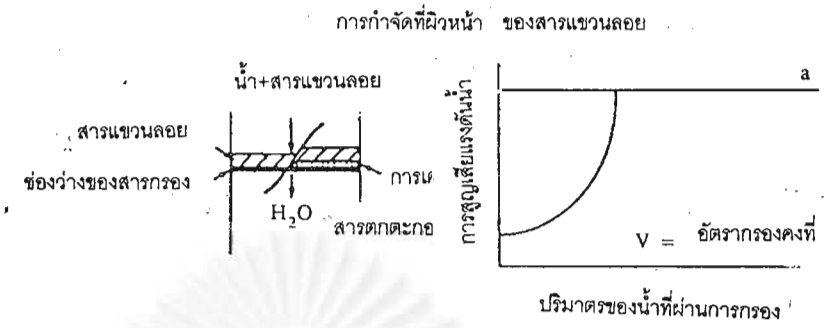
สำหรับในกรณีที่การกรองไม่ได้ผล เพราะไม่ได้มีการเตรียมน้ำก่อนกรอง หรือสาเหตุอื่น ๆ ทำให้สารแขวนลอยสามารถทะลุผ่านชั้นกรองไปได้กราฟของการสูญเสียแรงดันน้ำ(เมื่ออัตรากรองมีค่าคงที่) จะเป็นเส้นโค้งแบบกระทะคว่ำ(ตรงกันข้ามกับรูปที่ 2.8) ลักษณะเช่นนี้แสดงว่าต้องเตรียมน้ำก่อนกรองให้เหมาะสม และสิ่งที่ควรกระทำคือเติมสารช่วยกรอง (Filter Aid) เช่น สารโพลีเมอร์หรือสารส้ม ฯลฯ ให้กับน้ำเสียก่อนเข้าเครื่องกรอง

ในระหว่างการกรองน้ำ สารแขวนลอยอาจหลุดออกมาจากถังกรองได้ด้วยกลไกที่เรียกว่า Detachment กลไกนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากมีตะกอนบางส่วนเกาะจับอย่างหลวมๆ บนสารกรอง เมื่อชั้นกรองมีความฝืดเพิ่มขึ้นหรืออุดตันมากขึ้น แรงที่เกิดจากการไหลของน้ำจะมีค่าสูงตามไปด้วย ทำให้ตะกอนหลุดออกจากชั้นกรองได้ การเพิ่มอัตรากรองอย่างกะทันหันทำให้ได้น้ำขุ่น เป็นตัวอย่างที่แสดงให้เห็นถึงกลไกแบบ Detachment หรือเกิดขึ้นเนื่องจากพื้นที่ว่างบนสารกรองถูกใช้ไปจนเกือบหมด ทำให้สารแขวนลอยมีโอกาสเกาะติดผิวชั้นกรองได้น้อย การรั่วของสารแขวนลอยออกจากชั้นกรองจึงมีมาก

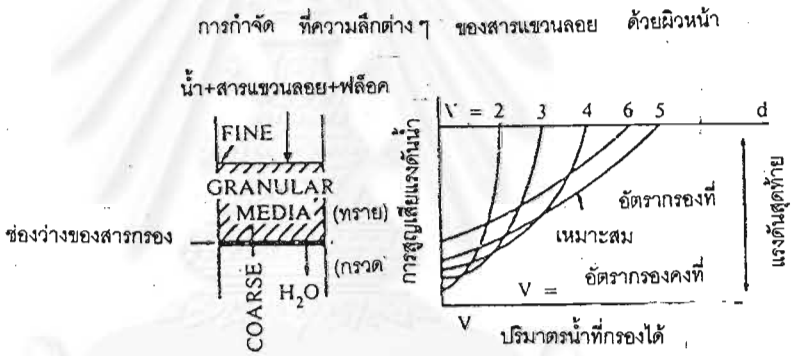
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



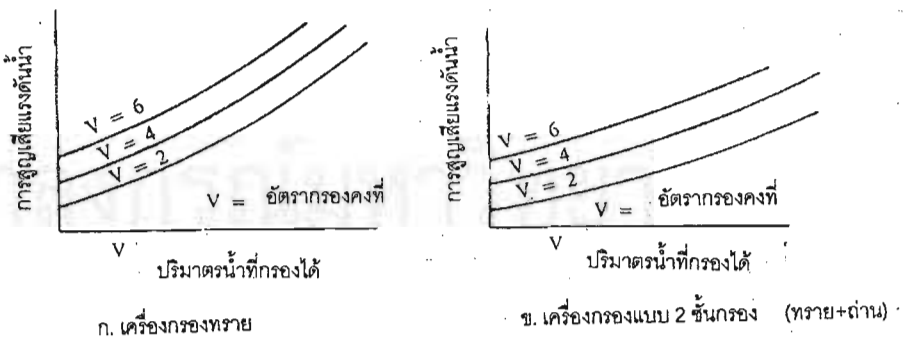
รูปที่ 2.7 การกำจัดสารแขวนลอยภายในทรายกรอง (Metcalf & Eddy 1991)



รูปที่ 2.8 รูปแบบของการสูญเสียแรงดันน้ำที่มีการกรองแบบติดผิว (อัตรากรองคงที่) (Baumann E.R. , 1979)



รูปที่ 2.9 การเพิ่มอัตรากรอง ทำให้สามารถชะลอการเพิ่มของการสูญเสียเฮดของเครื่องกรองที่มีกลไกแบบติดผิวและสามารถผลิตน้ำได้มากขึ้น (Baumann E.R. , 1979)



รูปที่ 2.10 ลักษณะการสูญเสียแรงดันน้ำของเครื่องกรอง ซึ่งการการกำจัดความขุ่นเกิดขึ้นได้ ลึกลงไปในชั้นกรองจะเห็นได้ว่าเครื่องกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ได้ผลดีกว่าเครื่องกรองแบบธรรมดา (Baumann E.R., 1979)

2.4.2 การเตรียมน้ำก่อนทำการกรอง

2.4.2.1 ความจำเป็นที่ต้องเตรียมน้ำก่อนกรอง

ถังกรองเร็วขนาดธรรมดาที่มีทรายขนาดสัมฤทธิ์ 0.5 มม. และชั้นทรายหนาประมาณ 24-30 นิ้ว ไม่สามารถกรองน้ำอย่างได้ผลด้วยอัตรากรองปกติ ถ้าน้ำดิบไม่ได้ผ่านกระบวนการเบื้องต้นมาก่อน การกรองน้ำดิบที่มีความขุ่น 15 หน่วย หรือมากกว่าในอัตราปกติ (2 แกลอน./นาที-ตารางฟุต) ไม่สามารถลดความขุ่นให้เหลือน้อยกว่า 5 หน่วยได้ ด้วยเหตุนี้ น้ำดิบก่อนเข้าเครื่องกรองจึงต้องผ่านกระบวนการเตรียมน้ำก่อนกรอง (Pretreatment) โดยปกติกระบวนการเหล่านี้ได้แก่โคแอกกูเลชันและการตกตะกอน

น้ำที่ฟล้อคคูเลตแล้ว และพร้อมที่จะส่งเข้าเครื่องกรอง จะต้องมีฟล้อคที่แข็งแรง มิฉะนั้น เมื่อฟล้อคซึมทะลุผ่านชั้นทราย แรงเฉือนภายในชั้นกรองจะทำให้ฟล้อคที่จับติดบนสารกรองหลุดออกมา ทำให้การกรองน้ำไม่ได้ผล อย่างไรก็ตาม ฟล้อคที่แข็งแรงและมีขนาดใหญ่ มักไม่สามารถทะลุผ่านชั้นทรายได้ลึกกว่า 3 นิ้ว เนื่องจากการตกตะกอนและติดค้างต่าง ๆ เกิดขึ้นในระดับตื้น ๆ ของชั้นทราย ดังนั้นประสิทธิภาพของการกรองจึงไม่ได้ผลเต็มที่เนื่องจากไม่สามารถใช้ประโยชน์จากชั้นกรองได้ทั้งหมด น้ำที่สามารถกรองได้ ควรมีฟล้อคที่สามารถทะลุผ่านชั้นทรายได้ลึก ๆ แต่ไม่หลุดออกไปจากชั้นทราย ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงเห็นได้ว่า การเตรียมน้ำเพื่อการตกตะกอนและการกรอง อาจจะต้องวางเป้าหมายให้แตกต่างกัน โคแอกกูเลชันของน้ำเพื่อเข้าถังตกตะกอน มักเป็นแบบ Sweep Coagulation ทำให้ได้ฟล้อคขนาดใหญ่และแข็งแรง ส่วนโคแอกกูเลชันของน้ำเพื่อเข้าถังกรองโดยตรง ควรเป็นแบบเกาะติดผิวและทำลายประจุ (Adsorption Charge Neutralization) ซึ่งจะให้ฟล้อคที่ไม่แข็งแรงเท่า Sweep Floc และมีปริมาณน้อยกว่าด้วย

2.4.3 ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการกรองน้ำ

2.4.3.1 การเตรียมน้ำก่อนกรอง (Pretreatment)

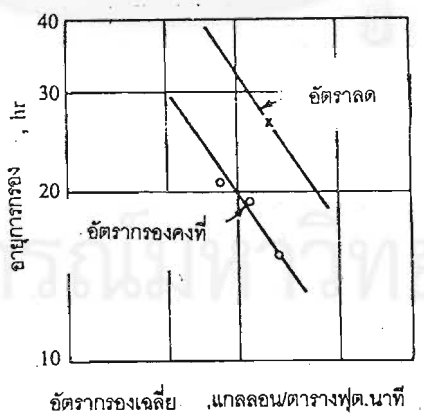
เนื่องจากการกรองน้ำมิใช่เป็นกระบวนการทางกายภาพเพียงอย่างเดียว การกรองน้ำดิบที่มีความขุ่นโดยตรงจึงมักไม่ให้น้ำใสเท่าที่ควรแม้จะใช้อัตรากรองต่ำมากก็ตาม ความขุ่นบางส่วนเท่านั้นที่ติดอยู่ในชั้นกรองและจะมีความขุ่นลอดผ่านชั้นกรองได้ สารแขวนลอย

และสารกรองมักมีประจุลบทั้งคู่จึงผลักซึ่งกันและกัน ดังนั้นโอกาสในการสัมผัสและเกาะติดกันจึงมีไม่มาก การเตรียมน้ำก่อนกรอง ซึ่งได้แก่การทำโคแอกกูเลชัน เพื่อทำลายประจุลบของสารแขวนลอย และเปลี่ยนให้เป็นประจุบวกจึงมีความสำคัญต่อการกรองน้ำเป็นอย่างยิ่ง การทำลายประจุของสารกรองก็อาจได้ผลเช่นเดียวกับการทำลายประจุของสารแขวนลอย แต่ปฏิบัติได้ยากกว่า

การกรองน้ำในอัตรา 2-6 แกลลอน./นาที-ตร.ฟุต (5-15 เมตร/ชม.) ให้กับน้ำที่เตรียมไว้ก่อน จะให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าไม่มีการเตรียมน้ำก่อนกรอง แม้จะใช้อัตรากรองต่ำกว่า 2 แกลลอน/นาที-ตร.ฟุต ก็ไม่สามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพดีได้

2.4.3.2 ความแปรปรวนของอัตรากรอง

อัตรากรองที่แปรปรวนอย่างกะทันหัน เป็นต้นเหตุที่ทำให้คุณภาพของน้ำลดต่ำได้มาก ด้วยเหตุนี้จึงนิยมรักษาระดับของอัตรากรอง ให้คงที่อยู่ตลอดเวลาด้วยอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันพบว่า ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องรักษาอัตรากรองให้คงที่เสมอไป การกรองในอัตราที่ลดลงอย่างสม่ำเสมอและมีแบบแผน (Declining Rate Filtration) ก็สามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพสูงได้เช่นกัน และยังอาจผลิตน้ำได้มากกว่าด้วย (รูปที่ 2.11)



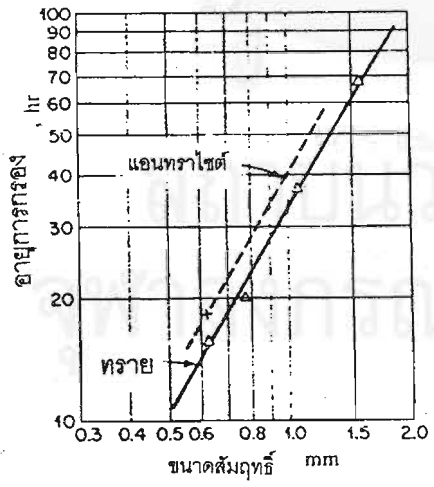
รูปที่ 2.11 การกรองน้ำแบบอัตราลดสามารถผลิตน้ำได้มากกว่าการกรองแบบอัตราคงที่

2.4.3.3 ขนาดของสารกรอง

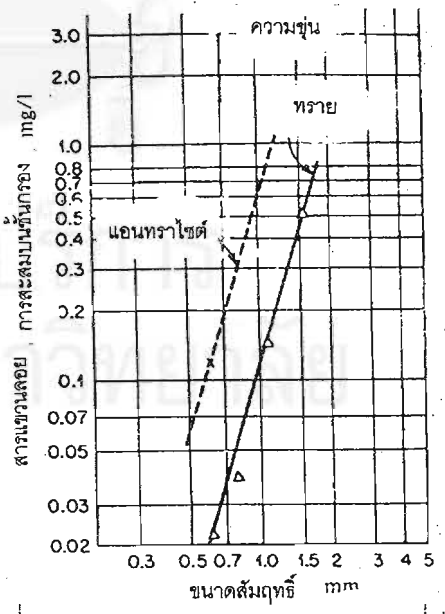
ขนาดของสารกรองเป็นพารามิเตอร์ที่สามารถใช้กำหนดสมรรถนะของเครื่องกรองได้เป็นอย่างดี การใช้สารกรองขนาดเล็ก เช่น ทราย จะผลิตน้ำที่มีคุณภาพสูง แต่ต้องสูญเสียแรงดันน้ำมากทำให้อายุการกรองสั้น (รูปที่ 2.12 และ 2.13) แต่ถ้าใช้สารกรองหยาบ เช่น แอนทราไซต์ (Anthracite) จะมีการสูญเสียแรงดันน้ำต่ำแต่กรองน้ำได้ไม่ใส การเติม Filter Aid เช่น สารส้ม หรือ โพลิเมอร์ ช่วยให้สารกรองที่มีขนาดใหญ่สามารถกรองน้ำได้ใสและมีการสูญเสียแรงดันน้ำต่ำ หรือในกรณีที่มี Available Head มาก เช่น ถังกรองแบบใช้ความดันก็สามารถใช้สารกรองขนาดเล็กได้

2.4.3.4 อัตราล้างย้อน (Backwash Rate)

อัตราล้างย้อนมีความสำคัญต่อการกรองน้ำ เนื่องจากเป็นปัจจัยที่สำคัญมาก ในการเลือกขนาดสารกรอง และกำหนดสมรรถนะของเครื่องกรองน้ำด้วย สารกรองขนาดใหญ่และมีความถ่วงจำเพาะสูง ต้องการอัตราล้างย้อนสูง ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก เครื่องกรองที่ล้างไม่พอเพียง ทำให้มีการสะสมของสารแขวนลอยและสิ่งสกปรกอื่นๆจนกระทั่งเกิด Mud Ball และปัญหาอื่น ๆ จะไม่สามารถผลิตน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.12 อิทธิพลของขนาดสารกรองที่มีต่ออายุการกรอง



รูปที่ 2.13 อิทธิพลของขนาดสารกรองที่มีต่อความใสของน้ำที่กรอง

2.4.3.5 คุณภาพของน้ำ

น้ำที่มีความขุ่นไม่เกิน 20-25 หน่วย การกรองอาจเป็นแบบกรองโดยตรง(Direct Filtration) ไม่ต้องมีการลดความขุ่นก่อนเข้าถังกรองแต่สำหรับน้ำที่ขุ่นกว่านั้นควรมีการกำจัดความขุ่นออกก่อนด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและการตกตะกอน จากนั้นจึงนำน้ำเข้าเครื่องกรอง

2.4.3.6 ความหนาของชั้นกรอง

การสูญเสียแรงดันน้ำส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ระดับประมาณ 3 นิ้ว ความหนาของชั้นกรองเป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดโอกาสสัมผัสระหว่างสารแขวนลอยและสารกรอง ซึ่งมีความสำคัญต่อสมรรถนะของการกรองน้ำเป็นอย่างมาก การเตรียมให้สารแขวนลอยมีประจุบวกจะทำให้การกรองเกิดขึ้นได้ตลอดทั้งความลึก

2.4.4 **อายุของเครื่องกรอง**

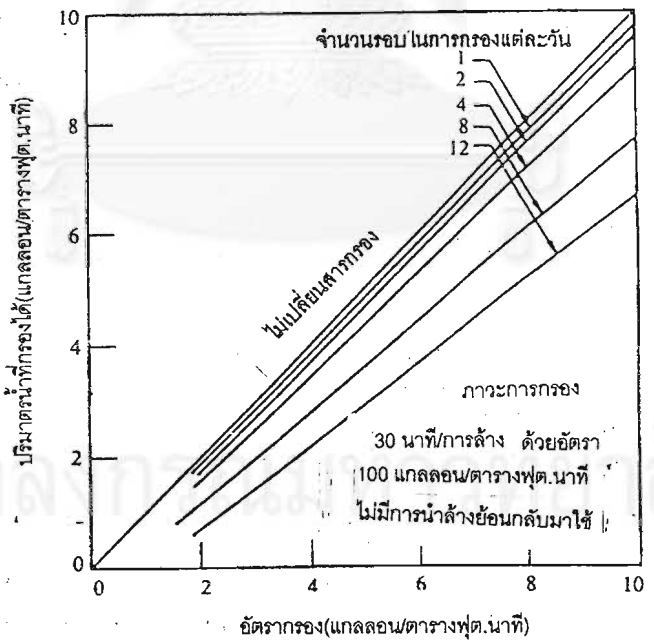
การกรองน้ำทำให้มีสารแขวนลอยสะสมอยู่ในชั้นกรองเพิ่มขึ้นตลอดเวลา ในขณะเดียวกัน ทำให้มีช่องว่างระหว่างสารกรองลดน้อยลง จึงมีความฝืดและต้านทานการไหลของน้ำ แรงดันน้ำจะต้องพอเพียงจึงจะรักษาอัตรากรองให้คงที่ได้ ในระหว่างการกรองน้ำจึงมักสังเกตเห็นได้ว่า ระดับน้ำในถังกรองจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งนี้เพื่อให้มีแรงดันน้ำพอเพียง เมื่อระดับน้ำในถังกรองถึงจุดสูงสุดหรือน้ำกรองเริ่มขุ่น จำเป็นต้องล้างเครื่องกรองเสมอ โดยปกติ อายุการกรองควรมีเวลาประมาณ 18-36 ชม. ถ้าอายุกรองสั้นเกินไปต้องล้างบ่อยทำให้เสียเวลาและเสียน้ำในการล้าง แต่ถ้าอายุนานเกินไปปฏิกิริยาเคมีและชีวะอาจเกิดขึ้นได้ในชั้นกรองหรือบนผิวกรอง ทำให้เกิดผลเสียหายได้ในภายหลัง การล้างเครื่องกรองวันละครั้งเป็นการป้องกันมิให้ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นได้ถึงจุดสุดท้าย เครื่องกรองที่มีอายุยาวเกินไปนอกจากจะมีข้อเสียดังกล่าวแล้ว ยังไม่สามารถผลิตน้ำได้มากกว่าเครื่องกรองที่ล้างวันละครั้งอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 2.14)

การหมดอายุของชั้นกรอง อาจสังเกตได้จากน้ำกรองที่ขุ่นหรือระดับน้ำในถังกรองที่สูงจนถึงระดับสูงสุด แต่ในบางครั้งอาจกำหนดเวลาล้าง เช่น ทุก 24 ชม. โดยไม่คำนึงถึงพารามิเตอร์ทั้งสองดังกล่าว

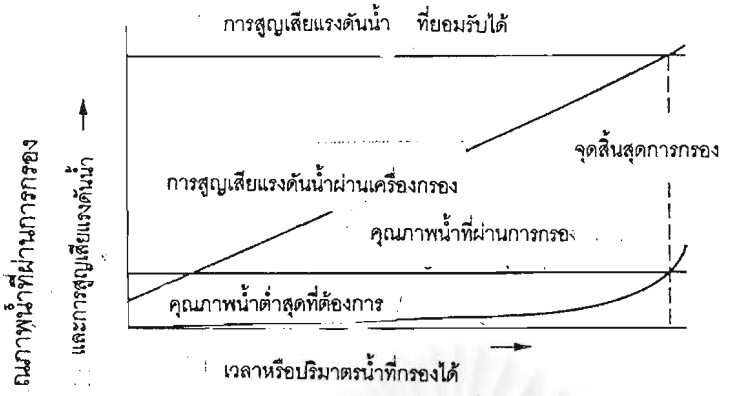
ถ้าให้ t_1 = เวลาของการกรองน้ำจนมีการรั่วของความขุ่นเกิดขึ้นถึงระดับที่ยอมได้

t_2 = เวลาของการกรองน้ำจนหมด Available Head ซึ่งวัดจากจุดน้ำออก จนถึงระดับสูง สุดของถังกรองที่ยอมให้น้ำขึ้นถึงหรือมีการสูญเสียแรงดันน้ำจนถึงระดับสูงสุด

เครื่องกรองที่ออกแบบและทำงานได้อย่างเหมาะสมที่สุด (Optimal) จะต้องมี $t_1 = t_2$ (รูปที่ 14) แต่ในทางปฏิบัติสภาวะดังกล่าวยากที่จะเป็นจริงและยากที่จะเกิดขึ้นได้ ดังนั้นในการออกแบบมักตั้งเป้าหมายให้ t_1 น้อยกว่า t_2 ซึ่งหมายความว่า ถังกรองจะหมด Available Head หรือมีการสูญเสียแรงดันน้ำ จนถึงระดับสูงสุดแต่น้ำกรองที่ได้ยังไม่ขุ่น



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตน้ำกับอายุเครื่องกรอง ที่อัตรากรองต่างๆ (Baumann E.R, 1979)



รูปที่ 2.15 อายุของการกรองที่ขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำและการสูญเสียแรงดันน้ำ

(Baumann E.R. , 1979)

สารกรองต่าง ๆ ในธรรมชาติมักมีขนาด การเรียงขนาด และรูปร่าง ไม่ได้ตามมาตรฐานที่ถูกต้อง ดังนั้น ก่อนนำเอามาใช้จึงต้องมีการคัดขนาดและรูปร่าง

การบอกขนาดและความสม่ำเสมอของขนาดของวัสดุกรอง อาจกระทำได้โดยใช้พารามิเตอร์ที่เรียกว่าEffective SizeและNon Uniformity Coefficient ตามลำดับ ถ้าให้ $D_{10\%}$ แทนขนาดสัมฤทธิ์ (Effective Size) หมายความว่า 10% ของสารกรองมีขนาดเล็กกว่า $D_{10\%}$ ส่วน Non Uniformity Coefficient หรือสปส.ของความไม่สม่ำเสมอ (หรือเรียกว่า Uniformity Coefficient หรือ สปส. ของความสม่ำเสมอ) เป็นอัตราส่วนระหว่าง $D_{60\%}$ ต่อ $D_{10\%}$

การวัดขนาดของสารกรองเป็นขนาดสัมฤทธิ์(Effective Size) หรือ $d_{10\%}$ ได้มาจากการทดลองของ Hazen ซึ่งพบว่า แรงต้านทานการไหลของน้ำผ่านชั้นกรองมีความสัมพันธ์กับ $d_{10\%}$ มากกว่าพารามิเตอร์ตัวอื่น ด้วยเหตุนี้ จึงใช้ $d_{10\%}$ ในการบอกขนาดของสารกรองและเป็นที่ยอมรับ อย่างไรก็ตามในกรณีที่ชั้นกรองขยายตัว(เช่นในกรณีที่กำลังล้างย้อน) การบอกขนาดของสารกรองควรเป็น $d_{60\%}$ ซึ่งสามารถเป็นตัวแทนของสารกรองทั้งหมดได้ดีกว่า $d_{10\%}$ การคำนวณต่างๆเกี่ยวกับการล้างเครื่องกรองจึงควรใช้ $d_{60\%}$ มากกว่า $d_{10\%}$

2.5 หินแกรนิต(Granite)

2.5.1 ลักษณะโดยทั่วไป แหล่งที่พบและประโยชน์ของหินแกรนิต

2.5.1.1 ลักษณะโดยทั่วไป เป็นหินอัคนีที่มีกำเนิดภายใต้พื้นผิวโลก จึงเป็นหินที่มีเนื้อหยาบ ผลึกเกาะกันแน่น เห็นได้ชัด ดูได้ทั่วไปเป็นหินสีขาว เพราะแร่ส่วนใหญ่เป็นพวกเฟลด์สปาร์และ ควอร์ตซ์ ความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.7

2.5.1.2 แร่ที่เป็นองค์ประกอบแร่ที่สำคัญคือ แร่ควอร์ตซ์ (SiO_2) ประมาณ30% กับแร่เฟลด์สปาร์ โดยเฉพาะพวกออร์โทเคลส์ ($K(AlSi_3O_8)$)ประมาณ 60% แร่สีเข้มประมาณ 10% ได้แก่ ฮอร์นเบลนด์ ($Ca_2(Mg,Fe)_4Al(OH)_2.AlSi_2O_7$) ไบโอไทต์ ($K(Mg,Fe)_3OHF_2AlSi_3O_{10}$) ทัวร์มาลีน ($(Na,Ca)(Li,Mg,Al)_3(Al,Fe,Mn)_6(BO_3)_3(Si_6O_{18})(OH)_4$) มีแทรกกระจายอยู่โดยทั่วไปในเนื้อหิน

2.5.1.3 แหล่งที่พบในประเทศไทย ทางภาคตะวันออกพบที่จังหวัดจันทบุรี ระยอง และ ชลบุรี ทางภาคเหนือ มีเทือกเขาหินแกรนิตหลายแหล่งตั้งแต่เชียงรายลงมาถึงตากได้แก่ ดอยสุเทพและดอยอินทนนท์ หินแกรนิตที่อำเภอเถิน จังหวัดตาก ออร์โทรเคลสเฟลด์สปาร์มีสีชมพูผลึกใหญ่ เรียกว่า แกรนิตสีชมพู ทางภาคใต้แถบบริเวณเขตแดนไทย-พม่ามีทิวเขาหินแกรนิตสูงตระหง่านเป็นแนวยาวตลอดเป็นแหล่งนำพาแร่ดีบุกอย่างดี ลักษณะของเนินเขาหินแกรนิตที่เป็นเนินเขาหินแกรนิตเตี้ย ๆ เช่น ในจังหวัดสงขลา อำเภอหาดใหญ่ และที่เป็นภูเขาหินแกรนิตสูง ๆ ก็มีที่เขตติดต่อจังหวัดยะลากับนราธิวาส

2.5.1.4 ประโยชน์ของหินแกรนิต เนื่องจากหินแกรนิตมีเนื้อเดียว และแข็ง ทนทานต่อการผุสึกกร่อน เนื้อหินเมื่อนำมาตัดเป็นแผ่นเรียบและขัดมัน มีลวดลายดูเป็นดอกสวยงาม หินแกรนิตมีประโยชน์ทั้งเป็นหินประดับและหินก่อสร้างเพราะมีความแข็งคงทนดี จะนำมาตัดเป็นแผ่นปูอาหาร หรือเพื่อทำอนุสาวรีย์ บางแห่งนำมาใช้ผสมคอนกรีตในกรณีที่ไม่มีกรวด ใช้ในการย่อยหินให้ได้ขนาด ใช้ทำครก

2.5.2 การนำหินแกรนิตมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

2.5.2.1 ระบบบำบัดแบบโปรยกรอง (Ticking Filter) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหินที่ใช้อยู่ในช่วง1-4 นิ้ว(25-100 มม) ความลึกที่ใช้แล้วแต่การออกแบบ แต่โดยทั่วไปมักลึกตั้งแต่ 3-8 ฟุต(0.9-25 เมตร) และเฉลี่ย 6 ฟุต (1.8 เมตร) การเรียงของหินอยู่ในถังวงกลมและน้ำเสียจะกระจายตามด้านบนตามแขนของเครื่องโปรยกรอง เหตุที่ใช้หินแกรนิตเพราะมีพื้นผิวต่อปริมาตรสูง ราคาถูก มีอายุการใช้งานนานไม่อุดตันง่าย และสามารถพบได้ทั่วไปในแต่ละพื้นที่

(Metcalf & Eddy,1991) ต่อมาระยะหลังเนื่องจากการใช้หินเป็นตัวกลาง ทำให้เกิดการอุดตันเมื่อภาระบรรทุกมวลสารของระบบสูงขึ้นและราคาค่าก่อสร้างในตอนแรกมีราคาสูง จึงใช้ตัวกลางอื่นมาแทน(Chereminsinoff,1976)

2.5.2.2 ระบบกรองแบบไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ในการบำบัดน้ำเสียจากบ้านเรือนและแหล่งชุมชนโดยเชื่อมต่อกับบ่อเกรอะ(Septic tank) ตัวกลางของถังกรองควรมีขนาดประมาณ 1 นิ้ว-1.5 นิ้วซึ่งจะให้ค่าความพรุน 42-47% และมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตร 140 ตร.ม./ลบ.ม. (วิชัย,2539) หรือเป็นบ่อซึมสำหรับต่อจากบ่อเกรอะโดยใช้หินคัดขนาด 20-50 มม. ลึก 1 เมตร ให้มีอัตราการซึม 10 ลิตร/วัน (Mara ,1978)

2.5.2.3 ใช้เป็นตัวกลางสำหรับการแยกของแข็งออกจากน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแบบบ่อคงตัว (Stabilization Pond) โดยวางหินเป็นแนวที่ทางน้ำออก เพื่อให้สาหร่ายในระบบบำบัดตกค้างที่ผิวหน้าและช่องว่างของหินที่คัดขนาด 25-50 มม. เวลาเก็บกักน้ำในบ่อ 24 ชั่วโมง ความพรุน 45 % (Mara , 1978)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มนตรี ประมวลพรสถิตย์ , มนชยา ประเสริฐกิตติกุล และ พรชัย เอื้อโสภณ (1997) ศึกษาการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่โดยพิจารณาถึงปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นของทรายกองโดยใช้สารเคมี 2 ชนิด คือ สารส้มที่ความเข้มข้น 2 และ 6 มก./ล. และโพลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.2 มก./ล. ที่อัตรากรอง 14.8 ม./ชม. และ 29.6 ม./ชม. ของน้ำที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียชนิดตะกอนเร่ง ผลการทดลองพบว่าอัตรากรองที่เหมาะสมคือ 14.8 ม./ชม. ร่วมกับสารส้ม 6 มก./ล.และโพลิเมอร์ 0.2 มก./ล. อายุของเครื่องกรอง 110 ชั่วโมง ค่าพีเอชของน้ำดิบจะอยู่ในช่วง 6.5 – 7.5 ส่วนค่าพีเอชของน้ำหลังผ่านการกรองจะมีค่าต่ำกว่าน้ำก่อนกรองเล็กน้อย ความสามารถในการกำจัดซีโอดีในแต่ละการทดลองไม่แตกต่างกัน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีโดยรวมที่ได้จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่ามีค่าโดยประมาณ 55 %

Brener และคณะ(1994) ศึกษาถึงการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับการเกษตรในอิสราเอล โดยใช้แบบจำลองเป็นท่อใสเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.8 ซม.สูง 220 ซม.ความลึกของชั้นกรอง 115 ซม. ทรายกรองที่ใช้ ขนาด1.41-2.00 มม. เฉลี่ย 1.71 มม. อัตรากรอง 15 ม/ชม.และให้ค่าการสูญเสีย

แรงดันน้ำสูงสุด 2 เมตร ผลการทดลอง พบว่าความขุ่น 12.4,18.5 และ 24 NTU ประสิทธิภาพการกรองมีความสัมพันธ์กับความลึกและระยะเวลาในการกรอง การตกค้าง(Staining), การสัมผัส (Attachment)และการรวมตัวของสารแขวนลอย จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในการกรองที่มีความขุ่นสูง ดังนั้น การเพิ่มของการสูญเสียแรงดันน้ำของความขุ่นสูงจะเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าความขุ่นต่ำ และทำให้การกรองสิ้นสุดลงเร็วกว่า อย่างไรก็ตามความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองมีคุณภาพ 2-3 NTU ซึ่งความขุ่นนี้อาจเกิดจากอนุภาคของคอลลอยด์ ซึ่งไม่สามารถกำจัดได้โดยสารกรองที่ใช้

Farook , Al-Yousef , Al-Layla และ Ishaq (1993) ศึกษากระบวนการกรองทรายกรองช้า ในการบำบัดขั้นที่สามสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียด้วยแบบจำลองโดยใช้น้ำทิ้งจากการบำบัดขั้นที่สองที่อัตราการไหล 0.16 เมตร/ชั่วโมง (2 ลิตร/นาที) ใช้ทรายในท้องถิ่นขนาดสัมฤทธิ์ 0.31มม., สัมประสิทธิความคงตัว 2.00 และขนาดสัมฤทธิ์ 0.56 มม., สัมประสิทธิความคงตัว 1.64 ทำการเก็บตัวอย่างที่ความลึกของของชั้นทราย 135 ,105 และ 55 ซม.สำหรับแต่ละขนาดสัมฤทธิ์พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี ซีโอดี ไนเตรท ฟอสเฟต และซัลเฟต ร้อยละ 79-92 , 40-60 , 88-93 , 8.3 - 84 และ 5-10 ตามลำดับ ที่ความลึกต่างๆของขนาดทรายที่แตกต่างกัน

Kaminski , Vescan และAdin (1997) ศึกษาการกรองน้ำทิ้งจากระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง ค่าพีเอชของน้ำทิ้ง 7.5-8.5 , ความขุ่น 6-40 NTU, ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด 10-60 มก/ล แบบจำลองที่ใช้เป็นคอลัมน์เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3.2 ซม. สูง 30 ซม. ความลึกของชั้นกรอง 20 ซม. สารกรองเป็นทรายขนาด 1.1 และ 1.5 มม. และแก้วทรงกลมขนาด 1.0 มม. อัตรากรอง 5-25 ม/ชม. การทดลองมีทั้งที่ไม่ใช้สารเคมีช่วยในการตกตะกอนและการใช้สารส้มเพียงชนิดเดียวและสารส้มร่วมกับแคทไอออนิคโพลิอิเลกโตรไลต์ ผลการทดลองพบว่า เมื่อไม่มีการเติมสารเคมีและขนาดสารกรองเท่ากันที่จุดเริ่มต้น การกรองที่อัตรากรองสูงจะไม่สามารถกำจัดอนุภาคขนาดเล็กที่อยู่ในช่วง 5-10 ไมครอนได้ และการกำจัดมีค่าติดลบ ซึ่งหมายความว่าอนุภาคได้มีการรั่วออกมาจากเครื่องกรอง อัตรากรองต่ำสามารถกำจัดอนุภาคต่างๆได้ดีกว่าอัตรากรองสูง แต่อัตรากรองสูงสามารถกำจัดอนุภาคที่ขนาดอนุภาคต่างๆในช่วงกว้างกว่าอัตรากรองต่ำ การใช้สารเคมีช่วยในการกรองจะเพิ่มอัตราการกำจัดในระยะเริ่มต้น และการกรองที่มีสารเคมีเป็นตัวช่วยทำให้การกำจัดอนุภาคได้ดีกว่า สารกรองขนาดใหญ่ทำให้เวลาในการกรองนานขึ้น แต่อาจทำให้การกำจัดลดลงหรือเกิดการเบรคทรู(Breakthrough)อย่างต่อเนื่องของอนุภาค และ

เป็นการยากที่จะตัดสินว่าอนุภาคที่หลุดออกมาเกิดจากการทะลุผ่านชั้นกรอง หรือเกิดจากกระบวนการหลุดออก (detached) ของอนุภาค ซึ่งน่าจะเป็นไปได้ว่าเมื่อเวลาในการกรองเพิ่มขึ้น อัตราส่วนระหว่างอนุภาคที่เคลื่อนที่และอนุภาคที่หลุดออกมีการเปลี่ยนแปลง สำหรับสารกรองขนาดเล็กการอุดตันจะเกิดขึ้นก่อนการเกิดเบรคทรู

Kobler และ Boller (1997) ศึกษาถึงการกำจัดอนุภาคในระบบกรองต่าง ๆ สำหรับการบำบัดขั้นที่สาม พบว่าในการเติมเฟอร์ริคคลอไรด์เพื่อช่วยในการกรองนั้น การรวมตัวของฟล็อคไม่ดีทำให้การกำจัดอนุภาคเป็นไปได้ดี และเมื่อมีการควบคุมอัตรากรองให้ต่ำทำให้เกิดการรวมฟล็อคในชั้นสารกรอง นอกจากนี้ยังพบว่าแม้การกำจัดของแข็งทั้งหมด(TSS)ได้มาก ก็ไม่จำเป็นที่ว่าจะสามารถกำจัดอนุภาคขนาดเล็กดังเช่นเชื้อโรคหรือโลหะหนักได้มากตามไปด้วย แต่ถ้าในน้ำมีอนุภาคขนาดใหญ่เป็นองค์ประกอบก็สามารถกำจัดอนุภาคได้มากเช่นกัน ซึ่งตัวที่บ่งชี้การกำจัดอนุภาคขนาดเล็กนี้ ควรใช้ค่าการกำจัดอนุภาคที่ผิวหน้าทั้งหมด (total particle surface removal)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

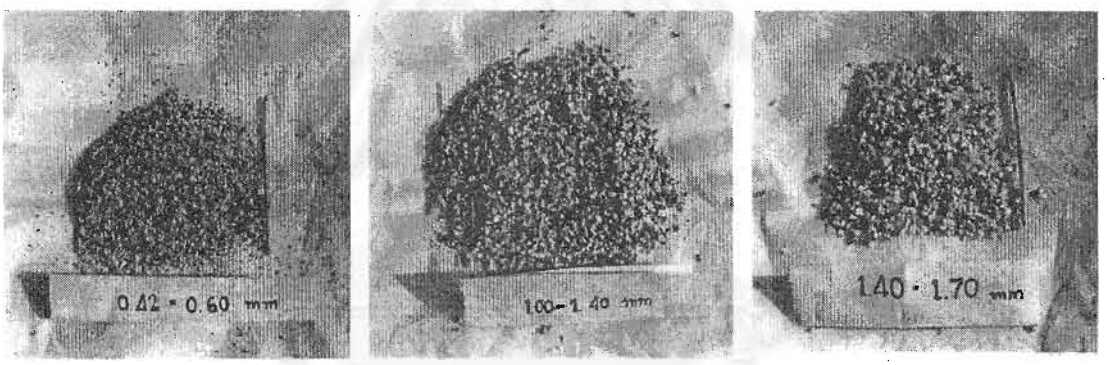
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

3.1.1 หินแกรนิต

นำหินแกรนิตที่ได้จากอ่างศิลา จ. ชลบุรี มาทำการย่อยให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นนำมาคัดขนาดด้วยตะแกรงคัดขนาด ให้มีขนาด 0.42-0.60 มิลลิเมตร, 1.00-1.40 มิลลิเมตร และ 1.40-1.70 มิลลิเมตร เมื่อได้ขนาดที่ต้องการนำไปล้างด้วยน้ำและน้ำกลั่น แล้วอบให้แห้ง จะได้สารกรองขนาดต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 หินแกรนิตที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2 ชุดทดลอง

ชุดทดลองประกอบด้วย

- ถังเก็บน้ำขนาด 100 ลิตร 2 ใบเชื่อมกัน
- เครื่องสูบน้ำแบบ Diaphragm รุ่น HX-4500 ยี่ห้อ JUN Aquarium Equipment อัตราการไหล 2500 ลิตร/ ชม. ที่หัวน้ำ 4 เมตร ในการป้อนน้ำทิ้งชุมชนเข้าสู่ถังกรอง โดยผ่านเข้าสู่ถึงพักน้ำก่อนเพื่อทำการปรับอัตราการกรองให้คงที่และมีการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันของน้ำทิ้งที่เข้าระบบ

และใช้เครื่องสูบ Submersible Pump รุ่น LS-180 A ยี่ห้อ KOSOKU อัตราการไหล 200 ลิตร/นาที ในการทำการล้างย้อน

- ถังพักน้ำ
- ท่อพีวีซีใส เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 40 มม. เจาะรูที่ระดับความลึก 0 เมตร, 1.00 เมตร และ 1.50 เมตร สำหรับเก็บตัวอย่าง ภาพที่ 3.2 และ3.3 แสดงชุดทดลอง

3.1.3 สารเคมี

3.1.3.1 สารเคมีที่ในการวิเคราะห์หาซีโอดีโดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด Closed Reflux Method ตามวิธีของ Standard Method for The Examination of Water and wastewater

3.1.3.2 สารเคมีที่ในการวิเคราะห์หาโครเมียมทั้งหมดโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอบชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ Atomic Absorption Spectrophotometer ตามวิธีของ Standard Method for The Examination of Water and wastewater

3.1.4 พีเอชมิเตอร์

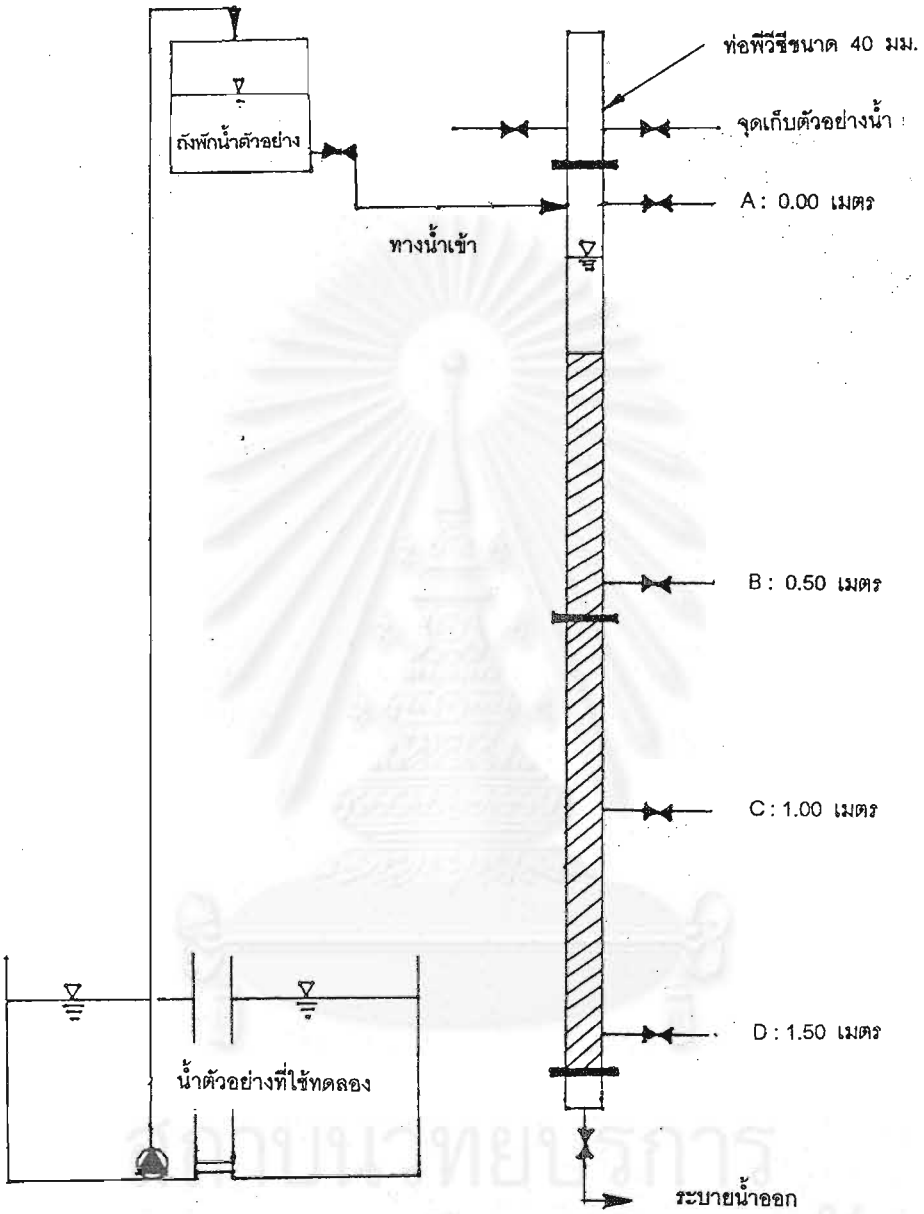
3.1.5 เครื่องวัดความขุ่น

3.2 วิธีการวิจัย

3.2.1 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง (กลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนัง กม. 30 จังหวัดสมุทรปราการ)

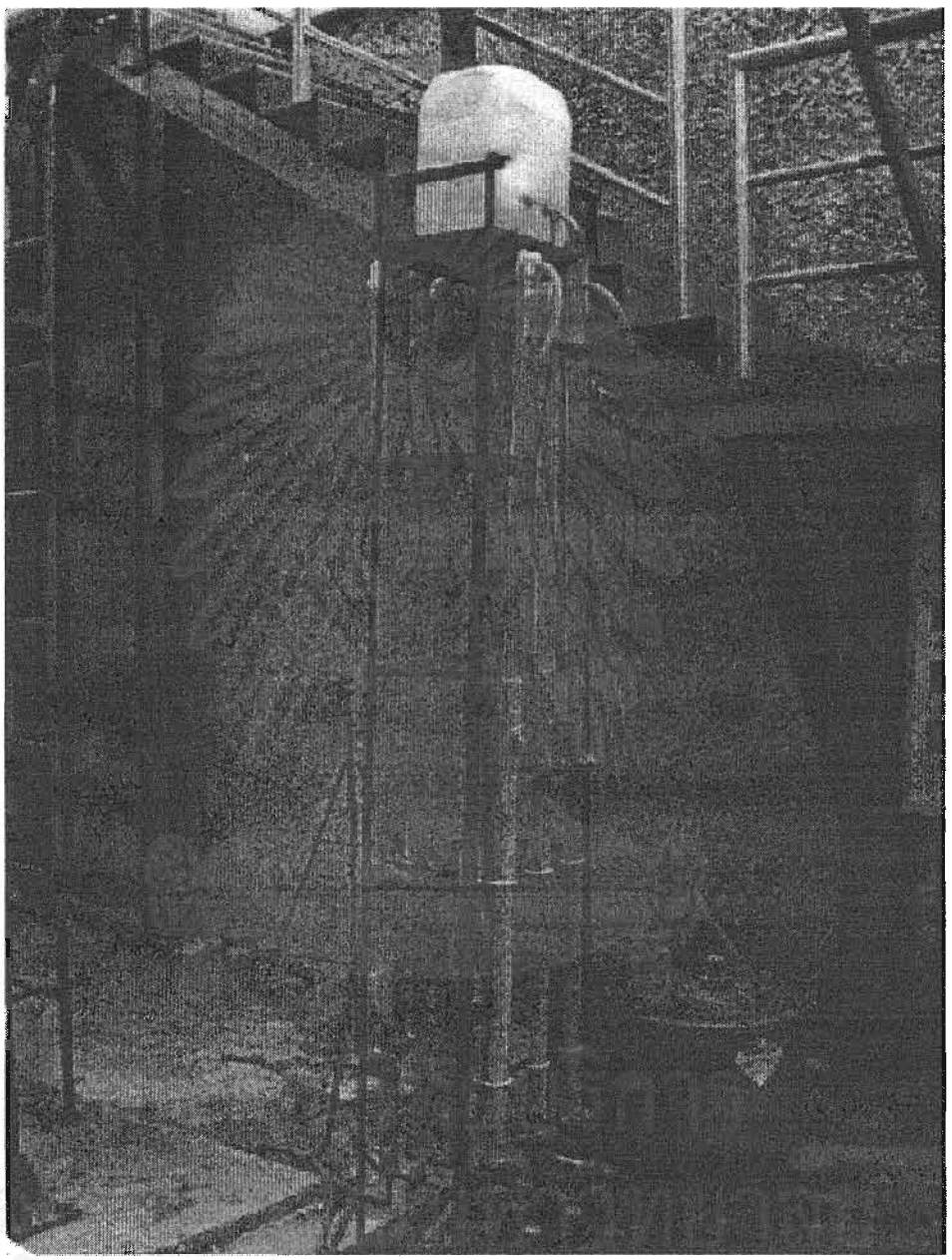
3.2.1.1 นำน้ำเสียจากบ่อปรับสภาพน้ำ (Equalization Tank) มาทำการพักทิ้งไว้ 2-3 วัน เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของสาร แขวนลอยและให้ไขมันแยกออกจากชั้นของน้ำ

3.2.1.2 ไขมันด้านบนตักทิ้ง น้ำเหนือตะกอนสูบเก็บมายังถังที่เตรียมสำหรับการตกตะกอนสารส้ม ตะกอนก้นถังเททิ้ง



รูปที่ 3.2 แบบจำลองการทำงานชุดทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 ชุดทดลอง

3.2.1.3 ตกตะกอนน้ำเสียด้วยสารส้มโดยใช้สารส้ม 200 มก. / ลิตร น้ำเสีย กวนเร็ว 5 นาที กวนช้า 20 นาที ปล่อยให้ตกตะกอนอย่างน้อย 1 ชั่วโมง สูบน้ำเหนือตะกอนสำหรับการกรอง เก็บตัวอย่างน้ำก่อนและหลังการตกตะกอนเคมี

3.2.1.4 กรองน้ำเสียที่อัตราการกรอง 2 และ 4 $m^3/m^2.hr.$ ที่ขนาดสารกรอง 0.42-0.60 มม. และ 1.40-1.70 มม. เก็บตัวอย่างที่ระดับความลึก 0,0.50,100 และ 1.50 เมตร ที่เวลา 1,2,3,4,5 และ 6 ชั่วโมง

3.2.1.5 วิเคราะห์ค่าพีเอช ความขุ่น ซีโอดี และโครเมียมทั้งหมด ของตัวอย่างที่ความลึก 0.50 , 1.00 และ 1.50 เมตร ดังตาราง

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
พีเอช	pH meter
ความขุ่น	HAAC Turbidimeter Model 2000T
ซีโอดี	Closed Reflux Method
โครเมียมทั้งหมด	Atomic Adsorption Spectrophotometer

3.2.1.6 หาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น ซีโอดี และโครเมียมทั้งหมด ที่ระดับความลึก 0.50,1.00 และ 1.50 เมตร ของสารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. และ 1.40-1.60 มม.

3.2.2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ (บริษัท พลาทรัพย์ จำกัด)

3.2.2.1 นำน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบแอกตะกอนเร่งจากบ่อรวบรวมน้ำทิ้งก่อนปล่อย (Effluent Sump) มาทำการกรอง

3.2.2.2 กรองน้ำที่ผ่านการบำบัดที่อัตรากรอง 2, 4 และ 8 $m^3/m^2.hr.$ ที่ขนาดสารกรอง 0.42-0.60 มม, 1.00-1.40 มม. และ 1.40-1.70 มม. เก็บตัวอย่างที่ระดับความลึก 0 , 0.50 , 1.00 และ 1.50 เมตร วันแรกทุก 1 และ 3 ชั่วโมง และวันต่อไปทุก 24 ชั่วโมง

3.2.2.3 ทำการกรองจนกว่าการกำจัดมีค่าเป็นศูนย์

3.2.2.4 วิเคราะห์ค่าพีเอช ความขุ่น ซีโอดี และโครเมียมทั้งหมดของตัวอย่างที่ระดับความลึก 0 , 0.50,1.00 และ 1.50 เมตร ดังตาราง

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
พีเอช	pH meter
ความขุ่น	HAAC Turbidimeter Model 2000T
ซีโอดี	Closed Reflux Method
โครเมียมทั้งหมด	Atomic Adsorption Spectrophotometer

3.2.2.5 หาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น ซีโอดี และโครเมียมทั้งหมด ที่ระดับความลึก 0.5, 1.00 และ 1.50 เมตร ของสารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มม. และ 1.40-1.70 มม.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการหาลักษณะทางกายภาพของเศษหินแกรนิต

จากการนำเศษหินแกรนิตที่ขนาดแตกต่างกันมาทดสอบลักษณะทางกายภาพด้วยเครื่อง BET (Brunauer Emmett Teller) ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางภายภาพของเศษหินแกรนิต

ขนาดเศษหินแกรนิต (มม.)	ลักษณะทางกายภาพ	
	พื้นที่ผิว Surface Area (ตร.ม./ก.)	ปริมาตรความพรุน Pore Volume (ลบ.ซม./ก.)
0.42-0.60	7.9040	0.008626
1.00-1.40	4.8639	0.005608
1.40-1.70	5.6337	0.007064

4.2 การบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง

จากการทดลองโดยการวัดค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ความเป็นกรดด่างความขุ่น ซีโอดี และโครเมียมทั้งหมดของน้ำก่อนทำการกรองและหลังทำการกรอง ผลของการวัด (ตารางที่ 4.2) เป็น 7.5-8.1, 50-297 เอ็นทียู, 196-313.6 มก./ล, และ 0.214-0.648 มก./ล ตามลำดับ สำหรับน้ำก่อนทำการกรอง และ 7.8-8.3, 24-101 เอ็นทียู, 33.6-352.8 มก./ล, และ 0.086-0.401 มก./ล สำหรับน้ำหลังการกรอง

ตารางที่ 4.2 คุณภาพน้ำก่อนทำการกรองและหลังทำการกรอง

พารามิเตอร์	หน่วย	ก่อนการกรอง	หลังการกรอง
1. ความเป็นกรดด่าง	-	7.5-8.1	7.8-8.3
2. ความขุ่น	เอ็นทียู (NTU)	50-297	24-101
3. ซีโอดี	มก/ล.	196-313.6	33.6-352.8
4. โครเมียมทั้งหมด	มก./ล.	0.214-0.648	0.086-0.401

4.2.1 ผลของประสิทธิภาพการบำบัดเมื่อสารกรองต่างกัน

ทำการบรรจุเศษหินแกรนิตที่ระดับความลึก 150 ซม. ใช้เวลาในการเดินระบบ 6 ชั่วโมง วิเคราะห์หาประสิทธิภาพการบำบัด โดยพิจารณาค่าพีเอช ความขุ่น ซีโอดีและโครเมียมทั้งหมดดังข้อมูลในภาคผนวก ก

4.2.1.1 ประสิทธิภาพการบำบัดที่มีต่อความเป็นกรดด่าง

ผลของค่าความเป็นกรดด่างของน้ำเข้าและน้ำออกของการกรอง พบว่าค่าความเป็นกรดด่างของน้ำเข้าระบบอยู่ในช่วง 8.0-8.1 น้ำที่กรองแล้วความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 7.9-8.0

4.2.1.2 ประสิทธิภาพการบำบัดที่มีต่อการกำจัดความขุ่น

ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของสารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. ร้อยละ 35.85-48.70 ส่วนสารกรองขนาด 1.40-1.70 มม. ร้อยละ 34.06

4.2.1.3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของสารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. ร้อยละ 12.00-39.53 และสารกรองขนาด 1.40-1.70 ร้อยละ 39.53

4.2.1.4 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม

ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมของสารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. ร้อยละ 66.20-80.09 และสารกรองขนาด 1.40-1.70 ร้อยละ 52.69

จากผลการทดลองสามารถสรุปถึงความสามารถในการบำบัด เมื่อขนาดสารกรองต่างกัน ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดเมื่อขนาดของสารกรองต่างกัน

ขนาดสารกรอง (มม).	ประสิทธิภาพการกำจัด(ร้อยละ)		
	ความขุ่น	ซีโอดี	โครเมียมทั้งหมด
0.42-0.60	35.85-48.70	12.00-39.53	66.20-80.09
1.40-1.70	34.06	39.53	52.69

4.2.2 ผลของประสิทธิภาพการบำบัดเมื่ออัตรากรองต่างกัน

ทำการบรรจุเศษหินแกรนิตที่ระดับความลึก 150 ซม. ของสารกรองขนาด 1.40-1.70 มม. ใช้เวลาในการเดินระบบ 6 ชั่วโมง วิเคราะห์หาประสิทธิภาพการบำบัด โดยพิจารณาจากค่าพีเอช ความขุ่น ซีโอดี และโครเมียมทั้งหมด ดังข้อมูลในภาคผนวก ก

4.2.2.1 ประสิทธิภาพการบำบัดที่มีต่อความเป็นกรดด่าง

ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำเข้าระบบอยู่ในช่วง 7.5-8.0 น้ำที่กรองแล้วความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 7.9-8.3

4.2.2.2 ประสิทธิภาพการบำบัดที่มีต่อการกำจัดความขุ่น

การกำจัดความขุ่นของสารกรองขนาดเท่ากัน แต่อัตรากรองต่างกัน พบว่า อัตรากรอง 2 ลบ.ม/ตร.ม.ชม. และอัตรากรอง 4 ลบ.ม/ตร.ม.ชมกำจัดความขุ่นได้ร้อยละ 34.06. และร้อยละ 22.64 ตามลำดับ

4.2.2.3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

การกำจัดซีโอดีของสารกรองขนาดเท่ากัน แต่อัตรากรองต่างกัน พบว่า อัตรากรอง 2 ลบ.ม/ตร.ม.ชม. และอัตรากรอง 4 ลบ.ม/ตร.ม.ชม. กำจัดซีโอดีร้อยละ 34.06 และร้อยละ 12.82 ตามลำดับ

4.2.2.4 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม

ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม ที่อัตรากรอง 2 ลบ.ม/ตร.ม.ชม. และอัตรากรอง4 ลบ.ม/ตร.ม ชม. กำจัดโครเมียมได้ร้อยละ 52.69 และร้อยละ 42.18 ตามลำดับ

จากผลการทดลองสามารถสรุปถึงความสามารถในการบำบัดเมื่ออัตรากรองต่างกัน ได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดเมื่ออัตรากรองต่างกัน

อัตรากรอง (ลบ.ม./ตร.ม./ชม.)	ประสิทธิภาพการกำจัด(ร้อยละ)		
	ความขุ่น	ซีโอดี	โครเมียมทั้งหมด
2	34.06	34.06	52.69
4	22.64	12.82	42.18

4.2.3 ผลของประสิทธิภาพการบำบัดของสารกรองเมื่อความลึกของชั้นกรองต่างกัน

ผลของความลึกที่มีต่อความเป็นกรดด่าง การกำจัดความขุ่น การกำจัดซีโอดีและการกำจัดโครเมียมทั้งหมด

4.2.3.1 ผลของความลึกที่มีต่อความเป็นกรดด่าง

ผลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรดด่างของน้ำเข้าและน้ำออกพบว่าน้ำเข้าระบบมีความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 7.5-8.1 ความเป็นกรดด่างของน้ำออกจากระบบตามความลึกเป็นดังนี้

1) ความลึก 0.50 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. และ 1.40-1.70 มม.ความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 8-8.1แล 8 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 1.40-1.70 มม. ความเป็นกรดด่าง เท่ากับ 8.1

2) ความลึก 1.00 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. และ 1.40-1.70 มม.ความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 7.9-8 และ 7.9 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 1.40-1.70 มม.ความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7.9

3) ความลึก 1.50 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. และ 1.40-1.70 มม.ความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 7.9-8 และ 8.1 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 1.40-1.70 มม. ความเป็นกรดด่างเท่ากับ 8.3

4.2.3.2 ผลของความลึกที่มีต่อการกำจัดความขุ่น

1) ความลึก 0.50 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. และ 1.40-1.70 มม. การกำจัดความขุ่นอยู่ในช่วง 33.39-85.19 และ 34.06 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 1.40-1.70 มม. การกำจัดความขุ่นเท่ากับ 15.09

2) ความลึก 1.00 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. และ 1.40-1.70 มม. การกำจัดความขุ่นอยู่ในช่วง 37.74-85.86 และ 34.06 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 1.40-1.70 มม. การกำจัดความขุ่น เท่ากับ 15.09

3) ความลึก 1.50 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. และ 1.40-1.70 มม. การกำจัดความขุ่นอยู่ในช่วง 35.85-86.87 และ 36.06 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 1.40-1.70 มม. การกำจัดความขุ่นเท่ากับ 22.64

4.2.3.3 ผลของความลึกที่มีต่อการกำจัดซีโอดี

1) ความลึก 0.50 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. และ 1.40-1.70 มม. การกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วง 0-15.38 และ 41.86 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 1.40-1.70 มม. การกำจัดซีโอดีเท่ากับ 5.13

2) ความลึก 1.00 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. และ 1.40-1.70 มม. การกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วง 18.00-41.86 และ 41.86 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 1.40-1.70 มม. การกำจัดซีโอดี เท่ากับ 12.82

3) ความลึก 1.50 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. และ 1.40-1.70 มม. การกำจัดซีโอดี อยู่ในช่วง 12.00-39.53 และ 399.53 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 1.40-1.70 มม. การกำจัดซีโอดี เท่ากับ 12.82

4.2.3.4 ผลของความลึกที่มีต่อการกำจัดโครเมียมทั้งหมด

1) ความลึก 0.50 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. และ 1.40-1.70 มม. การกำจัดโครเมียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 48.60-76.85 และ 26.88 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 1.40-1.70 มม. การกำจัดโครเมียมทั้งหมดเท่ากับ 12.01

2) ความลึก 1.00 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. และ 1.40-1.70 มม. การกำจัดโครเมียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 60.06-80.25 และ 50.00 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 1.40-1.70 มม. การกำจัดโครเมียมทั้งหมด เท่ากับ 35.47

3) ความลึก 1.50 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. และ 1.40-1.70 มม. การกำจัดโครเมียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 66.20-80.09 และ 52.69 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 1.40-1.70 มม.การกำจัดโครเมียมทั้งหมด เท่ากับ 42.18

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นถึงปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการกรองจะเห็นได้ว่าเมื่อเทียบระหว่างขนาดสารกรอง อัตรากรอง และความลึกของชั้นกรอง สำหรับการกรองน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงนี้ทุกปัจจัยมีผล จะเห็นได้ชัดในสารกรองขนาดเล็กมากกว่าสารกรองขนาดใหญ่ แต่เมื่อเทียบแต่ละปัจจัยจะเห็นความแตกต่างกันไม่มากนัก

นอกจากนี้ในการทดลองยังพบว่า การกรองด้วยสารกรองขนาดเล็กสำหรับน้ำเสียที่มาทำการทดลองมีอัตราการกรองที่มากสุดเพียง 2 ลบ.ม./ตร.ม.ชม. ถ้าอัตรากรองสูงกว่านี้จะทำให้เกิดการอุดตันเร็วกว่า 6 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.5 ผลของความลึกที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น ซีโอดี และโครเมียม

ขนาดสารกรอง (มม.)	อัตรากรอง ลบ.ม./ตร.ม.ชม.	ความลึกชั้นกรอง (ม.)	ความเป็นกรดด่าง	ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)		
				ความขุ่น	ซีโอดี	โครเมียมทั้งหมด
0.42-0.60	2	0.50	8-8.1	33.93-85.19	0-15.38	48.60-76.85
		1.00	7.9-8	37.74-85.86	18.00-41.86	60.06-80.25
		1.50	7.9-8	35.85-86.87	12.00-39.53	66.20-80.09
1.40-1.70	2	0.50	8	34.06	41.86	26.88
		1.00	7.9	34.06	41.86	50.00
		1.50	8.1	34.06	39.53	52.69
	4	0.5	8.1	15.09	5.13	12.01
		1.00	7.9	22.64	12.82	35.47
		1.50	8.3	22.64	12.82	42.18

อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของสารกรองทั้งสองขนาด และที่ความลึกต่างๆ พบว่าสารกรองขนาดเล็กเป็นขนาดที่เหมาะสม ที่อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตร.ม.ชม. ความลึก ที่จะนำไปใช้อาจไม่แตกต่างกันระหว่างความลึก 1.00 ม. และ 1.50 ม.

4.3 การกรองน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ

เมื่อนำน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดมาทำการกรองโดยศึกษาการกรองของสารกรอง 3 ขนาด คือ 0.42-0.60 มม. 1.00-1.40 มม. และ 1.40-1.70 มม. ที่อัตรากรอง 2 ลบม./ตร.ม. ชม. อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตร.ม. ชม. และอัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตร.ม. ชม.(ภาคผนวก ข) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำก่อนและหลังการกรอง ผลการวัดค่าของน้ำเข้าระบบของความเป็นกรดด่าง ความขุ่น ซีโอดี และโครเมียมทั้งหมด อยู่ในช่วง 8.01-8.62, 8.81-34.7 เอ็นทียู, 56.58-162.7 มก./ล และ 0.028-0.272 มก./ล ตามลำดับ คุณภาพน้ำหลังการกรองอยู่ในช่วง 8.05-8.58, 1.59-25 เอ็นทียู, 25.2-141.6 มก./ล และ 0-0.114 มก./ล (ตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.6 ลักษณะน้ำเสียที่นำมาทำการกรองและหลังการกรอง

พารามิเตอร์	หน่วย	ก่อนการกรอง	หลังการกรอง
1. ความเป็นกรดด่าง	-	8.01-8.62	8.05-8.58
2. ความขุ่น	เอ็นทียู	8.81-34.7	1.59-25
3. ซีโอดี	มก./ล	56.58-162.7	25.2-141.6
4. โครเมียมทั้งหมด	มก./ล	0.028-0.272	0-0.114

4.3.1 อายุการกรอง

การทดลองการกรองน้ำที่ผ่านการบำบัดแบบตะกอนเร่ง เพื่อหาอายุการกรองประสิทธิภาพการบำบัด เมื่อขนาดสารกรองและอัตรากรองต่างกันพบว่าสารกรองขนาด0.42-0.60 มม. มีอายุการกรองที่นานกว่า เมื่ออัตรากรองต่ำ และอายุการกรองลดลง เมื่ออัตราการกรองสูงขึ้น สำหรับสารกรองขนาด1.00-1.40 มม.และ1.40-1.70 มม. มีอายุการกรองไม่แตกต่างกัน เมื่ออัตรากรองเพิ่มขึ้น อายุการกรองแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 อายุการกรองน้ำที่อัตรากรองและสารกรองต่างกัน

ขนาดสารกรอง (mm)	อัตรากรอง (m/hr)	อายุการกรอง (ชั่วโมง)
0.42-0.60	2	48
	4	24
	8	24
1.00-1.40	2	48
	4	48
	8	48
1.40-1.70	2	48
	4	48
	8	48

การพิจารณาอายุของการกรอง ดูจากความสามารถในการกำจัดความขุ่น ซีโอดี และโครเมียมแม้ในการเก็บตัวอย่างจะพบว่าบางกรณียังไม่เกิดการอุดตันของชั้นกรอง แต่ประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงก็จะพิจารณาว่าเป็นจุดยุติการทดลอง(Break through) ดังเช่นการกรองน้ำที่อัตราการกรอง 2 ม./ชม. เครื่องกรองน้ำสามารถทำงานได้ แต่ประสิทธิภาพการกำจัดเป็นศูนย์ จึงยุติการทดลอง และบางกรณี จุดยุติการทดลองและประสิทธิภาพการทำงานก็ลดลงเช่นกัน สำหรับอัตราการกรอง 4 และ 8 ม./ชม.

หลังจากสิ้นสุดการทดลอง พบว่า สำหรับการกรองน้ำทิ้งของระบบบำบัดนี้ ไม่สามารถทำการล้างย้อนทำความสะอาดสารกรองได้ เนื่องจาก ลักษณะของตะกอนเป็นฟล็อคของกระบวนการโคแอกูเลชั่นของระบบบำบัด จึงทำให้ชั้นของตะกอนมีความเหนียว และติดอยู่ด้านบน 2-3 นิ้ว และปิดกั้นการไหลของน้ำ ทำให้ต้องเปลี่ยนสารกรองเมื่อต้องทำการทดลองต่อไป ดังนั้นในการนำไปใช้กับระบบบำบัดจริง จึงควรให้อายุของการกรองไม่เกิน 48 ชั่วโมง จึงน่าจะเป็นค่าที่เหมาะสมของระบบบำบัดนี้

4.3.2 ผลของขนาดสารกรองต่อประสิทธิภาพการบำบัด

ประสิทธิภาพการบำบัดของสารกรองขนาดต่าง ๆ ที่ระยะเวลา 1, 3, 24 และ 48 ชั่วโมง ของอัตรากรองโดยเลือกเฉพาะที่ความลึก 1.5 เมตร ผลแสดงดังตารางที่ 4.8

4.3.2.1 ผลของขนาดสารกรองที่มีต่อความเป็นกรดด่าง

ผลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรดด่างของน้ำเข้าและน้ำออกพบว่าน้ำเข้าระบบมีความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 8.0-8.5 ความเป็นกรดด่างของน้ำออกจากระบบตามขนาดสารกรองเป็นดังนี้

1) สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม.

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม.ชม. อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. และอัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม. ความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 8.3-8.5, 8.35-8.46 และ 8.05-8.54 ตามลำดับ

2) สารกรองขนาด 1.0-1.40 มม

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม. อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. และ. อัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม. ความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 8.2-8.5, 8.17-8.48 และ 8.28-8.58 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการบำบัดเมื่อขนาดสารกรองแตกต่างกันที่อัตรากรองต่างๆ

ขนาดสารกรอง (มม)	อัตรากรอง (ม./ชม.)	ความเป็นกรดด่าง	ประสิทธิภาพการกำจัด(ร้อยละ)		
			ความขุ่น	ซีโอดี	โครเมียมทั้งหมด
0.42-0.60	2	8.3-8.5	76-87.88	4.00-40.00	72.32-1.00
	4	8.35-8.46	68.53-86.31	0-16.31	67.06-88.87
	8	8.05-8.54	58.80-80.00	0-40.00	79.49-82.30
1.00-1.40	2	8.2-8.5	72-84.85	33.33-36.00	77.95-93.43
	4	8.2-8.5	68.32-86.05	30.00-44.44	53.35-87.21
	8	8.17-8.48	58.91-68.57	30.00-24.68	50.37-78.06
1.40-1.70	2	8.3-8.5	55.56-78.13	4.0-29.39	64.29-81.11
	4	8.23-8.48	59.63-81.16	0-49.79	53.35-82.25
	8	8.32-8.58	67.71-70.66	30.00-44.44	50.37-78.16

3) สารกรองขนาด 1.40-1.70 มม.

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม. อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. และ. อัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม. ความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 8.3-8.5, 8.23-8.48 และ 8.32-8.58 ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2.2 ผลของขนาดสารกรองที่มีต่อการกำจัดความขุ่น

1) สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม.

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม. อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. และ. อัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม. การกำจัดความขุ่นอยู่ในช่วง 76-87.88, 68.53-86.31 และ 58.80-80.00 ตามลำดับ

2) สารกรองขนาด 1.00-1.40 มม.

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม. อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม.และ. อัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม. การกำจัดความขุ่นอยู่ในช่วง 72-84.85, 68.32-86.05 และ 58.91-68.57 ตามลำดับ

3) สารกรองขนาด 1.40-1.70 มม.

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม. อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. และ อัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม. การกำจัดความขุ่นอยู่ในช่วง 55.56-78.13, 59.63-81.16 และ 67.71-70.66 ตามลำดับ

4.3.2.3 ผลของขนาดสารกรองที่มีต่อการกำจัดซีโอดี

1) สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม. อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. และ อัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม. การกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วง 4.00-40.00, 0-16.31 และ 0-40.00 ตามลำดับ

2) สารกรองขนาด 1.00-1.40 มม.

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม. อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. และ อัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม.ชม. การกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วง 33.33-36.00, 30.00-44.68 และ 30.00-44.44 ตามลำดับ

3) สารกรองขนาด 1.40-1.70 มม.

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม. อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. และ อัตรากรอง 8ลบ.ม./ตรม.ชม. การกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วง 4.00-29.39, 0-49.79 และ 30.00-44.44 ตามลำดับ

4.3.2.4 ผลของขนาดสารกรองที่มีต่อการกำจัดโครเมียมทั้งหมด

1) สารกรองขนาด0.42-0.60 มม.

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม. อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. และอัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม. การกำจัดโครเมียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 72.32-100, 67.06-88.87 และ 79.49-82.30 ตามลำดับ

2) สารกรองขนาด 1.00-1.40 มม.

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม. อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. และอัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม. การกำจัดโครเมียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 77.95-93.43, 53.35-87.21 และ50.37-78.06 ตามลำดับ

3) สารกรองขนาด 1.40-1.70 มม.

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม. อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. และอัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตร.ม.ชม. การกำจัดโครเมียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 64.29-81.11, 53.35-82.25 และ 50.37-78.16 ตามลำดับ

จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น และโครเมียมทั้งหมด ลักษณะแนวโน้มของการกำจัดลดลงเมื่อขนาดของสารกรองเพิ่มขึ้นในแต่ละอัตรากรอง อธิบายได้โดยการที่สารกรองขนาดเล็กย่อมมีพื้นผิวสัมผัสกับน้ำเสียมากกว่าสารกรองขนาดใหญ่ ส่วนการกำจัดซีโอดี ไม่เป็นไปตามลักษณะดังกล่าว อาจเนื่องด้วยค่าซีโอดีของน้ำเสียที่มาจากฟอกหนังบางตัวซึ่งอยู่ในรูปของสารที่ไม่สามารถกำจัดทางกายภาพโดยการกรองได้ ประสิทธิภาพการกำจัดจึงมีลักษณะแตกต่างกัน ทั้งความเข้มข้นของซีโอดีมีค่าต่ำ การเปลี่ยนแปลงในการกำจัดอาจเห็นไม่ชัดเจน เท่ากับความขุ่นและโครเมียม ในน้ำเสียของโรงฟอกหนังซึ่งส่วนใหญ่ จะอยู่ในรูปสารแขวนลอยซึ่งกำจัดได้ง่ายกว่า สารที่อยู่ในรูปละลายน้ำ

4.3.3 ผลของความลึกที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด

ผลของความลึกที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดเป็นดังตารางที่ 4.9

ตาราง ที่ 4.9 ประสิทธิภาพการบำบัดที่ความลึกต่างๆของแต่ละสารกรองและอัตรากรอง

อัตรากรอง ($m^3/m^2.hr.$)	ขนาดสารกรอง (mm)	ความลึก (m)	ความเป็นกรดด่าง	ประสิทธิภาพการกำจัด(ร้อยละ)		
				ความขุ่น	ซีโอดี	โครเมียมทั้งหมด
2	0.42-0.60	0.50	8.4-8.5	52-72.22	25.39-36.00	51.11-90.18
		1.00	8.4-8.5	66.67-78.13	12.00-26.67	28.89-85.92
		1.50	8.3-8.5	76-87.88	4.00-40.00	72.32-100
	1.00-1.40	0.50	8.3-8.5	22.22-56	33.33-48.00	28.89-67.86
		1.00	8.3-8.5	54.55-62.50	36.00-40.00	48.33-67.80
		1.50	8.2-8.5	72-84.85	33.33-36.00	77.95-93.43
	1.40-1.70	0.50	8.3-8.5	37.50-50.00	26.67-36.00	34.44-56.92
		1.00	8.3-8.5	40.63-60.00	12.00-33.33	26.79-80.36
		1.50	8.3-8.5	55.56-78.13	4.00-29.39	64.29-81.11
4	0.42-0.60	0.50	8.46	66.15	0	83.90
		1.00	8.38-8.44	79.08-84.56	0	65.31-88.78
		1.50	8.44-8.46	68.53-86.31	0-16.31	67.06-88.87
	1.00-1.40	0.50	8.21-8.44	33.36-95.68	0-49.79	65.31-82.06
		1.00	8.28-8.41	52.01-94.75	0-41.42	45.19-98.15
		1.50	8.17-8.44	68.30-93.98	0-24.68	45.19-98.15
	1.40-1.70	0.50	8.27-8.46	0-84.08	0-49.79	62.10-81.13
		1.00	8.3-8.49	9.40-81.41	0-39.79	41.98-80.86
		1.50	8.23-8.48	59.63-81.16	0-49.79	53.35-87.49
8	0.42-0.60	0.50	8.32-8.34	74.53-97.12	40	81.45-81.60
		1.00	8.30-8.34	71.40-87.46	0-40	55.88-80.71
		1.50	8.05-8.34	58.00-85.13	0-40	58.09-82.30
	1.00-1.40	0.50	8.28-8.58	53.23-68.59	50.00-80.00	39.71-76.93
		1.00	8.32-8.57	61.98-78.62	30.00-60.00	48.53-77.40
		1.50	8.32-8.55	68.10-69.45	30.00-44.44	50.37-78.08
	1.40-1.70	0.50	8.32-8.57	61.67-66.09	30.00-44.44	44.49-71.85
		1.00	8.33-8.58	63.45-79.97	22.22-44.44	48.53-76.94
		1.50	8.33-8.48	67.71-78.18	30.00-44.44	50.00-78.16

4.3.3.1 ผลของความลึกที่มีต่อความเป็นกรดด่าง

ผลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรดด่างของน้ำเข้าและน้ำออกพบว่าน้ำเข้าระบบมีความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 8.2-8.5 ความเป็นกรดด่างของน้ำออกจากระบบตามความลึกเป็นดังนี้

1) ความลึก 0.50 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม., 1.00-1.40 มม. และ1.40-1.70 มม.ความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 8.4-8.5, 8.3-8.5 และ 8.3-8.5 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม., 1.00-1.40 มม.และ1.40-1.70 มม. ความเป็นกรดด่าง อยู่ในช่วง 8.6, 8.21-8.44 และ 8.27-8.46 ตามลำดับ

อัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม., 1.00-1.40 มม. และ1.40-1.70 มม. ความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 8.32-8.34, 8.28-8.58 และ 8.32-8.57 ตามลำดับ

2) ความลึก 1.00 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มม. และ1.40-1.70 มม.ความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 8.4-8.5, 8.3-8.5 และ 8.3-8.5 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มม. และ 1.40-1.70 มม.ความเป็นกรดด่างด่างอยู่ในช่วง 8.46, 8.28-8.41 และ 8.38-8.49 ตามลำดับ

อัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มม. และ 1.40-1.70 มม.ความเป็นกรดด่างด่างอยู่ในช่วง 8.30-8.34, 8.32-8.57 และ 8.33-8.58 ตามลำดับ

3) ความลึก 1.50 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มม.และ1.40-1.70 มม.ความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 8.3-8.5, 8.2-8.5 และ 8.3-8.5 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มม. และ1.40-1.70 มม. ความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 8.44-8.46, 8.17-8.44 และ 8.33-8.48 ตามลำดับ

อัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มม. และ1.40-1.70 มม ความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 8.05-8.34, 8.32-8.55 และ 8.33-8.48 ตามลำดับ

4.3.3.2 ผลของความลึกที่มีต่อการกำจัดความขุ่น

1) ความลึก 0.50 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มม.และ1.40-1.70 มม. การกำจัดความขุ่นอยู่ในช่วง 52.00-72.22, 22.22-56.00 และ 37.50-50.00ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มมและ1.40-1.70 มม. การกำจัดความขุ่น อยู่ในช่วง 66.15, 33.36-95.68 และ 0-84.08 ตามลำดับ

อัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มมและ1.40-1.70 มม. การกำจัดความขุ่น อยู่ในช่วง 74.53-97.12, 53.23-68.59 และ 61.67-66.09 ตามลำดับ

2) ความลึก 1.00 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มม.และ1.40-1.70 มม. การกำจัดความขุ่นอยู่ในช่วง 66.67-78.13, 54.55-62.50 และ 40.63-60.00 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มมและ1.40-1.70 มม. การกำจัดความขุ่น อยู่ในช่วง 79.08-84.56, 52.01-94.75 และ 9.40-81.41ตามลำดับ

อัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มมและ1.40-1.70 มม. การกำจัดความขุ่น อยู่ในช่วง 71.40-87.46, 61.98-78.62 และ 63.45-79.97 ตามลำดับ

3) ความลึก 1.50 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มม.และ1.40-1.70 มม. การกำจัดความขุ่นอยู่ในช่วง 76.00-87.88, 72.00.2-8.5 และ 55.56-78.13 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มมและ1.40-1.70 มม. การกำจัดความขุ่น อยู่ในช่วง 68.53-86.31, 68.30-93.98 และ 59.63-81.16ตามลำดับ

อัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มมและ1.40-1.70 มม. การกำจัดความขุ่น อยู่ในช่วง 58.00-85.13, 68.10-69.45 และ 67.71-78.18 ตามลำดับ

4.3.3.3 ผลของความลึกที่มีต่อการกำจัดซีโอดี

1) ความลึก 0.50 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. 1.00-1.40 มม.และ1.40-1.70 มม. การกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วง 25.39-36.00, 33.33-48.00 และ 26.67-36.00 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. 1.00-1.40 มมและ1.40-1.70 มม. การกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วง 0, 0-49.79 และ 0-49.79 ตามลำดับ

อัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. 1.00-1.40 มม.และ1.40-1.70 มม. การกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วง 40, 50.00-80.00 และ 30.00-44.44 ตามลำดับ

2) ความลึก 1.00 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. 1.00-1.40 มม.และ1.40-1.70 มม. การกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วง 12.00-26.67, 36.00-40.00 และ 12.00-33.33 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. 1.00-1.40 มมและ1.40-1.70 มม. การกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วง 0, 0-41.42 และ 0-39.79 ตามลำดับ

อัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. 1.00-1.40 มม.และ1.40-1.70 มม. การกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วง 0-40.00, 30.00-60.00 และ 22.22-44.44 ตามลำดับ

3) ความลึก 1.50 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. 1.00-1.40 มม.และ1.40-1.70 มม. การกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วง 4.00-40.00, 33.33-36.00 และ 4.00-29.39 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. 1.00-1.40 มมและ1.40-1.70 มม. การกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วง 0-16.31, 0-24.68 และ 0-49.79 ตามลำดับ

อัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. 1.00-1.40 มม.และ1.40-1.70 มม. การกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วง 0-40.00, 30.00-44.44 และ 30.00-44.44 ตามลำดับ

4.3.3.4 ผลของความลึกที่มีต่อการกำจัดโครเมียมทั้งหมด

1) ความลึก 0.50 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. 1.00-1.40 มม.และ 1.40-1.70 มม. การกำจัดโครเมียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 51.11-90.18, 28.89-67.86 และ 34.44-56.92 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. 1.00-1.40 มมและ1.40-1.70 มม. การกำจัดโครเมียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 83.90, 63.51-88.78 และ 62.10-81.13 ตามลำดับ

อัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. 1.00-1.40 มม.และ1.40-1.70 มม. การกำจัดโครเมียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 81.45-81.60, 39.71-76.93 และ 44.49-71.85 ตามลำดับ

2) ความลึก 1.00 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม., 1.00-1.40 มม. และ 1.40-1.70 มม. การกำจัดโครเมียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 28.89-85.92, 48.33-67.80 และ 26.79-80.36 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มม. และ 1.40-1.70 มม. การกำจัดโครเมียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 65.31-88.78, 45.19-98.15 และ 41.98-80.86 ตามลำดับ

อัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มม. และ 1.40-1.70 มม. การกำจัดโครเมียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 55.88-80.71, 48.53-77.40 และ 48.53-76.94 ตามลำดับ

3) ความลึก 1.50 เมตร

อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตรม. ชม.สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มม.และ1.40-1.70 มม. การกำจัดโครเมียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 72.32-100, 77.95-93.43 และ 64.29-81.11 ตามลำดับ

อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มม. และ 1.40-1.70 มม.การกำจัดโครเมียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 67.06-88.87, 45.19-98.15 และ 53.35-87.49 ตามลำดับ

อัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตรม. ชม. สารกรองขนาด 0.42-0.60 มม. , 1.00-1.40 มม. และ1.40-1.70 มม.การกำจัดโครเมียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 58.09-82.30, 50.37-78.08 และ 50.00-78.16 ตามลำดับ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า พารามิเตอร์ที่สามารถบอกถึงความสามารถในการกรองของน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำมีค่าซีโอดีไม่แตกต่างกันนัก อาจเนื่องจากค่าซีโอดีของน้ำทิ้งมีค่าต่ำ การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการจึงอาจมีความคลาดเคลื่อน

การกำจัดโครเมียม เกิดขึ้นได้ดีในช่วงความเป็นกรดด่าง 8.5-9.5 ความสามารถในการละลายของโครเมียมต่ำมาก (ดูรูปที่ 2.5 ประกอบ) ทำให้เกิดการตกตะกอนของโครเมียมในน้ำเสียและน้ำทิ้งโดยที่ไม่ต้องมีการเติมสารเคมีเพื่อให้เกิดการตกตะกอนเคมี ดังนั้นการกำจัดโครเมียมที่ปนมากับน้ำเสียจึงสามารถกำจัดโดยกลไกของการกรองได้ นอกจากนี้การรายงานถึงช่วงความเป็นกรดด่างที่สามารถนำไปใช้ อาจอยู่ในช่วงกว้างระหว่าง 7-8 (กรณีของปูนขาว) (Patterson,1978) ซึ่งเป็นข้อดีของการที่จะนำไปประยุกต์ใช้ระบบจริงที่ว่าไม่ต้องมีการใช้สารเคมีเป็นปรับความเป็นกรดด่างของน้ำ

และผลการทดลองแสดงถึงการกำจัดความขุ่น และโครเมียม ของสารกรองขนาดต่างๆแต่ละอัตรากรอง และแต่ละความลึกมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดกว่าการกรองน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง อาจเนื่องมาจากข้อจำกัดของความสามารถในกลไกการกำจัด เมื่อเทียบกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ ทำให้การกรองจึงมักจะนำไปใช้กับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองมากกว่าการนำมาบำบัดก่อนการเข้าการบำบัดขั้นที่สอง

และแม้ว่าการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงจะมีประสิทธิภาพการบำบัดได้ไม่ดีเท่ากับการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองมาแล้ว การบำบัดในขั้นตอนนี้ก้ยังมีประโยชน์ในการลดภาระของความสกปรกของน้ำเสียก่อนที่จะนำไปบำบัดต่อไป ซึ่งตรงกับคำแนะนำของ Jergensen (1979) ที่กล่าวถึงกระบวนการที่จะจัดการกับน้ำเสียจากโรงฟอกหนัง

สำหรับการนำไปใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานโดยเพิ่มพื้นที่หน้าตัดเพื่อให้การกรองสามารถรองรับปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละวันซึ่งจะเป็นผลดีต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดและลดภาระบรรทุกมวลสารที่จะเข้าระบบบำบัด นอกจากนี้การกรองน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดยังช่วยเพิ่มคุณภาพน้ำทิ้งกรณีตะกอนชีวภาพไม่จมตัวเนื่องจากการเดินระบบมีความผิดปกติและน้ำที่ผ่านการกรองในขั้นตอนนี้สามารถนำน้ำกลับไปใช้ประโยชน์ โดยตรง(reuse) สำหรับกิจกรรมต่างๆ หรือใช้สำหรับกระบวนการผลิต (recycle) ที่ไม่ต้องการน้ำที่มีคุณภาพสูงนัก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองนำน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่างกันมาทำการกรอง โดยน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงเป็นน้ำเสียที่นำมาตกตะกอนเคมีก่อนมาทำการกรอง ส่วนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำเป็นน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง โดยศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น ซีโอดี และโครเมียม สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 น้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง

5.1.1.1 เมื่อขนาดสารกรองต่างกัน สารกรองขนาดเล็กจะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น ซีโอดี และโครเมียมได้มากกว่าสารกรองขนาดใหญ่

5.1.1.2 เมื่ออัตราการกรอง ขนาดของสารกรอง และความลึกของชั้นกรองต่างกัน การเปลี่ยนแปลงพีเอชไม่ต่างกัน

5.1.1.3 เมื่ออัตรากรองต่างกัน อัตรากรองต่ำกว่าจะกำจัดความขุ่น ซีโอดี และโครเมียมได้มากกว่าอัตรากรองที่สูง

5.1.1.4 การกรองน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง พบว่า การกรองด้วยสารกรองขนาด 0.42-0.60 มม .ที่อัตราการกรอง 2 ลบม./ตร.ม.ชม. เป็นภาวะที่เหมาะสม

ตารางที่ 5.1 สรุปการกรองน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง

ขนาดสารกรอง (มม.)	อัตรากรอง (ลบ.ม./ตร.ม./ชม.)	คุณภาพน้ำที่ผ่านการกรอง					
		ความเป็นกรดด่าง	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (มก./ล.)	โครเมียมทั้งหมด (มก./ล.)	อายุของการกรอง (ชั่วโมง)	ปริมาตรน้ำที่กรองได้ ลบ.ม./ตร.ม.
0.42-0.60	2	7.8-8.1	24-286	33.60-352.80	0.076-0.276	6	12
1.00-1.40	2	7.8-8.1	39.6-155	9.52-218.4	0.166-0.243	6	12
	4	7.9-8.3	30-50	179.20-257.60	0.168-0.401	6	24
มาตรฐานน้ำทิ้ง		5-9	-	-	0.50	-	-

5.1.2 น้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ

5.1.2.1 เมื่อขนาดสารกรองต่างกัน สารกรองขนาดเล็กจะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและโครเมียมได้มากกว่าสารกรองขนาดใหญ่ ส่วนซีโอดีมีความแตกต่างกันไม่ชัดเจน

5.1.2.2 เมื่ออัตราการกรอง ขนาดของสารกรอง และความลึกของชั้นกรองต่างกัน การเปลี่ยนแปลงพีเอชไม่ต่างกัน

5.1.2.3 เมื่ออัตรากรองต่างกัน อัตรากรองต่ำกว่าจะกำจัดความขุ่นและโครเมียมได้มากกว่าอัตรากรองที่สูง ส่วนซีโอดีมีความแตกต่างกันไม่ชัดเจน

5.1.2.4 การกรองน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง พบว่า การกรองด้วยสารกรองขนาด 0.42-0.60 มม .ที่อัตราการกรอง 2 ลบ.ม./ตร.ม.ชม. เป็นภาวะที่เหมาะสม

ตารางที่ 5.2 สรุปการการกรองน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง

ขนาดสารกรอง (มม.)	อัตรากรอง (ลบ.ม./ตร.ม./ชม.)	คุณภาพน้ำที่ผ่านการกรอง					
		ความเป็นกรดด่าง	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (มก./ล.)	โครเมียมทั้งหมด (มก./ล.)	อายุของการกรอง (ชั่วโมง)	ปริมาตรน้ำที่กรองได้ ลบ.ม./ตร..ม.
0.42-0.60	2	8.3-8.5	4-15	33.95-93.22	ND-0.022	48	96
	4	8.35-8.46	2.04-7.38	94.8-141.6	0.028-0.044	24	96
	8	8.05-8.54	2.05-7.38	75.6-93.6	0.029-0.053	24	192
1.00-1.40	2	8.3-8.5	5-25	33.95-62.14	0.004-0.032	48	96
	4	8.17-8.46	3.09-9.84	71.1-141.6	0.029-0.054	48	192
	8	8.28-8.58	2.81-11.1	25.2-88.2	0.034-0.069	48	384
1.40-1.70	2	8.3-8.5	7-20	33.95-93.22	0.009-0.032	48	96
	4	8.23-8.49	5.08-21.8	71.1-141.6	0.034-0.066	48	192
	8	8.32-8.58	2.59-11.9	52-126	0.034-0.114	48	384
มาตรฐานน้ำทิ้ง		5-9	-	-	0.50	-	-

5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

5.2.1 ควรมีการศึกษาในแง่การแพร่กระจายของอนุภาคของสารแขวนลอยที่เข้ามาในระบบ ซึ่งจะทำให้ทราบมากขึ้นว่ากระบวนการที่เกิดขึ้นสำหรับสารกรองเกิดจากกลไกใด

5.2.2 ควรมีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของการกำจัดความขุ่น ซีโอดี และโครเมียม ที่เกิดจากการกรองในภาวะต่างๆเพื่อใช้ทำนายประสิทธิภาพการกำจัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ . 2535. **การสำรวจน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง**. รายงานการวิจัยโครงการย่อยในโครงการการนำกลับโครเมียมจากน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกหนัง. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มนตรี ประมวลพรสถิตย์ , มนชยา ประเสริฐกิตติกุล, และพรชัย เอื้อโสภณ . 1997 . **การนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่ด้วยกระบวนการกรองตรง**. Thai Environmental Engineering .11 (9 -10) : 17-19 , 40 - 45.

วิชัย ชินบูรพา .2539. **การเปรียบเทียบสมรรถนะของถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลางเป็นหินเศษคอนกรีต และพลาสติก สำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

Baumann, E.R. 1979. **Water Treatment Plant Design** : for The Practicing Engineer (edit by Sanks R.L.) ,Michigan. USA. Ann Arbor Science .

Brener ,A. , Shadalve, .S , Oron, G . and Rebhun, M. 1994. Deep-bed Filtration of SBR Effluent for Agricultural Reuse : Pilot plant Screening of Advanced Secondary and Tertiary Treatment for Domestic Wastewater. **Wat. Sci.Tec.** 30 (9):219-227.

Cheremisinoff, P.N. and Young, A.R. 1976. **Pollution Engineer Practice Handbook.** 2nd ed. Michigan : Ann Arbor Science.

Farooq, S. , Al-Yousef, A.K. , Al-layla , R.I. and Ishaq , A.M. 1994. Tertiary Treatment of Sewage Effluent via Pilot Scale Slow Sand Filtration. **Environmental Technology**. 15 : 15-28.

Jogensen, S.E. 1979. **Industrial Waste Water Management (Studies in Environmental Science vol.5).** Amsterdam : Elsevier Scientific Publishing.

Lester, J. N. 1978. **Heavy Metals in Wastewater and Sludge Treatment Process(Source, Analysis, and Legislation Vol1).** Florida : CRC Press.

Mara, D. 1978. **Sewage Treatment in Hot Climates.** 2nd ed .ndon : John Weley & Son.

Metcalf & Eddy 1991, **Wastewater Engineering.** 3rd ed . Singapore :Mc. Graw-Hill .

Kaminski, I., Vescan, N., and Adin, A. 1997. **Particle Size Distribution and Wastewater Filter Performance** . Wat. Sci. Tec. 36(4) : 217-224.

Kobler, D. and Boller , M. 1997. **Particle removal in different filtration system for tertiary wastewater treatment a comparison** . Wat. Sci. Tech. 29 (9) :121-128.

Patterson, J.W.1978. **Waste Treatment Technology.** 3rd ed. Michigan:Ann Arbor Science.

Qasim, S, R. 1985 . **Wastewater Treatment Plants** (Planning, Design, and Operation). Japan CBS College Publishing.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ . 2542. **วิศวกรรมการประปา เล่ม** 2. พิมพ์ครั้งที่ 3 . กรุงเทพ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย.

สง่า ตั้งชวาล . 2541. **ธรณีวิศวกรรมพื้นฐาน.** พิมพ์ครั้งที่ 4 . กรุงเทพ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

APHA, AWWA and WWPCE. 1989 . **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater.** 17 th Edition. Washington D.C. , Alpha.

AWWA and ASCE .1998. **Water Treatment Plant Design.** 3 rd ed. USA: McGraw-Hill .

Eckenfelder, W.W. Jr. 1989. **Industrial pollution Control.** 2nd ed. Singapore: McGraw-Hill.

Fair, G.M. , Greyer, J.C. and Okun, D.A. 1971. **Water Supply and Wastewater Disposal.** 2nd ed. Singapore : Toppan Printing.

Sell, N. J. 1981. **Industrial Pollution Control , Issue and Techniques.** USA : Litton Education Publishing.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก1 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น ซีโอดี และโครเมียมทั้งหมดของสารกรองขนาด 0.42-0.60 มม.

ที่อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ตร.ม.ชม.

เวลา ชั่วโมง	ความลึก (ม.)	ความเป็นกรดด่าง	การกำจัดความขุ่น			การกำจัดซีโอดี			การกำจัดโครเมียม		
			ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)	ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)	ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)
1	0.50	8.1,8	66.7,50	120,44	79.91,12	240.8,252	162.40,156.80	32.56,37.78	0.353,0.434	0.153,0.276	56.66,36.41
	1.00	8,8	66.7,50	236,34	-253.82,32	240.8,252	128.80,151.20	46.51,40	0.353,0.434	0.163,0.158	53.82,63.59
	1.50	8,8	66.7,50	114,101	-70.91,-102	240.8,252	16.80,156.80	93.02,37.78	0.353,0.434	0.241,0.156	31.73,64.06
2	0.50	-,8	83.9,50	-,25	-,50	218.4,252	-, 184.80	-,26.67	0.372,0.392	-,0.140	-,64.29
	1.00	8,8	83.9,50	148,75	-76.4,-50	218.4,252	240.80, 285.60	-10.26,-13.33	0.372,0.392	0.156,0.128	58.06,67.35
	1.50	8.1,8	83.9,50	286,40	-240.88,20	218.4,252	106.4,168	51.28,33.33	0.372,0.392	0.174,0.127	53.22,67.6
3	0.50	8.3,8	71.1,50, 106	489,27,47	31.22,46	196,313.6, 268.8	123.20,134.40, 264.40	37.14,57.14	0.363,0.382, 0.214	0.076,0.147 ,0.153	79.4,61.52
	1.00	8.1,8.1	71.1,50, 106	149,24,35	-109.56,52	196,313.6, 268.8	145.60,201.60, 352.80	25.71,35.71	0.363,0.382, 0.214	0.188,0.116, 0.064	49.05,69.63
	1.50	8.1,8	71.1,50, 106	212,25,40	-198.17,50	196,313.6, 268.8	151.20,140.00, 179.20	22.86,55.36	0.363,0.382, 0.214	0.178,0.113, 0.086	52.85,70.42
4	0.50	8,8.1	77.7,56.0	37.8,35	51.35,37.5	196,313.6	140.00,190.40	28.57,30.61	0.393,0.384	0.175,0.186	55.47,51.56
	1.00	8,8	77.7,56	36.8,27	52.64,51.78	196,313.6	140.00,196.00	28.57,28.57	0.393,0.384	0.168,0.146	57.25,61.98
	1.50	8,8	77.7,56	34,28	56.24,50	196,313.6	128.80,134.40	34.29,51.02	0.393,0.384	0.161,0.119	59.03,69.01
5	0.50	8,8.1	74.8,60	37,36	50.53,40	207.2,246.4	140.00,190.40	32.43,22.73	0.347,0.348	0.149,0.182	57.06,47.7
	1.00	8,8	74.8,60	37,32	50.53,46.67	207.2,246.4	140.00,33.60	32.43,86.36	0.347,0.348	0.152,0.145	56.2,58.33
	1.50	8,8	74.8,60	35.9,34	52.01,43.33	207.2,246.4	151.20,168.00	27.03,31.82	0.347,0.348	-,0.112	-,67.82
6	0.50	8,8.1,8	73.1,53, 297	39.9,35	45.42,33.93, 85.19	240.8,218.4, 280	224.00,184.00, 280.00	6.98,15.38,0	0.372,0.353, 0.648	0.173,0.184, 0.150	53.49,48.6, 76.85
	1.00	8,7.9,8	73.1,53, 297	37.6,33	48.56,37.74, 85.86	240.8,218.4, 280	140.00,173.00, 229.60	41.86,20.51, 18.00	0.372,0.353, 0.648	0.148,0.143, 0.128	60.21,60.06, 80.25
	1.50	8,7.9,8	73.1,53, 297	37.5,34	48.70,35.85, 86.87	240.8,218.4, 280	145.00,156.80, 246.40	39.53,28.2, 12.00	0.372,0.353, 0.648	-,0.121, 0.129	-,66.2, 80.09

ตารางที่ ก 2 ประสิทธิภาพการกำจัด ความขุ่น ซีโอดี และโครเมียมทั้งหมดของสารกรองขนาด 1.40-1.70 มม.

ที่อัตรากรอง 2 ลบ.ม./ ตร.ม.ชม.

เวลา	ความลึก	ความเป็น	การกำจัดความขุ่น			การกำจัดซีโอดี			การกำจัดโครเมียม		
(ชั่วโมง)	(ม.)	กรดด่าง	ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)	ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)	ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)
1	0.50	8	66.67	48.6	27.14	240.8	207.2	13.95	0.353	0.203	42.49
	1.00	7.8	66.67	41.2	38.23	240.8	9.52	96.05	0.353	0.166	52.97
	1.50	7.8	66.67	90	-34.93	240.8	218.4	9.30	0.353	0.178	49.57
2	0.50	8	83.9	104	-23.96	218.4	179.2	17.95	0.372	0.173	53.49
	1.00	8	83.9	41.5	50.54	218.4	151.2	-15.38	0.372	0.206	44.62
	1.50	7.8	83.9	40	52.32	218.4	128.8	30.77	0.372	0.220	40.86
3	0.50	8.1	71.1	86.5	-21.66	196	128.8	34.29	0.363	0.227	38.48
	1.00	8	71.1	155	-118	196	140	34.29	0.363	0.199	46.07
	1.50	7.9	71.1	46	35.3	196	123.2	28.57	0.363	0.248	32.79
4	0.50	8	77.7	44	43.37	196	117.6	37.14	0.393	0.230	41.48
	1.00	8	77.7	41.9	46.07	196	128.8	40	0.393	0.199	49.36
	1.5	7.9	77.7	41.3	46.85	196	140	34.29	0.393	0.243	38.17
5	0.50	8	74.8	45.6	39.04	207.2	140	32.43	0.347	0.232	33.14
	1.00	7.9	74.8	39.6	47.06	207.2	140	32.43	0.347	0.194	35.45
	1.50	8	74.8	40.3	46.12	207.2	140	32.43	0.347	0.214	38.33
6	0.50	8	73.1	48.2	34.06	240.8	140	41.86	0.372	0.222	26.88
	1.00	7.9	73.1	48.2	34.06	240.8	140	41.86	0.372	0.186	50
	1.50	7.9	73.1	48.2	34.06	240.8	145.6	39.53	0.372	0.176	52.69

ตารางที่ ก 3 ประสิทธิภาพการกำจัด ความขุ่น ซีโอดี และโครเมียมทั้งหมดของสารกรองขนาด 1.40-1.70 มม.
ที่อัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตร.ม.ชม.

เวลา (ชั่วโมง)	ความลึก (ม.)	ความเป็นกรดด่าง	การกำจัดความขุ่น			การกำจัดซีโอดี			การกำจัดโครเมียม		
			ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)	ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)	ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)
1	0.50	8.1	50	40	40	252	240.40	4.44	0.434	0.168	61.29
	1.00	7.9	50	26	26	252	218.40	13.33	0.434	0.210	51.61
	1.50	7.9	50	30	30	252	235.20	6.67	0.434	0.235	45.85
2	0.50	8	50	2	2	252	250.88	0.44	0.392	0.277	19.63
	1.00	8.1	50	28	28	252	196.00	22.22	0.392	0.233	39.53
	1.50	8	50	20	20	252	218.40	13.33	0.392	0.257	41.62
3	0.50	8	50	4	4	313.6	212.80	32.14	0.382	0.370	28.38
	1.00	8	50	24	24	313.6	218.40	30.36	0.382	0.231	37.24
	1.50	8	50	28	28	313.6	212.80	32.14	0.382	0.223	33.33
4	0.50	8.1	56	160.07	16.07	274.4	257.60	6.12	0.384	0.275	28.38
	1.00	8.1	56	14.29	14.29	274.4	207.20	24.49	0.384	0.241	37.24
	1.50	8.1	56	12	12	274.4	207.20	24.49	0.384	0.256	33.33
5	0.50	8.1	60	23.33	23.33	246.4	201.60	18.18	0.348	0.284	18.39
	1.00	8.1	60	30	30	246.4	179.20	27.27	0.348	0.246	29.31
	1.50	8.1	60	30	30	246.4	184.80	25.00	0.348	0.259	25.57
6	0.50	8.1	53	15.09	15.09	218.4	207.20	5.13	0.358	0.401	-12.01
	1.00	8.1	53	22.64	22.64	218.4	190.40	12.82	0.358	0.231	35.47
	1.50	8.3	53	22.64	22.64	218.4	190.40	12.82	0.358	0.207	42.18

ภาคผนวก ข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข1 การทดลองกรองน้ำที่ผ่านระบบด้วยอัตราการกรอง 2 ลบ.ม./ตร.ม.ชม.

ขนาดสารกรอง S (0.42-0.60 mm) , M (1.00-1.40 mm) , L (1.40-1.70 mm)

* ความเข้มข้น 4 เท่าของของความเข้มข้นจริง

เวลา (ชั่วโมง)	ความลึก (เมตร)	ความเป็นกรดด่าง	การกำจัดความขุ่น			การกำจัดซีโอดี			การกำจัดโครเมียม		
			ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)	ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)	ก่อนกรอง*	หลังกรอง*	(ร้อยละ)
1	S0.5	8.4	33	15	54.55	56.58	39.95	29.39	0.180	0.088	51.11
	S1.0	8.3	33	11	66.67	56.58	41.49	26.67	0.180	0.031	82.78
	S1.5	8.3	33	4	87.88	56.58	33.95	40.00	0.180	0.022	87.78
	M0.5	8.3	33	25	24.24	56.58	37.72	33.33	0.180	0.128	28.89
	M1.0	8.3	33	15	54.55	56.58	33.95	40.00	0.180	0.093	48.33
	M1.5	8.2	33	5	84.85	56.58	37.72	33.33	0.180	0.030	83.33
	L0.5	8.4	33	18	45.45	56.58	41.49	26.67	0.180	0.118	39.44
	L1.0	8.4	33	16	51.52	56.58	37.72	33.33	0.180	0.073	59.44
	L1.5	8.4	33	8	75.76	56.58	39.95	29.39	0.180	0.034	81.11
3	S0.5	8.4	32	14	56.25	56.58	39.95	29.39	0.213	0.083	61.03
	S1.0	8.4	32	7	78.13	56.58	41.49	26.67	0.213	0.030	85.92
	S1.5	8.5	32	5	84.38	56.58	33.95	40.00	0.213	0	100.00
	M0.5	8.4	32	20	37.50	56.58	37.72	33.33	0.213	0.125	41.31
	M1.0	8.4	32	12	62.50	56.58	33.95	40.00	0.213	0.071	66.67
	M1.5	8.4	32	5	84.38	56.58	37.72	33.33	0.213	0.014	93.43
	L0.5	8.3	32	20	37.50	56.58	41.49	26.67	0.213	0.0127	40.38
	L1.0	8.3	32	19	40.63	56.58	37.72	33.33	0.213	0.064	69.95
	L1.5	8.3	32	7	78.13	56.58	39.95	29.39	0.213	0.047	77.93

ตารางที่ ข1 (ต่อ) การทดลองกรองน้ำที่ผ่านระบบด้วยอัตราการกรอง 2 ลบ.ม./ตร.ม.ชม.

ขนาดสารกรอง S (0.42-0.60 mm), M (1.00-1.40 mm), L (1.40-1.70 mm)

* ความเข้มข้น 4 เท่าของของความเข้มข้นจริง

เวลา (ชั่วโมง)	ความลึก (เมตร)	ความเป็นกรดด่าง	การกำจัดความขุ่น			การกำจัดซีโอดี			การกำจัดโครเมียม		
			ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)	ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)	ก่อนกรอง*	หลังกรอง*	(ร้อยละ)
24	S0.5	8.5	25	12	52	97.1	62.14	36.00	0.195	0.087	55.38
	S1.0	8.5	25	8	68	97.1	85.45	12.00	0.195	0.062	68.21
	S1.5	8.5	25	6	76	97.1	93.22	4.00	0.195	0.039	80.00
	M0.5	8.5	25	14	44	97.1	50.49	48.00	0.195	0.098	49.74
	M1.0	8.5	25	11	56	97.1	62.14	36.00	0.195	0.070	64.10
	M1.5	8.5	25	7	72	97.1	62.14	36.00	0.195	0.043	77.95
	L0.5	8.5	25	14	44	97.1	69.90	28.01	0.195	0.084	56.92
	L1.0	8.5	25	10	60	97.1	85.45	12.00	0.195	0.067	65.64
	L1.5	8.5	25	8	68	97.1	93.22	4.00	0.195	0.037	81.03
48	S0.5	8.5	18	5	72.22	72	60	16.67	0.112	0.011	90.18
	S1.0	8.5	18	6	66.67	72	100	-38.89	0.112	0.023	79.46
	S1.5	8.5	18	4	77.78	72	92	-27.78	0.112	0.031	72.32
	M0.5	8.5	18	14	22.22	72	72	0.00	0.112	0.123	-9.82
	M1.0	8.5	18	8	55.56	72	72	0.00	0.112	0.036	67.86
	M1.5	8.5	18	5	72.22	72	72	0.00	0.112	0.022	80.36
	L0.5	8.5	18	9	50.00	72	72	0.00	0.112	0.070	37.50
	L1.0	8.5	18	8	55.56	72	72	0.00	0.112	0.082	26.79
	L1.5	8.5	18	8	55.56	72	72	11.11	0.112	0.040	64.29

ตารางที่ ข 2 การทดลองกรองน้ำที่ผ่านระบบบำบัดด้วยอัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตร.ม. ชม.

ขนาดสารกรอง S (0.42-0.60 mm), M (1.00-1.40 mm), L (1.40-1.70 mm)

* ความเข้มข้น 4 เท่าของความเข้มข้นจริง

เวลา (ชั่วโมง)	ความลึก (m)	ความเป็นกรดด่าง	การกำจัดความขุ่น			การกำจัดซีโอดี			การกำจัดโครเมียม		
			ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)	ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)	ก่อนกรอง*	หลังกรอง*	(ร้อยละ)
1	S0.5	8.46	21.8	7.38	66.15	94.8	94.8	0	1.087	0.175	83.90
	S1.0	8.38	21.8	4.56	79.08	94.8	94.8	0	1.087	0.122	88.78
	S1.5	8.35	21.8	6.86	68.53	94.8	94.8	0	1.087	0.121	88.87
	M0.5	8.46	21.8	7.87	63.90	94.8	94.8	0	1.087	0.195	82.06
	M1.0	8.41	21.8	6.91	68.30	94.8	94.8	0	1.087	0.116	89.33
	M1.5	8.17	21.8	6.91	68.30	94.8	94.8	0	1.087	0.139	87.21
	L0.5	8.27	21.8	21.8	0	94.8	94.8	0	1.087	0.263	75.80
	L1.0	8.44	21.8	14.8	32.11	94.8	94.8	0	1.087	0.208	80.86
	L1.5	8.38	21.8	8.8	59.63	94.8	94.8	0	1.087	0.136	87.49
3	S0.5	-	14.9	-	-	141.6	-	-	0.343	-	-
	S1.0	8.44	14.9	2.3	84.56	141.6	141.6	0	0.343	0.119	65.31
	S1.5	8.44	14.9	2.04	86.31	141.6	118.5	16.31	0.343	0.113	67.06
	M0.5	8.44	14.9	9.84	33.96	141.6	71.1	49.79	0.343	0.119	65.31
	M1.0	8.44	14.9	7.15	52.01	141.6	82.95	41.42	0.343	0.118	45.19
	M1.5	8.44	14.9	4.72	68.32	141.6	106.65	24.68	0.343	0.160	53.35
	L0.5	8.46	14.9	11.4	23.49	141.6	71.1	49.79	0.343	0.130	62.10
	L1.0	8.49	14.9	13.5	9.40	141.6	71.1	49.79	0.343	0.199	41.98
	L1.5	8.48	14.9	5.26	64.70	141.6	71.1	49.79	0.343	0.160	53.35

ตารางที่ ข 2 (ต่อ) การทดลองกรองน้ำที่ผ่านระบบบำบัดด้วยอัตรากรอง 4 ลบ.ม./ตร.ม. ชม.

ขนาดสารกรอง S (0.42-0.60 mm), M (1.00-1.40 mm), L (1.40-1.70 mm)

* ความเข้มข้น 4 เท่าของความเข้มข้นจริง

เวลา (ชั่วโมง)	ความลึก (m)	ความเป็นกรดด่าง	การกำจัดความขุ่น			การกำจัดซีโอดี			การกำจัดโครเมียม		
			ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)	ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)	ก่อนกรอง*	หลังกรอง*	(ร้อยละ)
24	S0.5	-	31.9	-	-	162.7	-	-	0.800	-	-
	S1.0	-	31.9	-	-	162.7	-	-	0.800	-	-
	S1.5	-	31.9	-	-	162.7	-	-	0.800	-	-
	M0.5	8.21	31.9	8.24	74.17	162.7	141.6	12.97	0.800	0.214	73.25
	M1.0	8.28	31.9	6.95	78.21	162.7	141.6	12.97	0.800	0.148	98.15
	M1.5	8.24	31.9	4.45	86.05	162.7	141.6	12.97	0.800	0.114	82.00
	L0.5	8.27	31.9	5.08	84.08	162.7	141.6	12.97	0.800	0.151	81.13
	L1.0	8.30	31.9	5.93	81.41	162.7	141.6	12.97	0.800	0.157	80.38
	L1.5	8.23	31.9	6.01	81.16	162.7	141.6	12.97	0.800	0.142	82.25
48	M0.5	8.34	71.6	3.09	95.68	141.6	141.6	0	0.117	0.162	-38.46
	M1.0	8.37	71.6	3.76	94.75	141.6	94.8	33.05	0.117	0.180	-53.85
	M1.5	8.35	71.6	4.31	93.98	141.6	94.8	33.05	0.117	1.725	-1374.36
	L1.5	8.37	71.6	1.59	97.78	141.6	141.6	0	0.117	0.119	-1.71

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข 3 การกรองน้ำที่ผ่านระบบบำบัดด้วยอัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตร.ม. ชม.

ขนาดสารกรอง S (0.42-0.60 mm), M (1.00-1.40 mm), L (1.40-1.70 mm)

* ความเข้มข้น 4 เท่าของความเข้มข้นจริง

เวลา (ชั่วโมง)	ความลึก (m)	ความเป็นกรดด่าง	การกำจัดความขุ่น			การกำจัดซีโอดี			การกำจัดโครเมียม		
			ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)	ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)	ก่อนกรอง*	หลังหรอง*	(ร้อยละ)
1	S0.5	8.34	25.8	6.57	74.53	126	75.6	40.00	1.062	0.197	81.45
	S1.0	8.38	25.8	7.38	71.40	126	75.6	40.00	1.062	0.213	79.94
	S1.5	8.35	25.8	6.09	76.40	126	75.6	40.00	1.062	0.188	82.30
	M0.5	8.28	25.8	11.1	56.98	126	25.2	80.00	1.062	0.245	76.93
	M1.0	8.32	25.8	9.4	63.57	126	50.4	60.00	1.062	0.240	77.40
	M1.5	8.32	25.8	8.11	68.57	126	88.2	30.00	1.062	0.233	78.06
	L0.5	8.33	25.8	9.89	61.67	126	126	0.00	1.062	0.299	71.85
	L1.0	8.34	25.8	8.75	66.09	126	75.6	40.00	1.062	0.256	75.89
	L1.5	8.35	25.8	8.33	67.71	126	75.6	40.00	1.062	0.251	76.37
3	S0.5	8.32	34.7	4.17	97.12	126	75.6	40.00	0.902	0.166	81.60
	S1.0	8.30	34.7	4.35	87.46	126	75.6	40.00	0.902	0.174	80.71
	S1.5	8.33	34.7	5.16	85.13	126	75.6	40.00	0.902	0.185	79.49
	M0.5	8.33	34.7	10.9	68.59	126	63	50.00	0.902	0.277	69.29
	M1.0	8.34	34.7	7.42	78.62	126	88.2	30.00	0.902	0.237	73.73
	M1.5	8.32	34.7	10.6	69.45	126	63	40.00	0.902	0.224	75.17
	L0.5	8.32	34.7	11.9	65.71	126	88.2	30.00	0.902	0.454	49.67
	L1.0	8.33	34.7	6.95	79.97	126	63	50.00	0.902	0.208	76.94
	L1.5	8.33	34.7	7.57	78.18	126	88.2	30.00	0.902	0.197	78.16

ตารางที่ ข 3 (ต่อ) การทดลองกรองน้ำที่ผ่านระบบบำบัดด้วยอัตรากรอง 8 ลบ.ม./ตร.ม. ชม.

ขนาดสารกรอง S (0.42-0.60 mm), M (1.00-1.40 mm), L (1.40-1.70 mm)

* ความเข้มข้น 4 เท่าของความเข้มข้นจริง

เวลา (ชั่วโมง)	ความลึก (m)	ความเป็นกรดด่าง	การกำจัดความขุ่น			การกำจัดซีโอดี			การกำจัดโครเมียม		
			ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)	ก่อนกรอง	หลังกรอง	(ร้อยละ)	ก่อนกรอง*	หลังกรอง*	(ร้อยละ)
24	S0.5	-	8.81	-	-	93.6	-	-	0.272	-	-
	S1.0	8.54	8.81	2.05	76.73	93.6	93.6	0	0.272	0.120	55.88
	S1.5	8.05	8.81	3.63	58.80	93.6	93.6	0	0.272	0.114	58.09
	M0.5	8.58	8.81	4.12	53.23	93.6	20.8	77.78	0.272	0.164	39.71
	M1.0	8.57	8.81	3.35	61.98	93.6	62.4	33.33	0.272	0.140	48.53
	M1.5	8.55	8.81	2.81	68.10	93.6	52	44.44	0.272	0.135	50.37
	L0.5	8.57	8.81	3.22	63.45	93.6	52	44.44	0.272	0.151	44.49
	L1.0	8.58	8.81	3.22	63.45	93.6	72	22.22	0.272	0.140	48.53
	L1.5	8.48	8.81	2.59	70.60	93.6	52	44.44	0.272	0.136	50.00
48	M1.5	8.32	40.8	1.74	95.74	93.6	93.6	0	1.05	0.104	90.12

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสมรศรี กันภัย เกิดเมื่อวันที่ 18 มีนาคม พ.ศ. 2514 ที่จังหวัดสมุทรสาคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรในปีการศึกษา 2537 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สหสาขาวิทยาศาสตรสภาวะแวดล้อม เมื่อ พ.ศ. 2540

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย