การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติออกจากน้ำ
โดยใช้กระบวนการนาโนฟิลเตรชัน

นาย ปฏิรูป ผลจันทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0321-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

12 ต.ค. 2546

I20602928

REMOVAL OF NATURAL ORGANIC MATTERS IN WATER BY THE NANOFILTRATION PROCESS

Mr. Patiroop Pholchan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkom University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-0321-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติออกจากน้ำโดยใช้กระบวนการนาโนฟิลเตรชัน
โดย	นาย ปฏิรูป ผลจันทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระ เกรอต)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

ปฏิรูป ผลจันทร์ : การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติออกจากน้ำโดยใช้กระบวนการนาโนฟิลเตรชัน. (REMOVAL OF NATURAL ORGANIC MATTERS IN WATER BY THE NANOFILTRATION PROCESS) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 178 หน้า. ISBN 974-03-0321-8.

สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter หรือ NOM) เป็นสารอินทรีย์ที่พบอยู่โดยทั่วไปในแหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อน ตลอดจนสารอินทรีย์อันตรายต่าง ๆ เช่น ไตรฮาโลมีเทน ในน้ำประปาที่ผลิตได้

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาถึงการทำงานของกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน (NF) ในการกำจัด NOM โดยพิจารณาถึงผลของปัจจัยต่าง ๆ คือ ชนิดของเมมเบรน ความดัน ความเร็วสัมผัสผิวหน้าเมมเบรน (Crossflow Velocity) พีเอช ความเข้มข้นของโบรไมด์ การดำเนินระบบระยะยาว และการบำบัดขั้นต้นที่ต่างกัน ต่อการทำงานของกระบวนการ NF โดยใช้น้ำดิบจากคลองประปาบริเวณจุดรับน้ำของโรงกรองน้ำสามเสน และน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมมเบรนทั้งสามชนิดที่ใช้ คือ ES-10 NTR-729HF และNTR-7410 มีค่าฟลักซ์ และประสิทธิภาพในการกำจัด NOM ที่เพิ่มขึ้นตามความดัน แต่ยกเว้นสำหรับเมมเบรนชนิด NTR-7410 ในการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสนที่จะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อความดันมากกว่า 2 bar ค่าความเร็วสัมผัสผิวหน้าเมมเบรนที่มากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของเมมเบรนทั้งสามชนิดมีค่าสูงขึ้น แต่จะไม่มีผลต่อค่าฟลักซ์ และจากการศึกษาถึงผลของค่าพีเอช ทำให้พบว่ากลไกสำคัญที่ใช้ในการกำจัด NOM โดย NF เมมเบรน คือกลไกการกรองติดผิวเมมเบรน ความเข้มข้นของโบรไมด์ในช่วงที่ทำการศึกษาไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด NOM และค่าฟลักซ์ของเมมเบรน ในการศึกษาถึงการดำเนินระบบระยะยาวพบว่า การลดลงของค่าฟลักซ์ตามเวลาที่ใช้ไม่สามารถเห็นได้อย่างชัดเจนเนื่องจากค่าความดันที่ใช้มีค่าต่ำ และการดำเนินระบบโดยใช้เมมเบรนชนิด NTR-729HF กับน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดยใช้กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน (MF) จะมีค่าฟลักซ์ที่สูงกว่าการดำเนินระบบกับน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย Cartridge Filter แต่จะมีประสิทธิภาพในการกำจัด NOM ที่ต่ำกว่า

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนิสิต .....ปฏิรูป ผลจันทร์.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

4170393321 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: NOM / NANOFILTRATION / MEMBRANE / CROSSFLOW FILTRATION

PATIROOP PHOLCHAN : REMOVAL OF NATURAL ORGANIC MATTERS IN WATER BY THE NANOFILTRATION PROCESS. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. CHAVALIT RATANATAMSKUL, Ph.D., 178 pp. ISBN 974-03-0321-8.

Natural Organic Matter (NOM) is a organic substance found generally in water that used in water supply production process. It plays an important role in producing some contaminants and many hazardous substances such as trihalomethane in water supply.

The purposes of this research was to study in performance of nanofiltration (NF) process for NOM removal, by considering in the influence of membrane type, pressure, crossflow velocity, pH, bromide concentration, long time operation and different pre-treatment on NF performance.The experiment was conducted by using raw water in canal at the intake of Sam-Sane filtration plant and water from Vachiralongkorn Dam as a feed water.

The results shown that flux and removal efficiency of all 3 types of membrane used (ES-10,NTR-729HF,NTR-7410) were increased with increasing in pressure. Excepted for operating membrane type NTR-7410 with canal's water that removal efficiency was decreased when pressure was more than 2 bar. Increasing in crossflow velocity made all types of membranes have more removal efficiency but had no effect on flux. Studying of influence of pH on NF performance found that important mechanism for NOM removal is seiving. Range of bromide concentration used had no effect on NF performance. Flux decreasing with time cannot seen obviously because low pressure used. Pre-treatment by microfiltration made NTR-729HF has higher flux but lower NOM removal efficiency than pre-treatment by cartridge filter.

Department Environmental Engineering Student's signature Patiroop Pholchan

Field of study Environmental Engineering Advisor's signature Chavalit Ratanatamskul

Academic year 2001

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำแนะนำ และความรู้ต่าง ๆ ตลอดจนช่วยตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ และถูกต้อง นอกจากนี้ยังอนุญาตให้ผู้เขียนสามารถแสดงความคิดเห็นและซักถามได้อย่างเต็มที่ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผู้เขียนกล้าคิด และกล้าปฏิบัติอย่างเต็มที่ในการทำการวิจัย

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มูลนิธิชิน โสภณพนิช ทบวงมหาวิทยาลัย สำหรับการพิจารณาให้เงินทุนที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่พิจารณาให้ทุนพัฒนาอาจารย์ สาขาขาดแคลน ทำให้ผู้เขียนมีแรงบันดาลใจมากขึ้น ในการพยายามทำงานวิจัยที่มีคุณภาพอย่างเต็มความสามารถ

และหากปราศจากครอบครัวที่รักของผู้เขียนแล้ว ก็คงไม่มีแรงผลักดัน กำลังใจ ตลอดจนสิ่งดี ๆ ในชีวิต ให้สามารถทำงานใด ๆ ให้สำเร็จด้วยดีได้ ซึ่งรวมถึงงานวิจัยชิ้นนี้ ดังนั้นผู้เขียนจึงขอมอบคุณความดีทั้งหมดของงานวิจัยชิ้นนี้ให้กับ แม่ เตี่ย และพี่ชายทั้งสอง ของผู้เขียน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร 4

2.1 NOM 4

2.1.1 เหตุที่ต้องกำจัด NOM ออกจากน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปา 5

2.1.2 ลักษณะสมบัติของสารฮิวมิก 6

2.1.3 พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวแทนในการวัดปริมาณ NOM 9

2.1.4 กระบวนการที่ใช้ในการกำจัด NOM 10

2.2 กระบวนการเมมเบรน 14

2.3 กระบวนการ NF 16

2.3.1 ประวัติความเป็นมาของกระบวนการ NF 16

2.3.2 ลักษณะสมบัติของ NF เมมเบรน 17

2.3.3 ฟลักซ์และการต้านทานต่อการอุดตันของ NF เมมเบรน 19

2.3.4 โมดูลชนิดต่าง ๆ ของระบบ NF 19

2.3.5 กลไกในการทำงานของกระบวนการ NF 22

2.3.6 โมเดลสำหรับการเคลื่อนที่ของน้ำ และสารละลายผ่าน NF เมมเบรน 24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.7 NF เมมเบรนบางชนิดที่มีขายในท้องตลาด 28
2.3.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของกระบวนการ NF 29
2.4 งานวิจัยที่ผ่านมา 41

บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย 44
3.1 แผนการทดลอง 44
3.1.1 ตัวแปรคงที่ 45
3.1.2 ตัวแปรอิสระ 45
3.1.3 ตัวแปรตาม 46
3.2 การเตรียมน้ำ Influent 46
3.3 การเตรียมสารล้างเมมเบรน 48
3.4 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 48
3.5 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ทั้งหมด และรูปแบบการดำเนินระบบที่ใช้ในการทดลอง 59
3.6 ขั้นตอนการทดลอง 59
3.7 พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวแทนของปริมาณ NOM 61
3.8 การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ 62
3.9 เหตุผลของการเลือกใช้ค่าปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองและตารางการทดลอง 63
3.10 วิธีที่ใช้ และจุดเก็บตัวอย่างน้ำในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ 68

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง 71
4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำดิบที่ใช้ในงานวิจัย 71
4.1.1 น้ำดิบจากคลองประปาสามเสน 71
4.1.2 น้ำดิบจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ 71
4.2 ผลของค่าความดันที่ใช้ 75
4.2.1 ผลของค่าความดันต่อค่าฟลักซ์ 75
4.2.2 ผลของค่าความดันต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่า UV260 80
4.2.3 ผลของค่าความดันต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่า TOC 85

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ผลของค่า Crossflow Velocity ---- 87
4.3.1 ผลของค่า Crossflow Velocity ต่อประสิทธิภาพ
การกำจัดค่า UV260 ---- 87
4.3.2 ผลของค่า Crossflow Velocity ต่อประสิทธิภาพ
การกำจัดค่า TOC ---- 93
4.3.3 ผลของค่า Crossflow Velocity ต่อค่าฟลักซ์ ---- 93
4.4 ผลของค่าพีเอช ---- 93
4.4.1 ผลของค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่า UV260 ---- 93
4.4.2 ผลของค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่า TOC ---- 100
4.4.3 ผลของค่าพีเอชต่อค่าฟลักซ์ ---- 100
4.5 ผลของค่าความเข้มข้นของโบรไมด์ ---- 103
4.5.1 ผลของค่าความเข้มข้นของโบรไมด์ต่อประสิทธิภาพ
การกำจัดค่า UV260 ---- 103
4.5.2 ผลของค่าความเข้มข้นของโบรไมด์ต่อประสิทธิภาพ
การกำจัดค่า TOC ---- 103
4.5.3 ผลของความเข้มข้นโบรไมด์ต่อประสิทธิภาพ
การกำจัดโบรไมด์ ---- 107
4.5.4 ผลของความเข้มข้นโบรไมด์ต่อค่าฟลักซ์ ---- 111
4.6 อัตราส่วนค่า $UV_{,}260$ ต่อ TOC ---- 111
4.7 ผลของชนิด NF เมมเบรนที่ใช้ ---- 116
4.8 ผลของการดำเนินระบบระยะยาวกับน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น
ที่แตกต่างกัน ---- 118
4.8.1 ผลต่อค่าพีเอช ---- 118
4.8.2 ผลต่อค่าฟลักซ์และ%กำจัดค่า UV260 ---- 118
4.8.3 เปรียบเทียบผลของการบำบัดขั้นต้นที่แตกต่างกัน
ต่อสมรรถนะของเมมเบรน ---- 121
4.9 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของ
น้ำ Permeate และน้ำ Influent ---- 125

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยที่จะทำต่อไป ---------- 128

5.1 สรุปผลการทดลอง ---------- 128

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยที่จะทำต่อไป ---------- 131

รายการอ้างอิง ---------- 133

ภาคผนวก ---------- 138

ภาคผนวก ก. ข้อมูลดิบของผลการทดลอง ---------- 139

ภาคผนวก ข. แสดงการหาค่า K_s ---------- 171

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ ---------- 178

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 2.1 น้ำหนักโมเลกุลของกรดฮิวมิก ---------- 8
ตารางที่ 2.2 สรุปผลการกำจัดสารที่ทำให้เกิด THMs โดยใช้โอโซน ---------- 11
ตารางที่ 2.3 สรุปข้อดีและข้อเสียของการกำจัด NOMโดยกระบวนการต่าง ๆ ---------- 12
ตารางที่ 2.4 สรุปผลจากงานวิจัยโดยใช้กระบวนการ 3 ชนิดในการกำจัด NOM---------- 13
ตารางที่ 2.5 ข้อมูลทั่วไปของกระบวนการเมมเบรนแบบต่าง ๆ ---------- 15
ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของกระบวนการเมมเบรนแบบต่าง ๆ สำหรับการบำบัดน้ำเสีย ---------- 15
ตารางที่ 2.7 NF เมมเบรนบางชนิดที่มีใช้ในขณะนี้ ---------- 30
ตารางที่ 3.1 ลักษณะสมบัติของ NF เมมเบรนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ---------- 51
ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของค่าความดัน
ที่ใช้ในการดำเนินระบบ ---------- 66
ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของ Crossflow Velocity ที่ใช้ ---------- 66
ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของค่าพีเอช ---------- 66
ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของโบรไมด์---------- 67
ตารางที่ 3.6 ตารางแสดงการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของการดำเนินระบบระยะยาว
และการบำบัดน้ำดิบขั้นต้นที่แตกต่างกัน----------68
ตารางที่ 3.7 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ ----------68
ตารางที่ 3.8 จุดเก็บตัวอย่างน้ำในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ ---------- 69
ตารางที่ 4.1 คุณภาพน้ำดิบคลองประปาบริเวณหน้าโรงกรองน้ำสามเสน
ตลอดปี 2543 ---------- 72
ตารางที่ 4.2 คุณภาพน้ำดิบเขื่อนวชิราลงกรณ์ ที่ระดับ 3 เมตร ---------- 73
ตารางที่ 4.3 คุณภาพของน้ำดิบที่ใช้ในงานวิจัย ---------- 75
ตารางที่ 4.4 สมการของแบบจำลองการละลาย-การแพร่ ที่แสดงความ
สัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์และความดันที่ใช้---------- 79
ตารางที่ 4.5 ลักษณะสมบัติของน้ำ Influent ที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นที่แตกต่างกัน ---------- 122
ตารางที่ 4.6 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำ
Permeate และน้ำInfluent ---------- 126

สารบัญรูป

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 2.1 กระบวนการแยกและวิเคราะห์ส่วนประกอบของ NOM 7

รูปที่ 2.2 แผนผังโครงสร้างของกรดฮิวมิก 8

รูปที่ 2.3 ความสามารถในการแยกของ NF เมมเบรน 17

รูปที่ 2.4 รูปแสดงภาคตัดขวางของ Composite NF เมมเบรน ชนิดหนึ่ง 18

รูปที่ 2.5 ช่วงค่า MWCO ของ NF เมมเบรนชนิดต่าง ๆ 18

รูปที่ 2.6 Plate and Frame Module 20

รูปที่ 2.7 Spiral Wound Module 21

รูปที่ 2.8 Hollow Fiber Module 21

รูปที่ 2.9 ออสโมซิส (ก) และ ออสโมซิสย้อนกลับ (ข) 23

รูปที่ 2.10 Concentration Poralization ที่เกิดขึ้นในระบบ NF 31

รูปที่ 2.11 ฟลักซ์กับแรงดันที่ใช้สำหรับ NF เมมเบรน (NF 70) 32

รูปที่ 2.12 ผลของแรงดันต่อค่าฟลักซ์สำหรับเมมเบรนชนิด DS5 33

รูปที่ 2.13 ผลของแรงดันที่ใช้และความเข้มข้นของสารละลายที่เข้าสู่ระบบ
กับ %การกำจัด โดย NF เมมเบรน 33

รูปที่ 2.14 ผลของอุณหภูมิต่อค่าฟลักซ์ 34

รูปที่ 2.15 ผลของพีเอชกับ%การกำจัดของกรดอะมิโนโดย NF เมมเบรน 35

รูปที่ 2.16 พฤติกรรมของกรดอะมิโนที่จุดใต้หรือสูงกว่า Isoelectric Point 35

รูปที่ 2.17 ผลของพีเอชต่อการลดลงของค่าฟลักซ์สำหรับเมมเบรนชนิด NF40
ในการบำบัดส่วนผสมของสารอินทรีย์อันตราย 36

รูปที่ 2.18 ผลของสารอื่น ๆ ในน้ำต่อ %การกำจัดโดย NF เมมเบรน 37

รูปที่ 2.19 ผลของสารแขวนลอยต่อค่าฟลักซ์ในการกำจัดกรดฮิวมิก 37

รูปที่ 2.20 การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์กับเวลาในการดำเนินระบบของ NF เมมเบรน 38

รูปที่ 2.21 การเปลี่ยนแปลงของค่า K_w กับเวลาในการดำเนินระบบ 39

รูปที่ 2.22 รูปแสดงการกรองตามปกติ (ซ้าย) และ Crossflow Filtration (ขวา) 39

รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินการวิจัย 44

รูปที่ 3.2 แผ่นกรองใยแก้วแบบหยาบ 47

รูปที่ 3.3 แผ่นกรองใยแก้วแบบละเอียด 47

รูปที่ 3.4 Cartridge Filter ขนาดรูพรุน 1 μm 49

รูปที่ 3.5 ชุดเครื่องมือที่ใช้บำบัดน้ำดิบขั้นต้น 49

รูปที่ 3.6 Cartridge Filter ขนาดรูพรุน 5 μm 50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 3.7 กระบวนการ SMF ที่ใช้ในการบำบัดขั้นต้น 50

รูปที่ 3.8 เครื่องสูบน้ำแบบ Booster pump 52

รูปที่ 3.9 มาตรวัดความดันแบบมีน้ำมัน 52

รูปที่ 3.10 เมมเบรนชนิด ES-10 53

รูปที่ 3.11 เมมเบรนชนิด NTR-729HF 54

รูปที่ 3.12 เมมเบรนชนิด NTR-7410 55

รูปที่ 3.13 รูปถ่ายด้านหน้าของโมดูลของเมมเบรน 56

รูปที่ 3.14 รูปถ่ายด้านข้างของโมดูลของเมมเบรน 56

รูปที่ 3.15 รูปแสดงส่วนประกอบของโมดูลของเมมเบรน 57

รูปที่ 3.16 รูปโมดูลที่บรรจุเมมเบรนและอุปกรณ์ทั้งหมดในโมดูลแล้ว 57

รูปที่ 3.17 วาล์วเข็ม (Needle Valve) 58

รูปที่ 3.18 ชุดวาล์วสำหรับวัดค่าอัตราไหลของน้ำ Influent ผ่านโมดูล 58

รูปที่ 3.19 แผนผังการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ทั้งหมดในงานวิจัย 60

รูปที่ 3.20 การติดตั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์ทั้งหมด 60

รูปที่ 3.21 รูปแสดงการวัดค่าฟลักซ์ของน้ำ Permeate 61

รูปที่ 4.1 พารามิเตอร์แสดงคุณภาพน้ำคลองประปาสามเสนบาง
พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการกำจัด NOM โดย NF เมมเบรน 74

รูปที่ 4.2 พารามิเตอร์แสดงคุณภาพน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์บาง
พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการกำจัด NOM โดย NF เมมเบรน 74

รูปที่ 4.3 ค่าการดูดกลืนแสง UV ในช่วงความยาวคลื่น 200-400 nm. 76

รูปที่ 4.4 ผลของความดันต่อค่าฟลักซ์ในการดำเนินระบบกับน้ำจาก
คลองประปาสามเสน 77

รูปที่ 4.5 ผลของความดันต่อค่าฟลักซ์ในการดำเนินระบบกับน้ำจาก
เขื่อนวชิราลงกรณ์ 78

รูปที่ 4.6 ผลของความดันต่อ%กำจัดค่า UV260 ของเมมเบรนทั้งสามชนิด 81

รูปที่ 4.7 ผลของความดันต่อ%กำจัดค่าความนำไฟฟ้าของเมมเบรนทั้งสามชนิด 82

รูปที่ 4.8 ผลของความดันต่อ%กำจัดค่า TOC ของเมมเบรนทั้งสามชนิด 86

รูปที่ 4.9 ผลของCrossflow Velocityต่อ%กำจัดค่า UV260
ของเมมเบรนทั้งสามชนิด 88

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.10 ผลของCrossflow Velocityต่อ%กำจัดค่าความนำไฟฟ้า ของเมมเบรนทั้งสามชนิด ---- 89

รูปที่ 4.11 การสะสมตัวของ NOM ที่ผิวของเมมเบรนชนิด NTR-7410 ในการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสน ที่ค่า Crossflow Velocity 0.05 m/s ---- 91

รูปที่ 4.12 การสะสมตัวของ NOM ที่ผิวของเมมเบรนชนิด NTR-7410 ในการดำเนินระบบกับน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ ที่ค่า Crossflow Velocity 0.05 m/s ---- 92

รูปที่ 4.13 ผลของCrossflow Velocityต่อ%กำจัดค่า TOC ของเมมเบรนทั้งสามชนิด ---- 94

รูปที่ 4.14 ผลของCrossflow Velocityต่อ%กำจัดค่าฟลักซ์ ของเมมเบรนทั้งสามชนิด ---- 95

รูปที่ 4.15 ผลของค่าพีเอชต่อ%กำจัดค่า UV260 ของเมมเบรนทั้งสามชนิด ---- 96

รูปที่ 4.16 ผลของค่าพีเอชต่อ%กำจัดค่าความนำไฟฟ้าของเมมเบรนทั้งสามชนิด ---- 98

รูปที่ 4.17 ผลของค่าพีเอชต่อ%กำจัดค่า TOC ของเมมเบรนทั้งสามชนิด ---- 101

รูปที่ 4.18 ผลของค่าพีเอชต่อค่าฟลักซ์ของเมมเบรนทั้งสามชนิด ---- 102

รูปที่ 4.19 ผลของความเข้มข้น Br^- ต่อ%กำจัดค่า UV260 ของเมมเบรนทั้งสามชนิด ---- 104

รูปที่ 4.20 ผลของความเข้มข้น Br^- ต่อ%กำจัดค่าความนำไฟฟ้า ของเมมเบรนทั้งสามชนิด ---- 105

รูปที่ 4.21 ผลของความเข้มข้น Br^- ต่อ%กำจัดค่า TOC ของเมมเบรนทั้งสามชนิด ---- 106

รูปที่ 4.22 ผลของความเข้มข้น Br^- ต่อ%กำจัดอิออนลบบางชนิดและBr^- (น้ำคลองประปาสามเสน) ---- 108

รูปที่ 4.23 ผลของความเข้มข้น Br^- ต่อ%กำจัดอิออนลบบางชนิดและBr^- (น้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์) ---- 109

รูปที่ 4.24 ผลของความเข้มข้น Br^- ต่อ%กำจัดค่าฟลักซ์ ของเมมเบรนทั้งสามชนิด ---- 112

รูปที่ 4.25 อัตราส่วน$UV_{,}260$:TOC ของการดำเนินระบบกับน้ำ จากคลองประปาสามเสน ---- 113

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.26 อัตราส่วนUV,260:TOC ของการดำเนินระบบกับน้ำ
จากเขื่อนวชิราลงกรณ์ 114

รูปที่ 4.27 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของเมมเบรนทั้งสามชนิด 117

รูปที่ 4.28 ค่าพีเอชของInfluent และPermeate ในการดำเนินระบบ 24 ชม.
ของน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นแบบต่าง ๆ 119

รูปที่ 4.29 การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์ และ%กำจัดค่า UV260 ต่อเวลา
ในการดำเนินระบบ 24 ชม. ของน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นแบบต่าง ๆ 120

รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบค่าฟลักซ์ในการดำเนินระบบ 24 ชม.สำหรับ
การบำบัดขั้นต้นที่แตกต่างกัน 123

รูปที่ 4.31 เปรียบเทียบ%กำจัดค่า UV260 ในการดำเนินระบบ 24 ชม.สำหรับ
การบำบัดขั้นต้นที่แตกต่างกัน 123

รูปที่ 4.32 เปรียบเทียบ%กำจัดค่าความนำไฟฟ้าในการดำเนินระบบ 24 ชม.
สำหรับการบำบัดขั้นต้นที่แตกต่างกัน 124

รูปที่ 4.33 เปรียบเทียบ%กำจัดค่า TOC ในการดำเนินระบบ 24 ชม.สำหรับ
การบำบัดขั้นต้นที่แตกต่างกัน 124