248927
ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
248927

SUT7-715-52-12-73

รายงานการวิจัย

# การประยุกต์ใช้กระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองสำหรับการนำน้ำทิ้งชุมชนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่

## (กรณีศึกษา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี)

# Application of Membrane Filtration Processes in Water Recycle

## (Case study: Suranaree University of Technology)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

b00253391

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
248927

# รายงานการวิจัย

# การประยุกต์ใช้กระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองสำหรับการนำน้ำทิ้งชุมชนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ (กรณีศึกษา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี)

# Application of Membrane Filtration Processes in Water Recycle (Case study: Suranaree University of Technology)

**คณะผู้วิจัย**

**หัวหน้าโครงการ**

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร**

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**ผู้ร่วมวิจัย**

นางสาวสุกุลยา ทับอุไร

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

**ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2552**

**ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว**

มกราคม 2555

# กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนเงินทุนอุดหนุนงานวิจัยประจำปีงบประมาณ 2552 เรื่อง การประยุกต์ใช้กระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองสำหรับการนำน้ำทิ้งชุมชนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ (กรณีศึกษา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ให้การช่วยเหลือและสนับสนุนงานวิจัยทุกท่านที่มิได้กล่าวไว้ในที่นี้

บุญชัย วิจิตรเสถียร

27 มกราคม 2555

# บทคัดย่อ

248927

ปัญหาหลักของการนำน้ำผิวดินมาใช้เพื่อผลิตน้ำประปาเกิดจากการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter: NOM) ในปริมาณที่สูง อีกทั้งสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิด กลิ่น รสชาติ การกัดกร่อน และการเจริญเติบโตขึ้นใหม่ของแบคทีเรียในระบบจ่ายน้ำ รวมทั้งสามารถก่อให้เกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection By Products: DBPs) ด้วยคลอรีน โดยคลอรีนอิสระจะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ธรรมชาติในขั้นตอนการผลิตน้ำประปา ดังนั้นการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ในน้ำจึงมีความสำคัญต่อการเกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรค เช่น ไตรฮาโลมีเทน (THMs) และฮาโลอะซิตริกเอซิต (HAAs) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง อีกทั้งยังเป็นข้อกำหนดสำหรับมาตรฐานน้ำดื่มและน้ำประปา

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสภาวะการเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันในน้ำผิวดินและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยน้ำผิวดินและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียจะถูกนำมาผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้น (Pretreatment) ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและกรองผ่านคาร์ทริด 100 ไมครอน ก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันขนาด MWCO 20,000 ดาร์ดัน โดยแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 80 และ 100 $L/m^2.h$ ตามลำดับ เมื่อได้เพอมิเอทฟลักซ์ที่เหมาะสมจะนำมาแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ และสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท 25:75 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) สูงสุด โดยน้ำผิวดินจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) คิดเป็นร้อยละ 67 64 27 และ 23 ตามลำดับ ในขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียคิดเป็นร้อยละ 32 67 17 และ 16 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันมีสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) สูงกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะสามารถส่งผลต่อการเกิดไตรฮาโลมีเทนได้มากกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลิตร

**คำสำคัญ:** อัลตราฟิลเตรชัน; สารอินทรีย์ธรรมชาติ; สารอินทรีย์ละลายน้ำ; สารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรค

**Abstract**

248927

One of the major problems of using surface water as source for water supply is the high content of natural organic matter (NOM). NOM can cause odor can influence the taste and can increase corrosion and biofilm growth in distribution network. NOM could be a source for the formation of disinfections by products (DBPs) when water disinfected by chlorine. The presence of free chlorine content that is used as a disinfectant in conventional water supply treatment system is found to react with residual NOM. Thus removal of NOM is important since they act as the precursors to disinfection by products (DBPs) such as trihalomethanes (THMs) and haloacetic acids (HAAs) have been recently recognized to be human carcinogens which in turn have recently received attention in drinking water and water supply regulations.

The Objectives in study are efficiency removal natural organic matter and operating condition of ultrafiltration membrane in water surface and wastewater treatment in Suranaree University of Technology. The water surface and wastewater treatment come to pretreatment with coagulation process and cartridge 100 micron before fed to ultrafiltration membrane MWCO 20,000 Da. The influencing of permeate flux on the ultrafiltration efficiencies were investigated by varying effluent permeate flux of 60, 80, and 100 $L/m^2.h$ respectively. After that the optimized permeate to retentate ratios were evaluated by varying the values of 25:75, 50:50, and 75:25 respectively. It was found that the optimum conditions resulting the highest removal efficiency of color, turbidity, NOM, and DOC were at the permeate flux 80 $L/m^2.h$ and permeate to retentate ratio 25:75. The color, turbidity, NOM, and DOC removal efficiency for water surface were about in 67, 64, 27, and 23% respectively. While, the removal efficiency for effluent SUT's wastewater treatment plant in terms of color, turbidity, NOM, and DOC were 32, 57, 17, and 16% respectively. In addition, the value of DOC effluent was higher than 4 mg/L. These data significance that high DOC level than more 4 mg/L could be a source for the formation of disinfections by products when water disinfected (THMs will likely exceed 50 μg/L).

**Keyword:** ultrafiltration; natural organic matter; dissolve organic carbon; disinfection by products

# สารบัญ

หน้า


กิตติกรรมประกาศ ..... ก

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย ..... 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย ..... 3

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย ..... 3

บทที่ 2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะของแหล่งน้ำผิวดิน (Characteristic of Surface Water) ..... 4

2.2 ลักษณะของน้ำที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย ..... 5

2.3 การนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่ ..... 9

2.4 การกรองด้วยเยื่อกรองเมมเบรน ..... 12

2.4.1 ชนิดของเยื่อกรอง (Type of membrane filtration) ..... 13

2.4.2 โมดูลเมมเบรน ..... 15

2.4.3 ระบบการกรองของเยื่อกรองเมมเบรน ..... 17

2.4.4 ประเภทของฟาวลิง ..... 18

2.4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรน ..... 19

2.4.6 การตรวจสอบเยื่อกรองเมมเบรน ..... 21

2.4.7 การทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรน ..... 23

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter: NOM) 25
2.5.1 แหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ธรรมชาติ 26
2.5.2 องค์ประกอบของสารอินทรีย์ธรรมชาติ 27
2.5.3 การแบ่งประเภทของสารอินทรีย์ธรรมชาติ 30
2.5.4 การตรวจวัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ 30
2.5.5 กระบวนการในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ 32
2.5.6 สารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำที่ผ่านการบำบัด 33
2.6 การประยุกต์ใช้เยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน 34
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย
3.1 บทนำ 30
3.2 การออกแบบการทดลอง 42
3.3 เยื่อกรองเมมเบรนที่ใช้ในการวิจัย 43
3.4 แนวทางในการดำเนินงาน 46
3.4.1 ศึกษาความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน 46
3.4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบของเยื่อกรองเมมเบรน 47
3.4.3 ศึกษาการใช้สารเคมีในการทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรน 48
3.5 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 49
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง
4.1 คุณลักษณะของน้ำที่ใช้ในการวิจัย 50
4.2 ความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน 57
4.3 สภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัด 58
4.3.1 ศึกษาการนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระมาผ่านระบบกรอง
อัลตราฟิลเตรชัน 58
4.3.2 ศึกษาการนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรอง
อัลตราฟิลเตรชัน 64

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 ประสิทธิภาพการกำจัด ..... 69
4.4.1 ผลของเพอมิเอทฟลักซ์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดของน้ำผิวดิน จากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ..... 70
4.4.2 ผลของสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททต่อประสิทธิภาพการกำจัด ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ..... 72
4.5 ผลของความดันในการเดินระบบ ..... 75
4.6 การล้างทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน ..... 80
4.7 คุณลักษณะของน้ำหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน ..... 82
4.8 ประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ..... 84
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลการศึกษา ..... 88
5.2 ข้อเสนอแนะในอนาคต ..... 89
บรรณานุกรม ..... 90
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก คุณลักษณะของน้ำที่นำมาใช้ในการศึกษา ..... 97
ภาคผนวก ข คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้ง จากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน ..... 101
ภาคผนวก ค ความต้านทานของเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน ..... 108
ภาคผนวก ง รายการคำนวณด้านการเดินระบบและการบำรุงรักษา ..... 115
ประวัติผู้วิจัย ..... 119

# สารบัญตาราง

หน้า


ตารางที่ 2.1 ประเภทของสิ่งปนเปื้อนในน้ำและแหล่งกำเนิดมลพิษ 5
ตารางที่ 2.2 หน่วยบำบัดที่ใช้ในการกำจัดมลสารต่าง ๆ 7
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของน้ำที่ผ่านการบำบัดและการปรับปรุงคุณภาพน้ำ 9
ตารางที่ 2.4 คุณภาพน้ำที่ต้องการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ 10
ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบชนิดของเยื่อกรองเมมเบรน 13
ตารางที่ 2.6 ความเหมาะสมของโมดูลแต่ละชนิด 15
ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของเยื่อกรองเมมเบรนแต่ละชนิด 17
ตารางที่ 2.8 ตัวอย่างสารทำความสะอาดที่ใช้ในการกำจัดสารที่อุดตัน 25
ตารางที่ 2.9 ขนาดของอนุภาคที่มีอยู่ในน้ำ 27
ตารางที่ 2.10 องค์ประกอบของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำทั่วไป 28
ตารางที่ 2.11 คุณลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29
ตารางที่ 2.12 เครื่องมือในการตรวจวิเคราะห์สารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ 31
ตารางที่ 2.13 มาตรฐานระดับความปนเปื้อนสูงสุดที่ยอมรับได้ในน้ำดื่ม 33
ตารางที่ 2.14 การประยุกต์ใช้กระบวนการเมมเบรน 38
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของอัลตราฟิลเตรชันที่ใช้ในการทดลอง 43
ตารางที่ 3.2 การแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์ 47
ตารางที่ 3.3 การแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท 47
ตารางที่ 3.4 สารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาด 48
ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำ 49
ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของน้ำที่นำมาใช้ในการศึกษา 50
ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะของน้ำดิบหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน 51
ตารางที่ 4.3 คุณลักษณะของน้ำดิบหลังผ่านคาร์ทริด 100 ไมครอน 51

# สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.4 สภาวะการเดินระบบของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระด้วยการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์ 59
ตารางที่ 4.5 คุณลักษณะของน้ำที่เข้าและออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระด้วยการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์ 69
ตารางที่ 4.6 สภาวะการเดินระบบของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระด้วยการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท 62
ตารางที่ 4.7 คุณลักษณะของน้ำที่เข้าและออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระด้วยการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท 62
ตารางที่ 4.8 สภาวะการเดินระบบของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์ 64
ตารางที่ 4.9 คุณลักษณะของน้ำที่เข้าและออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์ 65
ตารางที่ 4.10 สภาวะการเดินระบบของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท 67
ตารางที่ 4.11 คุณลักษณะของน้ำที่เข้าและออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท 67
ตารางที่ 4.12 ผลของความดันต่อการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 75
ตารางที่ 4.13 ผลของความดันต่อการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ 77
ตารางที่ 4.14 ผลของความดันต่อการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์ของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 78
ตารางที่ 4.15 ผลของความดันต่อการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ 79
ตารางที่ 4.16 ผลของความต้านทานที่เกิดขึ้นในการเดินระบบด้วยน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ 81
ตารางที่ 4.17 ผลของความต้านทานที่เกิดขึ้นในการเดินระบบด้วยน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย 81

# สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.18 คุณภาพน้ำที่ออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันและคุณภาพน้ำที่ต้องการนำกลับมาใช้ใหม่ 82
ตารางที่ 4.19 การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์ 83
ตารางที่ 4.20 ประมาณการอุปกรณ์การติดตั้งระบบ 84
ตารางที่ 4.21 ประมาณค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบและการควบคุมระบบ 85
ตารางที่ 4.22 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบ 86
ตารางที่ 4.23 ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและการบำรุงรักษา 87
ตารางที่ 4.24 ค่าใช้จ่ายของการผลิตน้ำสะอาดที่ได้จากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน 88
ตารางที่ ก.1 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ 98
ตารางที่ ก.2 คุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว 98
ตารางที่ ก.3 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน 99
ตารางที่ ก.4 คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน 99
ตารางที่ ก.5 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านกระบวนการคาร์ทริด 100 ไมครอน 100
ตารางที่ ก.6 คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการคาร์ทริด 100 ไมครอน 100
ตารางที่ ข.1 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 $L/m^2.h$ 102
ตารางที่ ข.2 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ 102
ตารางที่ ข.3 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 100 $L/m^2.h$ 103
ตารางที่ ข.4 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 103

# สารบัญตาราง (ต่อ)

**หน้า**


ตารางที่ ข.5 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านระบบกรอง อัลตราฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 50:50 ..... 104

ตารางที่ ข.6 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านระบบกรอง อัลตราฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 75:25 ..... 104

ตารางที่ ข.7 คุณลักษณะของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรอง อัลตราฟิลเตรชันที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 $L/m^2.h$ ..... 105

ตารางที่ ข.8 คุณลักษณะของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรอง อัลตราฟิลเตรชันที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ ..... 105

ตารางที่ ข.9 คุณลักษณะของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรอง อัลตราฟิลเตรชันที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 100 $L/m^2.h$ ..... 106

ตารางที่ ข.10 คุณลักษณะของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรอง อัลตราฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 ..... 106

ตารางที่ ข.11 คุณลักษณะของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรอง อัลตราฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 50:50 ..... 107

ตารางที่ ข.12 คุณลักษณะของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรอง อัลตราฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 75:25 ..... 107

ตารางที่ ค.1 ความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน ..... 109

ตารางที่ ค.2 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังเดินระบบกรองด้วยน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ ..... 109

ตารางที่ ค.3 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนก่อนเดินระบบกรองด้วยน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ..... 109

ตารางที่ ค.4 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังเดินระบบกรองด้วยน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ..... 110

ตารางที่ ค.5 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังจากล้างด้วย NaOH ..... 110

ตารางที่ ค.6 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังจากล้างด้วย NaOCl ..... 110

# สารบัญรูป

หน้า


รูปที่ 2.1 รูปแบบการไหลของสารป้อนเข้า ..... 18
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันต่อเพอมิเอทฟลักซ์ ..... 20
รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำผิวดิน ..... 28
รูปที่ 2.4 องค์ประกอบของสารอินทรีย์ทั่วไปที่มี DOC 5 mg/L ..... 29
รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบกระบวนการปรับคุณภาพน้ำทั่วไป
กับกระบวนการกรองผ่านเยื่อกรอง ..... 34
รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ..... 40
รูปที่ 3.2 กระบวนการกรองด้วยเยื่อกรองสำหรับกรองน้ำผิวดินจากอ่างเก็บนำสุระ
และน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ..... 41
รูปที่ 3.3 การดำเนินงานวิจัย ..... 42
รูปที่ 3.4 การออกแบบระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน ..... 44
รูปที่ 3.5 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ ..... 45
รูปที่ 4.1 ค่าพีเอชต่อระยะเวลาในการเดินระบบ ..... 52
รูปที่ 4.2 ค่าสีต่อระยะเวลาในการเดินระบบ ..... 53
รูปที่ 4.3 ค่าความขุ่นต่อระยะเวลาในการเดินระบบ ..... 54
รูปที่ 4.4 ค่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ต่อระยะเวลาในการเดินระบบ ..... 55
รูปที่ 4.5 ค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ต่อระยะเวลาในการเดินระบบ ..... 56
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับดันกับเพอมิเอทฟลักซ์ ..... 58
รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดที่เพอมิเอทฟลักซ์ต่าง ๆ ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ ..... 61
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททต่าง ๆ
ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ ..... 64
รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการกำจัดที่เพอมิเอทฟลักซ์ต่าง ๆ ของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ..... 66
รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททต่าง ๆ
ของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ..... 69
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดที่เพอมิเอทฟลักซ์ 60 $L/m^2.h$ ..... 71

# สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า


รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดกำจัดที่เพอมิเอทฟลักซ์ 80 $L/m^2.h$ ..... 71

รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดกำจัดที่เพอมิเอทฟลักซ์ 100 $L/m^2.h$ ..... 72

รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 ... 73

รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 50:50 ... 74

รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 75:25 ... 74

รูปที่ 4.17 ผลของเพอมิเอทฟลักซ์เทียบกับระยะเวลาในการเดินระบบของน้ำผิวดิน
จากอ่างเก็บน้ำสุระที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 ..... 76

รูปที่ 4.18 ผลของสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเทียบกับระยะเวลาในการเดินระบบ
ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ ..... 77

รูปที่ 4.19 ผลของเพอมิเอทฟลักซ์เทียบกับระยะเวลาในการเดินระบบของน้ำทิ้ง
จากระบบบำบัดน้ำเสียที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 ..... 78

รูปที่ 4.20 ผลของสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเทียบกับระยะเวลาในการเดินระบบ
ของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ ..... 79

รูปที่ ค.1 ความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน ..... 111

รูปที่ ค.2 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังเดินระบบกรอง
ด้วยน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ ..... 111

รูปที่ ค.3 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนก่อนเดินระบบกรอง
ด้วยน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ..... 112

รูปที่ ค.4 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังเดินระบบกรอง
ด้วยน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ..... 112

รูปที่ ค.5 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังจากล้างด้วย NaOH ..... 113

รูปที่ ค.6 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังจากล้างด้วย NaOCl ..... 113