การประยุกต์ใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน
สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในกระบวนการผลิตน้ำประปา

นางสาวสุกุลยา ทับอุไร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2554

APPLICATION OF ULTRAFILTRATION FOR NATURAL ORGANIC MATTER REMOVAL IN WATER SUPPLY SYSTEM

Sukulya Tab-urai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2011

การประยุกต์ใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ
ในกระบวนการผลิตน้ำประปา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

____

(ผศ. ดร.จรียา ยิ้มรัตนบวร)

ประธานกรรมการ

____

(ผศ. ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

____

(ผศ. ดร.สุดจิต ครุจิต)

กรรมการ

____

(อ. ดร.ปิยะรัตน์ ปรีย์มาโนช)

กรรมการ

____

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

____

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

สุกุลยา ทับอุไร : การประยุกต์ใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในกระบวนการผลิตน้ำประปา (APPLICATION OF ULTRAFILTRATION FOR NATURAL ORGANIC MATTER REMOVAL IN WATER SUPPLY SYSTEM) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร, 130 หน้า

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) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งอีกทั้งยังเป็นข้อกำหนดสำหรับมาตรฐานน้ำดื่มและน้ำประปา

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสภาวะการเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันในน้ำผิวดินและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยน้ำผิวดินและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียจะถูกนำมาผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้น (Pretreatment) ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและกรองผ่านคาร์ทริค 100 ไมครอน ก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน โดยแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 80 และ 100 $L/m^2.h$ ตามลำดับ เมื่อได้เพอมิเอทฟลักซ์ที่เหมาะสมจะนำมาแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท่ากับ 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

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนักศึกษา สุกุลยา ทับอุไร

ปีการศึกษา 2554 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา________

SUKULYA TAB-URAI : APPLICATION OF ULTRAFILTRATION FOR NATURAL ORGANIC MATTER REMOVAL IN WATER SUPPLY SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. BOONCHAI WICHITSATHIAN, Ph.D., 130 PP.

ULTRAFILTRATUIN/NATURAL ORGANIC MATTER/
DISSOLVED ORGANIC CARBON/DISINFECTION BY PRODUCTS

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. 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).

School of Environmental Engineering

Academic Year 2011

Student's Signature sukulya

Advisor's Signature B. Wichitsathian

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งทางด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย รวมถึงได้ช่วยตรวจทานและแก้ไขรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนมีความบริบูรณ์พร้อมทางด้านวิชาการ รวมทั้งเป็นกำลังใจและแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ในการดำเนินชีวิตแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรียา ยิ้มรัตนบวร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดจิต ครุจิต อาจารย์ ดร.ปิยะรัตน์ ปรีย์มาโนช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และความรู้ทางด้านวิชาการอย่างดียิ่งมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ การประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความช่วยเหลือในการติดตั้งระบบให้แก่ผู้วิจัยจนได้ทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนเงินทุนทางด้านการศึกษาแก่ผู้วิจัยอย่างดียิ่งมาโดยตลอดจนได้ทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณนารี กลิ่นกลาง คุณจริยาพร ศรีวิไลลักษณ์ ที่คอยให้คำแนะนำปรึกษาการจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบันที่คอยให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทางด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ได้ให้ความรัก ความอบอุ่น ความห่วงใย การอบรมเลี้ยงดู และคอยเป็นกำลังใจ ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

สุกุลยา ทับอุไร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ข
กิตติกรรมประกาศ ง
สารบัญ จ
สารบัญตาราง ซ
สารบัญรูป ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ฒ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 4

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 ลักษณะของแหล่งน้ำผิวดิน (Characteristic of Surface Water) 5
2.2 ลักษณะของน้ำที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย 7
2.3 การนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่ 11
2.4 การกรองด้วยเยื่อกรองเมมเบรน 13
2.4.1 ชนิดของเยื่อกรอง (Type of membrane filtration) 14
2.4.2 โมดูลเมมเบรน 16
2.4.3 ระบบการกรองของเยื่อกรองเมมเบรน 18
2.4.4 ประเภทของฟาวลิง 19
2.4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรน 20
2.4.6 การตรวจสอบเยื่อกรองเมมเบรน 22
2.4.7 การทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรน 24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter: NOM) 26
2.5.1 แหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ธรรมชาติ 27
2.5.2 องค์ประกอบของสารอินทรีย์ธรรมชาติ 28
2.5.3 การแบ่งประเภทของสารอินทรีย์ธรรมชาติ 31
2.5.4 การตรวจวัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ 31
2.5.5 กระบวนการในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ 33
2.5.6 สารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำที่ผ่านการบำบัด 34
2.6 การประยุกต์ใช้เยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน 35
3 วิธีดำเนินการวิจัย 40
3.1 บทนำ 40
3.2 การออกแบบการทดลอง 43
3.3 เยื่อกรองเมมเบรนที่ใช้ในการวิจัย 44
3.4 แนวทางในการดำเนินงาน 47
3.4.1 ศึกษาความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน 47
3.4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบของเยื่อกรองเมมเบรน 48
3.4.3 ศึกษาการใช้สารเคมีในการทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรน 49
3.5 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 50
4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง 51
4.1 คุณลักษณะของน้ำที่ใช้ในการวิจัย 51
4.2 ความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน 58
4.3 สภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัด 59
4.3.1 ศึกษาการนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน 59
4.3.2 ศึกษาการนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน 65

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 ประสิทธิภาพการกำจัด 70
4.4.1 ผลของเพอมิเอทฟลักซ์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย 71
4.4.2 ผลของสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททต่อประสิทธิภาพการกำจัดของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย 73
4.5 ผลของความดันในการเดินระบบ 76
4.6 การล้างทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน 81
4.7 คุณลักษณะของน้ำหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน 83
4.8 ประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ 85
5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 89
5.1 สรุปผลการศึกษา 89
5.2 ข้อเสนอแนะในอนาคต 90
รายการอ้างอิง 91
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. คุณลักษณะของน้ำที่นำมาใช้ในการศึกษา 98
ภาคผนวก ข. คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน 102
ภาคผนวก ค. ความต้านทานของเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน 109
ภาคผนวก ง. รายการคำนวณด้านการเดินระบบและการบำรุงรักษา 115
ภาคผนวก จ. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา 120
ประวัติผู้เขียน 130

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ประเภทของสิ่งปนเปื้อนในน้ำและแหล่งกำเนิดมลพิษ 6
2.2 หน่วยบำบัดที่ใช้ในการกำจัดมลสารต่าง ๆ 8
2.3 คุณสมบัติของน้ำที่ผ่านการบำบัดและการปรับปรุงคุณภาพน้ำ 10
2.4 คุณภาพน้ำที่ต้องการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ 11
2.5 การเปรียบเทียบชนิดของเยื่อกรองเมมเบรน 14
2.6 ความเหมาะสมของโมดูลแต่ละชนิด 16
2.7 คุณสมบัติของเยื่อกรองเมมเบรนแต่ละชนิด 18
2.8 ตัวอย่างสารทำความสะอาดที่ใช้ในการกำจัดสารที่อุดตัน 26
2.9 ขนาดของอนุภาคที่มีอยู่ในน้ำ 28
2.10 องค์ประกอบของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำทั่วไป 29
2.11 คุณลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 30
2.12 เครื่องมือในการตรวจวิเคราะห์สารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ 32
2.13 มาตรฐานระดับความปนเปื้อนสูงสุดที่ยอมรับได้ในน้ำดื่ม 34
2.14 การประยุกต์ใช้กระบวนการเมมเบรน 39
3.1 รายละเอียดของอัลตราฟิลเตรชันที่ใช้ในการทดลอง 44
3.2 การแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์ 48
3.3 การแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท 48
3.4 สารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาด 49
3.5 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำ 50
4.1 คุณลักษณะของน้ำที่นำมาใช้ในการศึกษา 51
4.2 คุณลักษณะของน้ำดิบหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน 52
4.3 คุณลักษณะของน้ำดิบหลังผ่านคาร์ทริค 100 ไมครอน 52

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.4 สภาวะการเดินระบบของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระด้วยการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์ 60
4.5 คุณลักษณะของน้ำที่เข้าและออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระด้วยการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์ 60
4.6 สภาวะการเดินระบบของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระด้วยการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท 63
4.7 คุณลักษณะของน้ำที่เข้าและออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระด้วยการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท 63
4.8 สภาวะการเดินระบบของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์ 65
4.9 คุณลักษณะของน้ำที่เข้าและออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์ 66
4.10 สภาวะการเดินระบบของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท 68
4.11 คุณลักษณะของน้ำที่เข้าและออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท 68
4.12 ผลของความดันต่อการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท่ากับ 25:75 76
4.13 ผลของความดันต่อการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ 78
4.14 ผลของความดันต่อการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์ของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท่ากับ 25:75 79
4.15 ผลของความดันต่อการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ 80
4.16 ผลของความต้านทานที่เกิดขึ้นในการเดินระบบด้วยน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ 82
4.17 ผลของความต้านทานที่เกิดขึ้นในการเดินระบบด้วยน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย 82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.18 คุณภาพน้ำที่ออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันและคุณภาพน้ำที่ต้องการนำกลับมาใช้ใหม่ 83

4.19 การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์ 84

4.20 ประมาณการอุปกรณ์การติดตั้งระบบ 85

4.21 ประมาณค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบและการควบคุมระบบ 86

4.22 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบ 87

4.23 ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและการบำรุงรักษา 88

4.24 ค่าใช้จ่ายของการผลิตน้ำสะอาดที่ได้จากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน 89

ก.1 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ 99

ก.2 คุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว 99

ก.3 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน 100

ก.4 คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน 100

ก.5 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านกระบวนการคาร์ทริค 100 ไมครอน 101

ก.6 คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการคาร์ทริค 100 ไมครอน 101

ข.1 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 $L/m^2.h$ 103

ข.2 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ 103

ข.3 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 100 $L/m^2.h$ 104

ข.4 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทททเท่ากับ 25:75 104

ข.5 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทททเท่ากับ 50:50 105

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ข.6 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทททเท่ากับ 75:25 105
ข.7 คุณลักษณะของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 $L/m^2.h$ 106
ข.8 คุณลักษณะของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ 106
ข.9 คุณลักษณะของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 100 $L/m^2.h$ 107
ข.10 คุณลักษณะของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทททเท่ากับ 25:75 107
ข.11 คุณลักษณะของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทททเท่ากับ 50:50 108
ข.12 คุณลักษณะของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทททเท่ากับ 75:25 108
ค.1 ความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน 110
ค.2 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังเดินระบบกรองด้วยน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ 110
ค.3 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนก่อนเดินระบบกรองด้วยน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย 110
ค.4 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังเดินระบบกรองด้วยน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย 111
ค.5 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังจากล้างด้วย NaOH 111
ค.6 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังจากล้างด้วย NaOCl 111

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	รูปแบบการไหลของสารป้อนเข้า	19
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความดันต่อเพอมิเอทฟลักซ์	21
2.3	องค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำผิวดิน	29
2.4	องค์ประกอบของสารอินทรีย์ทั่วไปที่มี DOC 5 mg/L	30
2.5	เปรียบเทียบกระบวนการปรับคุณภาพน้ำทั่วไป กับกระบวนการกรองผ่านเยื่อกรอง	35
3.1	กระบวนการผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	41
3.2	กระบวนการกรองด้วยเยื่อกรองสำหรับกรองน้ำผิวดินจากอ่างเก็บนำสุระ และน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย	42
3.3	การดำเนินงานวิจัย	43
3.4	การออกแบบระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน	45
3.5	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	46
4.1	ค่าพีเอชต่อระยะเวลาในการเดินระบบ	53
4.2	ค่าสีต่อระยะเวลาในการเดินระบบ	54
4.3	ค่าความขุ่นต่อระยะเวลาในการเดินระบบ	55
4.4	ค่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ต่อระยะเวลาในการเดินระบบ	56
4.5	ค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ต่อระยะเวลาในการเดินระบบ	57
4.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับดันกับเพอมิเอทฟลักซ์	59
4.7	ประสิทธิภาพการกำจัดที่เพอมิเอทฟลักซ์ต่าง ๆ ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ	62
4.8	ประสิทธิภาพการกำจัดที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททต่าง ๆ ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ	65
4.9	ประสิทธิภาพการกำจัดที่เพอมิเอทฟลักซ์ต่าง ๆ ของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย	67
4.10	ประสิทธิภาพการกำจัดที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททต่าง ๆ ของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย	70
4.11	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดที่เพอมิเอทฟลักซ์ 60 L/m^2.h	72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.12	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดกำจัดที่เพอมิเอทฟลักซ์ 80 $L/m^2.h$	72
4.13	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดกำจัดที่เพอมิเอทฟลักซ์ 100 $L/m^2.h$	73
4.14	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75	74
4.15	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 50:50	75
4.16	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 75:25	75
4.17	ผลของเพอมิเอทฟลักซ์เทียบกับระยะเวลาในการเดินระบบของน้ำผิวดิน จากอ่างเก็บน้ำสุระที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75	77
4.18	ผลของสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเทียบกับระยะเวลาในการเดินระบบ ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$	78
4.19	ผลของเพอมิเอทฟลักซ์เทียบกับระยะเวลาในการเดินระบบของน้ำทิ้ง จากระบบบำบัดน้ำเสียที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75	79
4.20	ผลของสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเทียบกับระยะเวลาในการเดินระบบ ของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$	80
ค.1	ความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน	112
ค.2	ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังเดินระบบกรอง ด้วยน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ	112
ค.3	ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนก่อนเดินระบบกรอง ด้วยน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย	113
ค.4	ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังเดินระบบกรอง ด้วยน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย	113
ค.5	ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังจากล้างด้วย NaOH	114
ค.6	ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังจากล้างด้วย NaOCl	114

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Natural organic matter	=	สารอินทรีย์ธรรมชาติ
Total organic Carbon	=	สารอินทรีย์ทั้งหมด
Dissolve Organic Carbon	=	สารอินทรีย์ละลายน้ำ
Organic Carbon	=	สารอินทรีย์
Inorganic Carbon	=	สารอนินทรีย์
Conventional Process	=	กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ
Disinfection by products	=	สารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรค
Maximum Contaminate Levels	=	ค่าระดับความปนเปื้อนสูงสุดที่ยอมรับได้
Microfiltration	=	กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน
Ultrafiltration	=	กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน
Nanofiltration	=	กระบวนการนาโนฟิลเตรชัน
Reverse Osmosis	=	กระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส
Molecular weight cut-off	=	ความสามารถกักกันสารตามมวลโมเลกุลของสาร
Dead-end velocity	=	การไหลแบบปิดตาย
Cross Flow velocity	=	การไหลแบบไหลขวาง
Permeate	=	น้ำผ่านเยื่อกรองเมมเบรน
Retentate	=	น้ำไม่ผ่านเยื่อกรองเมมเบรน
Permeate flux	=	อัตราการไหลต่อพื้นที่เมมเบรน
Concentration Polarization	=	เกิดจากการสะสมของโมเลกุล/อนุภาค
Fouling	=	การอุดตัน
Flux	=	แรงดันต่อพื้นที่เมมเบรน
Transmembrane Pressure	=	ผลต่างแรงดัน
Backwash	=	การล้างย้อน
Polyvinylidene fluoride	=	พอลิเมอร์ที่ทำจากโพลีไวนิลคลอไรด์
Polysulfone	=	พอลิเมอร์ที่ทำจากโพลีซัลโฟน
Polyaluminum chloride	=	สารเคมีใช้ในการสร้างตะกอน
U.S. EPA	=	สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศ สหรัฐอเมริกา

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

kPa	=	กิโลปาสคาล
Da	=	ดาลตัล
THMs	=	ไตรฮาโลมีเทน
HAAs	=	ฮาโลอะซิติก
NaOH	=	โซเดียมไฮดรอกไซด์
NaOCl	=	โซเดียมไฮโปรคลอไรด์
Alum	=	สารส้ม

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำในประเทศไทยเริ่มมีมาตั้งแต่ในอดีตและแสดงผลให้เห็นบ้างแล้วในบางพื้นที่ลุ่มน้ำ สาเหตุดังกล่าวเป็นผลมาจากการขยายตัวและการพัฒนาที่ดำเนินอยู่อย่างต่อเนื่องของอุตสาหกรรมและชุมชนเมืองต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาวิธีการในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างถูกต้อง นอกจากนี้ปัญหาในเชิงคุณภาพของแหล่งน้ำยังมีการปนเปื้อนของสารต่าง ๆ ในปริมาณที่สูง และส่งผลให้แหล่งน้ำเสื่อมโทรมลง อีกทั้งการขยายตัวของชุมชนเมืองและอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ทำให้เกิดการใช้น้ำในปริมาณที่สูงขึ้นและอัตราการเกิดน้ำเสียก็สูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งในปัจจุบันยังขาดการจัดการการใช้น้ำและการปล่อยน้ำเสียสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้เกิดปัญหาและการทำลายสิ่งแวดล้อม จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาวิธีการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นเหล่านี้ โดยวิธีการดังกล่าวจะต้องมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และมีความยั่งยืน

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าแหล่งน้ำผิวดินที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำประปามีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter: NOM) ค่อนข้างสูง ซึ่งกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำในปัจจุบันเน้นเพียงการกำจัดความขุ่นเพื่อให้น้ำดูใส สะอาดและปราศจากเชื้อโรคหลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยสารประกอบคลอรีน แต่ไม่ได้คำนึงถึงประมาณสารอินทรีย์ที่หลงเหลืออยู่ เมื่อเติมคลอรีนลงไปในน้ำที่ยังคงมีสารอินทรีย์ธรรมชาติจะสามารถก่อให้เกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection by Products: DBPs) อันเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติกับคลอรีนอิสระ เกิดเป็นสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ (Marthaba et al., 2003; Crittenden et al., 2005)

สารอินทรีย์ธรรมชาติจะประกอบด้วยสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ โดยสารอนินทรีย์ ได้แก่ ดิน ตะกอน และแร่ธาตุ เป็นต้น และสารอินทรีย์ ได้แก่ ไวรัส จุลินทรีย์ แบคทีเรีย และโปรโตซัว เป็นต้น อีกทั้งสารอินทรีย์ธรรมชาติยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ (1) สารอินทรีย์กลุ่มไฮโดรโฟบิค ได้แก่ กรดฮิวมิคและกรดฟลูวิค และ (2) สารอินทรีย์กลุ่มไฮโดรฟิลิคโดยขึ้นอยู่กับขนาดและคุณลักษณะของสารประกอบที่มีอยู่ในน้ำจะมี MWCO 300-30,000 ดาร์ตัน นอกจากนี้ในแหล่งน้ำผิวดินยังพบว่ามากกว่า 50% เป็นสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (Dissolve Organic Carbon: DOC)

(Pelekani, Newcombe, Snoeyink, Hepplewhite, Assemi, and Beckett, 1999; Nissinen, Miettinen, Martikainen and Vartiainen, 2001)

อย่างไรก็ตามการนำน้ำดิบจากแหล่งน้ำผิวดินมาใช้ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยกระบวนการโคแอกกูชัน-ฟลอคคูเลชัน การตกตะกอน การกรอง และการฆ่าเชื้อโรค ไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติออกได้หมด ซึ่งอาจไม่เพียงพอที่จะบำบัดน้ำให้มีคุณภาพดีได้ อีกทั้งเป็นระบบที่มีขนาดใหญ่ ต้องการพื้นที่ในการดำเนินงาน และใช้สารเคมีในปริมาณที่มาก คุณภาพของน้ำที่ออกจากระบบไม่คงที่ (Parameshwaran and Visvanathan, 1998) ดังนั้นการหาวิธีที่เหมาะสมมาใช้ในการผลิตน้ำประปาเพื่อใช้แทนเทคโนโลยีปัจจุบันจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึง โดยเทคโนโลยีที่นิยมนำมาใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ ได้แก่ (1) การกรองด้วยสารกรองหลายชั้น (Multimedia Filtration) (2) การดูดซับด้วยคาร์บอน (Carbon Adsorption) (3) การเติมโอโซน (Ozonation) และ (4) การกรองผ่านเยื่อกรองเมมเบรน (Membrane Thecnology)

การกรองผ่านเยื่อกรอง (Membrane) เป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ การบำบัดน้ำเสีย และมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งในอดีตนิยมใช้กระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis: RO) และกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration: NF) ในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Tan and Amy, 1991; Uyak, Koyuncu, Oktem, Cakmakci, and Toroz, 2008) แต่การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยตรงนั้นจะส่งผลต่อการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรน เนื่องจากการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติต้องอาศัยกลไกการคัดขนาดของน้ำหนักโมเลกุลและขึ้นอยู่กับขนาดรูพรุนของเยื่อกรองเมมเบรน โดยกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดความขุ่น สี และสารอินทรีย์ธรรมชาติ สามารถกำจัดจุลินทรีย์และแบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถควบคุมคุณภาพน้ำให้สม่ำเสมอ คุณภาพน้ำที่ได้ค่อนข้างสูง ลดการใช้สารเคมี อีกทั้งยังสามารถลดปริมาณแต่ปัญหาการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรน (Membrane Fouling) เป็นปัญหาที่สำคัญของกระบวนการกรอง การอุดตันจะทำให้อัตราน้ำซึมผ่านเยื่อกรอง (Permeate Flux) ลดลง ทำให้ต้องใช้พลังงานสูงขึ้นเพื่อให้ได้อัตราน้ำซึมผ่านเยื่อกรองคงที่ โดยสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter: NOM) เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรน สารอินทรีย์ธรรมชาติเหล่านี้จะสะสมบนผิวหรือช่องว่างของเยื่อกรอง ทำให้อัตราการซึมผ่านเยื่อกรองลดลง ซึ่งการนำกระบวนการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการโคแอกูเลชันมาใช้ร่วมกับกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันจะสามารถลดสารอินทรีย์ธรรมชาติและลดการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติของระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันในการทดลองระดับต้นแบบ

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและสภาวะการเดินระบบสำหรับน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านการเดินระบบและการบำรุงรักษาของระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันในสภาวะที่เหมาะสม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 การศึกษางานวิจัยนี้ทำการทดสอบน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เป็นกรณีศึกษาด้วยกระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันในระดับต้นแบบ

1.3.2 น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จะถูกปรับสภาพน้ำก่อนเข้าสู่กระบวนการกรองด้วยเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชันด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและชุดกรองคาร์ทริค 100 ไมครอน

1.3.3 ในการเดินระบบจะทำการเลือกสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ โดยกำหนดอัตราการไหลสารป้อนเข้าไม่เกิน 100 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง

1.3.4 ศึกษาคุณลักษณะของน้ำเข้าและออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน โดยพิจารณาพารามิเตอร์ เช่น พีเอช สี ความขุ่น ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ค่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ตามลำดับ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.4.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมที่มีผลต่อการทำงานของระบบการกรองผ่านเยื่อกรอง และปัญหาการอุดตันเยื่อกรอง

1.4.2 เพื่อประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เกิดประโยชน์ด้วยการนำทรัพยากรน้ำที่มีอยู่กลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์คุ้มค่าสูงสุด โดยคำนึงถึงคุณภาพน้ำที่ได้หลังจากการบำบัดแล้ว

1.4.3 เพื่อเป็นทางเลือกในการผลิตน้ำในสภาวะที่เกิดการขาดแคลนน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูแล้งที่ไม่มีแหล่งน้ำดิบจากแหล่งน้ำผิวดินสำหรับนำมาผลิตน้ำประปา

1.4.4 สามารถนำไปใช้แทนหรือควบคู่กับกระบวนการผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน อาจทดแทนในบางขั้นตอนหรือทั้งกระบวนการผลิต

1.4.5 สามารถนำมาใช้เพื่อการผลิตน้ำประปา เพื่อการอุปโภคบริโภค ทั้งด้านชุมชน การเกษตร และอุตสาหกรรม เป็นต้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะของแหล่งน้ำผิวดิน (Characteristic of Surface Water)

น้ำผิวดินหมายถึงน้ำจากแม่น้ำลำคลอง ทะเลสาบและในพื้นที่ชุ่มน้ำที่เป็นน้ำจืด ปกติน้ำผิวดินจะได้รับการเติมจากฝนหรือหิมะ และจะหายไปตามธรรมชาติด้วยการระเหย การไหลออกสู่ทะเลและการซึมลงไปใต้ดิน น้ำผิวดินอาจมีแร่ธาตุ แก๊ส หรือสารอื่น ๆ ที่มีอยู่ในบรรยากาศเจือปนอยู่ด้วย เมื่อน้ำฝนตกลงสู่พื้นดิน น้ำฝนจะได้รับความสกปรกเนื่องจากแร่ธาตุของอินทรีย์ จุลินทรีย์ ตลอดจนสิ่งสกปรกอื่น ๆ เพิ่มขึ้นอีก เมื่อไหลผ่านพื้นดินก็จะมีอนุภาคของดินติดไปด้วยทำให้เกิดความขุ่นในน้ำ นอกจากนี้ความสกปรกของน้ำเกิดขึ้นจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การปล่อยน้ำเสียลงแม่น้ำลำคลอง การทิ้งสิ่งของเหลือใช้และซากสัตว์ลงไปเพิ่มความสกปรก เมื่อน้ำผิวดินซึมผ่านลงไปในดินผ่านชั้นต่าง ๆ อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำก็จะถูกกรองเอาไว้โดยการกรองตามธรรมชาติซึ่งสามารถขจัดแบคทีเรียและอนุภาค อย่างไรก็ดีคุณสมบัติทางเคมีอาจจะเปลี่ยนแปลงตามชั้นดินและแร่ธาตุที่น้ำซึมลงไป ซึ่งอาจมีสารที่เป็นพิษหรือยาฆ่าแมลงปนอยู่ด้วย

จากการศึกษาการปนเปื้อนของแหล่งน้ำผิวดินถึงปริมาณสารมลพิษ (Pollutants) สามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ (1) แหล่งกำเนิดมลพิษที่แน่นอน (Point Source) และ (2) แหล่งกำเนิดมลพิษที่ไม่แน่นอน (Non-point Source) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 สำหรับแหล่งกำเนิดมลพิษที่แน่นอนจะมาจากน้ำเสียชุมชน (อาคารบ้านเรือน ที่พักอาศัย สำนักงาน อาคารพาณิชย์ สถานศึกษา) และน้ำเสียอุตสาหกรรม ซึ่งจะถูกปล่อยออกจากระบบท่อระบายน้ำเสีย รางระบายน้ำเสียโดยตรงลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ส่วนมลพิษที่ไม่มีแหล่งกำเนิด (Non-point Source) จะมาจากน้ำที่ชะล้าง (Runoff) จากพื้นที่การเกษตร และพื้นที่ในเขตชุมชน เทศบาล (Davis and Cornwell, 1998) ซึ่งปัจจุบันมีการตกค้างของสารเคมี สารพิษ ปุ๋ย แบคทีเรีย ในหน้าดินหรือชั้นดินสูงขึ้นมาก เมื่อเกิดการไหลจะถูกชะล้างจากหลายพื้นที่ก็จะลงไปยังแหล่งน้ำที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง ก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพน้ำตามมาแหล่งกำเนิดมลพิษที่ไม่แน่นอน (Non-point Source) และถือเป็นปัญหาใหญ่ที่สร้างมลพิษต่อแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วของเสียที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำทำให้สาหร่ายและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำนำไปใช้ประโยชน์ได้ ก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำ ทำให้เกิดปรากฏการณ์การเจริญเติบโตของสาหร่ายและพืชอย่างรวดเร็วซึ่งเรียกว่า ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) โดยปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากในน้ำเสียมีปริมาณธาตุไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสมากเกินความสามารถในการฟื้นฟูสภาพน้ำด้วยกลไกทางธรรมชาติผลกระทบที่เกิดขึ้น

จึงเป็นปัญหาสำคัญที่วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมจะต้องให้ความสำคัญต่อการแก้ไขปัญหาทั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย พืชน้ำที่เกิดจากการปล่อยสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และธาตุประกอบอื่น ๆ (Metcalf and Eddy, 1991)

ตารางที่ 2.1 ประเภทของสิ่งปนเปื้อนในน้ำและแหล่งกำเนิดมลพิษ

สิ่งปนเปื้อนในน้ำ	แหล่งกำเนิดมลพิษที่แน่นอน (Point Source)		แหล่งกำเนิดมลพิษที่ไม่แน่นอน (Non-point Source)	
	น้ำเสียชุมชน	น้ำเสียอุตสาหกรรม	น้ำเสียชุมชน	น้ำเสียอุตสาหกรรม
ความต้องการออกซิเจน (Oxygen Demand Material)	x	x	x	x
สารอาหาร (Nutrients)	x	x	x	x
จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (Pathogens)	x	x	x	x
สารแขวนลอย (Suspended Solid/Sediment)	x	x	x	x
ความเค็ม (Salts)		x	x	x
ความเป็นพิษของโลหะ (Toxic Metals)		x		x
ความเป็นพิษจากสารเคมีอินทรีย์ (Toxic Organic Chemicals)		x	x	
ความร้อน (Heat)		x		

ดังนั้นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ จึงมีความจำเป็นต้องกำหนดให้มีการบำบัดน้ำเสียนั้นให้มีคุณภาพเพียงพอที่จะไม่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำและสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้

2.2 ลักษณะของน้ำที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย

ในการบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำที่สะอาดก่อนปล่อยทิ้ง เป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ไขปัญหาแม่น้ำลำคลองเน่าเสีย โดยอาศัยกรรมวิธีต่าง ๆ เพื่อลดหรือทำลายความสกปรกที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ ได้แก่ ไขมัน น้ำมัน สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ สารพิษ รวมทั้งเชื้อโรคต่าง ๆ ให้หมดไปหรือให้เหลือน้อยที่สุดเมื่อปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะทำให้แหล่งน้ำนั้นไม่เน่าเสีย หรือแม้กระทั่งให้มีคุณภาพดีขึ้นจนสามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือนำกลับไปใช้ในกิจกรรมอื่น ๆ ได้อีก เนื่องจากน้ำเสียมีแหล่งที่มาแตกต่างกันจึงทำให้มีปริมาณและความสกปรกของน้ำเสียแตกต่างกันไปด้วยในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำเสียจำเป็นจะต้องเลือกวิธีการที่เหมาะสมสำหรับกรรมวิธีในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำเสียมีหลายวิธี ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนในการบำบัดออกได้ดังนี้ (1) หน่วยบำบัดขั้นเตรียมการ (Pretreatment) เป็นการกำจัดของแข็งขนาดใหญ่ที่ไม่ละลายน้ำออกด้วยตะแกรงเพื่อไม่ให้เป็นอุปสรรคในการบำบัดขั้นต่อไป (2) หน่วยบำบัดขั้นต้น (Primary Treatment) เพื่อลดมลสารที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยและมลสารที่เกิดการลอยอยู่ที่ผิวน้ำ ซึ่งสามารถลดปริมาณของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำไปได้เพียงบางส่วน แต่มลสารที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปมาก คือ มลสารที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยด้วยกระบวนการตกตะกอน (Precipitation) หรือกระบวนการสร้างตะกอน (Coagulation-Flocculation) (3) หน่วยบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment) เป็นกระบวนการปรับสภาพของน้ำดิบหรือน้ำเสีย เพื่อลดสารแขวนลอยที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำหน่วยบำบัดแบบนี้มักเป็นหน่วยบำบัดทางชีวภาพ โดยอาศัยจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ และจะทำให้น้ำทิ้งมีปริมาณของแข็งแขวนลอยต่ำ เช่น การเติมอากาศเพื่อให้จุลินทรีย์เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ และ (4) หน่วยบำบัดขั้นที่สาม (Tertiary Treatment) หรือเรียกว่าการบำบัดขั้นสูง (Advance Treatment) เป็นหน่วยบำบัดที่ต้องการนำเอาน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีคุณภาพที่ดีขึ้นอีก เช่น น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วยังคงมีสี และความขุ่น หรือสารอาหารบางอย่างตกค้างอยู่ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการบำบัดเพิ่มเติมเพื่อให้ได้คุณภาพน้ำที่ดีขึ้น (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) โดยส่วนใหญ่จะเป็นการตกตะกอนสารแขวนลอย (Coagulation) หรือการตกตะกอนของแข็งที่ละลายในน้ำ (Precipitation) การดูดซับสารปนเปื้อน สี กลิ่น ด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) การแลกเปลี่ยนประจุในน้ำเสีย การกรองสิ่งปนเปื้อนขนาดเล็กด้วยการกรองขั้นสูง เช่น อัลตราฟิลเตรชัน ไมโครฟิลเตรชัน และการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับ การกำจัดสารอาหาร (Nutrient Removal Process) การฆ่าเชื้อโรค และการเติมโอโซน (Chlorination and Ozonation) โดยวิธีการบำบัดมลสารต่าง ๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 หน่วยบำบัดที่ใช้ในการกำจัดมลสารต่าง ๆ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2540)

สารที่ไม่ต้องการในน้ำเสีย / หน่วยบำบัด	Suspended Solids (สารแขวนลอย)	Biodegradable Organic (สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้)	Pathogen (พวกเชื้อโรคต่างๆ)	Nitrogen	Phosphorus	Refractory Organic (สารอินทรีย์ที่ยากแก่การบำบัดโดยทางชีววิทยา)	Heavy Metals	Dissolved Inorganic Solids
Activated Sludge	-	✓	-	-	-	-	-	-
Ammonia Stripping	-	-	-	✓	-	-	-	-
Biological-chemical Phosphorus Removal	-	-	-	-	✓	-	-	-
Carbon Adsorption	-	-	-	-	-	✓	-	-
Chemical Precipitation	✓	-	-	-	-	-	✓	-
Chemical-polymer	✓	-	-	-	-	-	-	-
Chlorination	-	-	✓	✓	-	-	-	-
Coagulation - Sedimentation	-	-	-	-	-	-	-	-
Electro Dialysis	-	-	-	-	-	-	-	✓
Filtration	✓	-	-	-	-	-	-	-
Flotation	✓	-	-	-	-	-	-	-
Fixed Film: Nitrification and Denitrification	-	-	-	✓	-	-	-	-
Fixed Film: Rotating Biological Contactors (RBC)	-	✓	-	-	-	-	-	-
Fixed Film: Trickling Filters	-	✓	-	-	-	-	-	-
Hypochlorination	-	-	✓		-	-	-	-
Ion Exchange	-	-	-	✓	-	-	✓	✓

ตารางที่ 2.2 หน่วยบำบัดที่ใช้ในการกำจัดมลสารต่าง ๆ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2540) (ต่อ)

สารที่ไม่ต้องการในน้ำเสีย / หน่วยบำบัด	Suspended Solids (สารแขวนลอย)	Biodegradable Organic (สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้)	Pathogen (พวกเชื้อโรคต่างๆ)	Nitrogen	Phosphorus	Refractory Organic (สารอินทรีย์ที่ยากแก่การบำบัดโดยทางชีววิทยา)	Heavy Metals	Dissolved Inorganic Solids
Lagoon	-	✓	-	-	-	-	-	-
Land Treatment	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-
Lime Coagulation Sedimentation	-	-	-	-	✓	-	-	-
Metal-salt	-	-	-	-	✓	-	-	-
Ozonation	-	-	✓	-	-	-	-	-
Physical-Chemical	-	✓	-	-	-	-	-	-
Reverse Osmosis	-	-	-	-	-	-	-	✓
Sand Filtration	-	✓	-	-	-	-	-	
Screening and Comminuting	✓	-	-	-	-	-	-	-
Sedimentation	✓	-	-	-	-	-	-	-
Suspended-growth Nitrification and Denitrification	-	-	-	✓	-	-	-	-
Tertiary Ozonation	-	-	-	-	-	✓	-	-

คุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดที่ต้องการจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าควรเลือกขั้นตอนและชนิดของการบำบัดด้วยวิธีใด (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540) ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำเสียที่บำบัดแล้ว (น้ำทิ้ง) ที่กระทรวงอุตสาหกรรมอนุญาตให้ปล่อยสู่ธรรมชาติ ดังนั้นกระบวนการบำบัดน้ำเสียเพียงกระบวนการเดียวอาจไม่เพียงพอที่จะทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามที่กำหนดไว้ โดยคุณลักษณะของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเมื่อพิจารณาพารามิเตอร์หลัก สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ดังนี้

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของน้ำที่ผ่านการบำบัดและการปรับปรุงคุณภาพน้ำ (Asano, 1998)

พารามิเตอร์	ความสำคัญของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว	ค่าประมาณในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว	คุณภาพน้ำที่ต้องการ
ตัวชี้วัดด้านปริมาณสารอินทรีย์			
• BOD_5	จุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์	10-30 mg/L	< 1-10 mg/L
• TOC	การตรวจวัดปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในสารอินทรีย์	1-20 mg/L	< 1-10 mg/L
การวัดอนุภาคของสสาร			
• TSS	ของแข็งแขวนลอยจะมีความสัมพันธ์กับการปนเปื้อนของจุลินทรีย์และความขุ่นซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรค	<1 to 30 mg/L	< 1-10 NTU
• ความขุ่น	การตรวจอนุภาคในน้ำเสียจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณ TSS	1-30 NTU	0.1-10 NTU
จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค	การตรวจวัดจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์	เชื้อโคลิฟอร์ม: < 1-104/100 mL	< 1-2,000/mL
สารอาหาร			
• ไนโตรเจน	เป็นแหล่งสารอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	10-30 mg/L	< 1-30 mg/L
• ฟอสฟอรัส	เป็นแหล่งสารอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	0.1-30 mg/L	< 1-20 mg/L

2.3 การนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่

กระบวนการบำบัดทางชีวภาพและกระบวนการบำบัดทางเคมี ไม่สามารถบำบัดมลทินออกได้หมด จึงมีความจำเป็นที่จะต้องนำเทคโนโลยีขั้นสูงมาประยุกต์ใช้เพื่อให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมหรือนำกลับมาใช้ใหม่ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.4 โดยกระบวนการทำน้ำให้สะอาดหรือการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำ และหลายประเทศเริ่มให้ความสนใจในการที่จะหาวิธีและกระบวนการต่าง ๆ มาใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว เพื่อให้น้ำที่ผลิตได้สามารถนำมาใช้เพื่อการอุปโภคและบริโภค ตลอดจนการนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรม

ตารางที่ 2.4 คุณภาพน้ำที่ต้องการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ (Asano, 1998)

ประเภท	กระบวนการบำบัด	คุณภาพน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัด	ตัวอย่างการนำไปประยุกต์ใช้
ชุมชนเมือง • แหล่งน้ำที่ไม่ถูกควบคุม (Unrestricted)	กระบวนการบำบัดขั้นที่สอง การกรอง และการฆ่าเชื้อโรค	BOD_5: ≤ 10 mg/L; Turbidity: ≤ 2 NTU; Fecal coliform: No detect/100 mL; Cl_2 residual: 1 mg/L; pH 6 to 9	• ใช้เพื่อการชลประทาน เช่น สวนสาธารณะ • การใช้ในอาคาร เช่น น้ำชักโครก • น้ำเพื่อป้องกันอัคคีภัย
• แหล่งน้ำที่ถูกควบคุม (Restricted Access Irrigation)	กระบวนการบำบัดขั้นที่สองและการฆ่าเชื้อโรค	BOD_5: ≤ 30 mg/L; TSS: ≤ 30 mg/L; Fecal coliform: ≤ 200/100 mL; Cl_2 residual: 1 mg/L; pH 6 to 9	• ใช้เพื่อการชลประทาน • สนามกอล์ฟ • ที่อยู่อาศัย
การชลประทานเพื่อเกษตรกรรม • พืชอาหาร	กระบวนการบำบัดขั้นที่สอง การกรอง และการฆ่าเชื้อโรค	BOD_5: ≤ 10 mg/L; Turbidity: ≤ 2 NTU; Fecal coliform: No detect/100 mL; Cl_2 residual: 1 mg/L; pH 6 to 9	• ใช้เพื่อรดน้ำพืชผลทางการเกษตร
• พืชที่ไม่ใช้เป็นอาหารและพืชอาหารที่ผ่านกระบวนการผลิต	กระบวนการบำบัดขั้นที่สองและการฆ่าเชื้อโรค	BOD_5: ≤ 30 mg/L; TSS: ≤ 30 mg/L; Fecal coliform: ≤ 200/100 mL; Cl_2 residual: 1 mg/L; pH 6 to 9	• ใช้เพื่อรดน้ำพืชผลทางการเกษตร เช่นพืชที่เป็นอาหารสัตว์ หญ้า • การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ตารางที่ 2.4 คุณภาพน้ำที่ต้องการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ (Asano, 1998) (ต่อ)

ประเภท	กระบวนการบำบัด	คุณภาพน้ำ ที่ผ่านกระบวนการบำบัด	ตัวอย่าง การนำไปประยุกต์ใช้
<u>เพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ</u> ● แหล่งน้ำที่ไม่ถูกควบคุม (Unrestricted)	การบำบัดขั้นที่สอง การกรอง และการฆ่าเชื้อโรค	BOD_5: $\leq$ 10 mg/L; Turbidity: $\leq$ 2 NTU; Fecal coliform: No detect/100 mL; Cl_2 residual: 1 mg/L; pH 6 to 9	● การใช้เพื่อสันทนาการ เช่น สระว่ายน้ำ และน้ำในทะเลสาบ
● แหล่งน้ำที่ถูกควบคุม (Restricted Access Irrigation)	การบำบัดขั้นที่สอง และการฆ่าเชื้อโรค	BOD_5: $\leq$ 30 mg/L; TSS: $\leq$ 30 mg/L; Fecal coliform: $\leq$ 200/ 100 mL; Cl_2 residual: 1 mg/L; pH 6 to 9	● น้ำจากแหล่งน้ำที่ใช้ตกปลา พายเรือ และอื่น ๆ ที่ไม่ใช่กิจกรรมสันทนาการ
การส่งเสริมสิ่งแวดล้อม (Environmental Enhancement)	กระบวนการบำบัดขั้นที่สอง การกรอง และการฆ่าเชื้อโรค	BOD_5: $\leq$ 10 mg/L; Turbidity: $\leq$ 2 NTU; Fecal coliform: No detect/100 mL; Cl_2 residual: 1 mg/L; pH 6 to 9	● การใช้ประโยชน์จากน้ำเสียเพื่อสร้างพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ● เพิ่มพื้นที่ธรรมชาติและรักษาทิศทางการไหลของน้ำ
การเติมน้ำใต้ดิน (Groundwater Recharge)	-	Site-specific	● การเติมน้ำส่งสู่ใต้ดิน ● การควบคุมระดับน้ำเค็มในน้ำ ● การเติมน้ำเพื่อป้องกันการทรุดตัวของดิน
การใช้ในอุตสาหกรรม (Industrial Reuse)	กระบวนการบำบัดขั้นที่สองและการฆ่าเชื้อโรค	BOD_5: $\leq$ 30 mg/L; TSS: $\leq$ 30 mg/L; Fecal coliform: $\leq$ 200/ 100 mL	● ใช้ในระบบหล่อเย็น ● กระบวนการหม้อต้มไอน้ำ หรือใช้เป็นน้ำล้างทำความสะอาด
สำหรับนำมาใช้ในการผลิตน้ำดื่ม (Potable Reuse)	-	ต้องการความปลอดภัยสำหรับน้ำดื่ม	● นำมาใช้ในการผลิตน้ำประปา

การแยกเป็นกระบวนการหนึ่งที่ถูกนำมาประยุกต์ในการนำน้ำกลับมาใช้ เพื่อแยกองค์ประกอบหรือสารแขวนลอยให้อยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม (Fractionation) และการทำให้บริสุทธิ์ (Purification) โดยมีหลายกระบวนการ เช่น การระเหย (Evaporation) การตกตะกอน (Sedimentation) การหมุนเหวี่ยง (Centrifugation) การกรองแบบดั้งเดิม (Conventional Filtration) และกระบวนการเมมเบรน (Membrane Process) เป็นต้น การเลือกใช้กรรมวิธีการแยกวิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น คุณสมบัติของวัตถุดิบ ความเป็นไปได้ทางเทคนิค ชนิดและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย และความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543) วิธีการทั่วไปในการเอาน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่ ได้แก่ การกรองด้วยสารกรองหลายชั้นในข้างต้น

2.4 การกรองด้วยเยื่อกรองเมมเบรน (Membrane Filtration)

การกรองผ่านเยื่อกรอง (Membrane Filtration) เป็นกระบวนการที่ใช้เยื่อกรองเพื่อแยกสารทำให้สารบริสุทธิ์ขึ้น กระบวนการนี้ถูกค้นพบมานานกว่า 30 ปี และได้พัฒนาขึ้นตามลำดับ สำหรับประเทศไทยในปัจจุบันยังมีการประยุกต์ใช้กระบวนการเยื่อกรองไม่มากนัก ส่วนมากเป็นกระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis) ในการผลิตน้ำสะอาดจากน้ำบาดาลเพื่อใช้ในภาคอุตสาหกรรม เช่น สำหรับหม้อไอน้ำ และในกระบวนการผลิตบางอย่างที่ต้องใช้น้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง และเริ่มมีการใช้งานสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งตลอดจนมีการใช้กระบวนการบำบัดควบคู่กับเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration Membrane) และเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration Membrane) (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543) ในอนาคตกระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองจะมีบทบาทที่สำคัญในด้านสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น เพราะนอกจากจะสามารถใช้บำบัดน้ำเสียเพื่อลดมลทินแล้ว ยังมีศักยภาพสำหรับการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่ซึ่งเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

สำหรับกระบวนกรองที่ใช้เยื่อกรองเพื่อแยกสารหรือเพิ่มความเข้มข้นหรือทำสารให้บริสุทธิ์ขึ้น หลักการของกระบวนการนี้จะต้องมีแรงดันที่ทำให้ของผสมหรือสารละลายไหลผ่านเยื่อกรอง (Pressure Fluid) โดยเยื่อกรองจะมีคุณสมบัติในการเลือกผ่านของสารหนึ่งมากกว่าอีกสารหนึ่ง (Semi-permeable/Perm Selective) เยื่อกรองมีทั้งที่ผลิตจากสารอินทรีย์ โดยส่วนใหญ่เป็นโพลิเมอร์และสารอนินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเซรามิก กระบวนการเยื่อกรองแบ่งได้เป็น 4 กระบวนการ โดยอาศัยหลักการแยกด้วยแรงขับดัน (Drive Pressure) ในการแยกโมเลกุลขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ เรียงตามลำดับ คือ (1) ออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis) (2) นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration) (3) อัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration) และ (4) ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration) (Cheremisnodd, 1995)

2.4.1 ชนิดของเยื่อกรอง (Type of Membrane Filtration)

ในการประยุกต์ใช้เยื่อกรองสำหรับแยกอนุภาคและโมเลกุลนั้น จะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมและตรงตามคุณสมบัติ ดังแสดงในตารางที่ 2.5 โดยแสดงขนาดของรูพรุน (Pore Size) ของเยื่อกรองประเภทต่าง ๆ สามารถแยกได้ดังนี้

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบชนิดของเยื่อกรองเมมเบรน (Ehara, 1998; Korbutowicz, 2008)

กระบวนการ	ขนาดรูพรุน (nm)	ขนาดน้ำหนักโมเลกุล (Da)	แรงดัน (Unit × 100 kPa)	ความสามารถในการกำจัด
ไมโครฟิลเตรชัน	50-5,000	> 300,000	Suction Pressure > 0.6 Press Pressure < 2	- แบคทีเรีย - คอลลอยด์ - โปรโตซัว
อัลตราฟิลเตรชัน	5-100	1,000-300,000	Suction Pressure > 0.6 Press Pressure < 3	- แบคทีเรีย - ไวรัส - สารที่ละลายน้ำ ขนาด 10-500 kDa
นาโนฟิลเตรชัน	~ 1	100-1,000	Press Pressure 2-15	- สารที่มีขนาด 200-300 Da - เกลือประจุบวกสอง
ออสโมซิสผันกลับ	< 1	10-100	Press Pressure >15	- ไอออนละลายน้ำ

ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration: MF) เป็นกระบวนการที่ใช้เยื่อกรองที่มีแผ่นรูพรุนค่อนข้างใหญ่ขนาด 50-1000 nm สำหรับแยกโมเลกุลใหญ่ ๆ เช่น สารแขวนลอย หรืออนุภาคเล็ก ๆ ออกจากของเหลว แรงขับดันที่ใช้อยู่ระหว่าง 100-500 kPa หรือ 1-5 atm ใช้สำหรับการกำจัดสารแขวนลอยที่เป็นสาเหตุความขุ่นของน้ำ แบคทีเรียทั่วไป ชนิดของเยื่อกรองที่ใช้กันโดยทั่วไป เช่น Cellulose acetate Polysulfone และ Polystyrene เป็นต้น การใช้งานเหมาะสำหรับใช้ในการบำบัดน้ำทิ้ง อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม และเทคโนโลยีชีวภาพอาจร่วมกับการะบวนการหมักเพื่อแยกเซลล์จากผลิตภัณฑ์

อัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration: UF) เป็นกระบวนการที่ใช้เยื่อกรองขนาดรูพรุนขนาดเล็ก (Micro Porous) มีขนาดรูพรุนประมาณ 2-20 nm (20-200 Å) แรงขับดันที่ใช้อยู่ระหว่าง 100-800 kPa หรือ 1-8 atm ใช้สำหรับแยกอนุภาคคอลลอยด์ แบคทีเรีย ไวรัส ออกจากน้ำและสารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน ชนิดของเยื่อกรองที่ใช้กันโดยทั่วไป เช่น

Cellulose acetate Polyacrylonitrile และ Polyester เป็นต้น การใช้งานเหมาะสำหรับการแยกหรือเพิ่มความเข้มข้นโปรตีน การกำจัดคอลลอยด์ การบำบัดน้ำทิ้ง ทำน้ำให้บริสุทธิ์ การทำน้ำผลไม้ให้ใสเป็นต้น

นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration: NF) เป็นกระบวนการที่ใช้เยื่อกรองขนาดรูพรุน 2-5 nm ซึ่งใกล้เคียงกับออสโมซิสผันกลับมาก คือมีผลต่างของความดันเป็นแรงขับดันในการแยกตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 1,000 ดาร์ตัน ออกจากสารละลายตัวอย่าง เช่น น้ำตาล สารอินทรีย์น้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยความดันที่ใช้ในการป้อนสารละลาย อยู่ระหว่าง 1-2 MPa หรือ 10-20 atm มีความสามารถในการแยกอิออนบางชนิด และสารอินทรีย์ตามธรรมชาติ (Natural Organic Matter: NOM) ชนิดของเยื่อกรองที่ใช้กันโดยทั่วไป เช่น Polymer Organic Compounds Atomatic Polymide และ Polyvinyl Alcohol เป็นต้น เยื่อกรองนาโนฟิลเตรชันส่วนมากเป็นเยื่อกรองเชิงประกอบ ซึ่งประกอบด้วยชั้นผิวที่มีโครงสร้างแน่นอยู่บนชั้นรองรับที่มีรูพรุนใหญ่กว่า ความสามารถในการกักกันเกลือประจุเดี่ยว (เช่น NaCl) ต่ำกว่าเยื่อแผ่นออสโมซิสผันกลับ คืออยู่ระหว่าง 40-80%

ออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis: RO) กระบวนการนี้เรียกว่า Hyper Filtration เป็นการแยกสารละลายโดยผลต่างความดันระหว่างเยื่อแผ่นเป็นแรงขับดัน เยื่อกรองออสโมซิสผันกลับมีความสามารถในการกักกันโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น เกลือ น้ำตาล (น้ำหนักโมเลกุล < 500 ดาร์ตัน หรือมีขนาดประมาณ 0.1-1 nm) แต่ยอมให้น้ำผ่านได้ และเป็นเยื่อแผ่นที่มีโครงสร้างแน่นหรือไม่มีรูพรุน การผ่านเยื่อแผ่นของสารเกิดจากความสามารถในการละลายและการแพร่ (Solution-diffusion) ในเยื่อแผ่น ความดันที่ใช้ในการป้อนสารละลายอยู่ระหว่าง 1-10 MPa หรือ 10-100 atm การใช้งานที่สำคัญของกระบวนการนี้ คือ การแยกเกลือจากน้ำกร่อย น้ำทะเล เพื่อผลิตน้ำจืด การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำผลไม้ การผลิตน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง ตลอดจนการบำบัดน้ำทิ้งที่มีโลหะเจือปน เช่น อุตสาหกรรมชุบเคลือบโลหะ

คุณสมบัติของเยื่อกรองเมมเบรนแต่ละประเภทเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องทราบ เนื่องจากต้องเลือกเยื่อกรองเมมเบรนให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน การเลือกเยื่อกรองเมมเบรนให้เหมาะสมกับคุณลักษณะของน้ำและสภาวะในการเดินระบบเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้การใช้เทคโนโลยีเมมเบรนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งขนาดของรูพรุนและความสามารถในการกักกันเป็นคุณสมบัติของเยื่อกรองเมมเบรนอย่างแรกที่ต้องทราบ ยกตัวอย่างเช่น ความสามารถในการกักกันเกลือใช้บอกคุณลักษณะของเยื่อกรองเมมเบรนชนิดออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis: RO) และนาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration: NF) คุณสมบัติอื่น ๆ ของเมมเบรนที่มีความสำคัญต่อการเลือกและการใช้งาน โดยทั่วไปขนาดของรูพรุนใช้บอกคุณลักษณะของเมมเบรนชนิดไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration: MF) แต่สำหรับเมมเบรนชนิดอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration: UF)

บอกขนาดรูพรุนในรูปของค่า Molecular Weight Cut Off (MWCO) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการกักกันสารตามมวลโมเลกุลของสารขนาดรูพรุน และ MWCO ของเยื่องกรองเมมเบรนที่มีช่วงกว้าง

2.4.2 โมดูลเมมเบรน

โมดูลแมมเบรน (Membrane Module) คือเยื่อกรองที่ผลิตขึ้นมาสำหรับใช้ในกระบวนการกรองอาจมีรูปร่างต่างกัน เช่น เป็นเยื่อกรองแบบแผ่นเรียบหรือเป็นแบบท่อ ในการใช้ต้องบรรจุหรือประกอบเยื่อกรองให้มีพื้นที่เยื่อกรองตามความต้องการ ซึ่งเรียกว่า (Module) ได้มีการออกแบบโมดูลที่มีรูปร่าง ๆ ต่างกัน โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 แบบ (Scott, 1990) คือ (1) โมดูลแบบแผ่นและแบบกรอบ (Plate and Frame) (2) โมดูลแบบท่อ (Tubular Module) (3) โมดูลแบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Module) และ (4) โมดูลแบบท่อม้วน (Spiral Wound Module) หลักในการออกแบบต้องคำนึงถึงการใช้งานคือ ต้องมีอัตราการไหลผ่านสูง ลดการสะสมที่ผิวหน้าเยื่อแผ่น กะทัดรัด มีพื้นที่ต่อหน่วยปริมาตรของโมดูลสูง โดยทั่วไปความเหมาะสมของการออกแบบโมดูลที่ใช้ในการแยกสามารถแบ่งได้ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ความเหมาะสมของโมดูลแต่ละชนิด (Scott, 1990)

โมดูลเมมเบรน	ชนิดของโมดูล					
โมดูลแบบแผ่นและแบบกรอบ	RO	PV	-	UF	ED	-
โมดูลแบบเส้นใยกลวง	RO	PV	GP	UF	-	-
โมดูลแบบท่อม้วน	RO	PV	GP	UF	-	-
โมดูลแบบท่อ	RO	-	-	UF	-	MF

หมายเหตุ : RO: Reverse Osmosis UF: Ultrafiltration MF: Microfiltration
ED: Electro dialysis GP: Gas Permeation PV: Pervaporation

1. โมดูลแบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Module) โมดูลชนิดนี้ประกอบไปด้วยเยื่อเมมเบรนแบบบางที่บรรจุอยู่ใน Housing ส่วนนอกของเส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 80-200 ไมครอน และมีความหนาน้อยกว่า 20 ไมครอน ความดันที่ใช้สูงถึง 80 บาร์ สารที่ป้อนจะเข้าทางด้านนอกซึมผ่านเข้าไปภายในเส้นใย สิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของของโมดูลแบบเส้นใยกลวง คือ สารที่ป้อนเข้าไปนั้นควรจะสะอาด เพื่อป้องกันการเกิดการอุดตันที่เป็นสาเหตุทำให้เกิด Fouling ค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูเยื่อเมมเบรนสูง และสารที่ป้อน (ผ่านการบำบัดขั้นต้น) จำเป็นจะต้องทำการตกตะกอนของเกลือมาก่อน มีพื้นที่เยื่อแผ่นต่อหน่วยสูงถึง 30,000 m^2/m^3 เป็นต้น

2. โมดูลแบบท่อม้วน (Spiral Wound Module) ประกอบด้วยเมมเบรนแบบแผ่นวางซ้อนกันม้วนรอบแกนที่เป็นท่อเพอมิเอท แผ่นกั้นของสารป้อนที่อยู่ระหว่างแผ่นเมมเบรนจะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดความกว้างของช่องสารป้อน ซึ่งจะมีความหนา 1.0 mm และความเร็วที่ไหลแบบ Cross Flow มีพื้นที่ต่อปริมาตรทั่วไป 300-1,000 m^2/m^3 แผ่นเมมเบรนสองชั้นหรือหลายชั้นต้องมีความเหมาะสมและสามารถรองรับความดันที่เกิดขึ้นภายใน Housing ที่มีการป้อนสารเข้าไปภายในและยอมให้น้ำรีเทนเทท (Retentate) ออกมาได้

3. โมดูลแบบท่อ (Tubular Module) จะมีส่วนประกอบของท่อที่มีชั้นของเยื่อกรองเมมเบรนหุ้มอยู่รอบท่อ สารที่ป้อนเข้าจะเข้าทางด้านในแล้วซึ่งผ่านออกมาทางเยื่อกรองเมมเบรนออกสู่ด้านนอกของชั้นเยื่อกรองเมมเบรน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่ออยู่ระหว่าง 1.2-2.4 m จะบรรจุอยู่ในตัวบรรจุ (Housing) ซึ่งประกอบด้วยเมมเบรนหลาย ๆ ท่อ หลักการในการประยุกต์ใช้เยื่อกรองเมมเบรนแบบท่อ คือสารที่ป้อนเข้าไปนั้นไม่จำเป็นต้องเป็นสารที่ผ่านการบำบัดมาก่อน เนื่องจากการทำความสะอาดเยื่อกรองสามารถใช้กลไกในการทำความสะอาดได้ การไหลแบบ Cross Flow ทั่วไปจะถูกนำมาใช้กับโมดูลแบบท่อ ดังนั้นในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (Permeate) จึงเป็นที่นิยม ความเร็วสูง ๆ จะทำให้เกิดความดันสูญเสีย (Pressure Loss) มากกว่า 4 บาร์ โมดูลแบบท่อม้วนมีพื้นที่เมมเบรนต่อปริมาตรน้อยกว่า 100 m^2/m^3 ซึ่งจัดว่าน้อยกว่าโมดูแบบท่อม้วน และมีความสามารถในการผลิตต่ำอยู่ที่ 100 m^3/dm^2 โมดูลชนิดนี้ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration) และไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration) วัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่ทำจากวัสดุอนินทรีย์ แต่วัสดุชนิดนี้มีราคาสูง

4. โมดูลแบบแผ่นและแบบกรอบ (Plate and Frame) มีลักษณะเป็นแผ่นมาประกบกัน พื้นที่ต่อปริมาตรทั่วไป 100-400 m^2/m^3 และได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม คือใช้ในกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน กับกระบวนการอิเล็กโตรไดอะไลซิส ด้วยผลต่างของแรงขับดันที่ใช้ในกระบวนการแยกโดยการออกแบบค่อนข้างจะแตกต่างกันและความสามารถในการแยกแตกต่างกัน

5. โมดูลแบบเส้น (Capillary Module) จะมีลักษณะคล้ายโมดูลแบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Module) แต่จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า โดยส่วนใหญ่จะนำมาใช้กับกระบวนการ UF เนื่องจากใช้แรงดันที่ต่ำกว่าและมีความเป็นไปได้ในการรักษาความดันบรรยากาศภายในเส้นใย ดังนั้นสารที่ป้อนเข้าไปจะมีผลต่อชั้นเยื่อกรอง แล้วช่วยให้สามารถควบคุม Concentration Polarization ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ครอบโมดูลชนิดนี้มีขนาด 0.8-1.0 m และมีความยาวประมาณ 1.0 m และมีพื้นที่กรองต่อปริมาตรต่ำกว่ากระบวนการ RO และแรงดันที่ใช้ในการส่งผ่านเยื่อกรองเมมเบรนอยู่ที่ 2-3 บาร์ เส้นใยที่ใช้ในกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ส่วนใหญ่ผลิตจากพอลิเมอร์ เช่น Polysulfone Polyacrylonitrile และ Chlorinated Polyolefin ในการออกแบบเส้นใย

กลวงแบบคาปิลลารีของกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน มีลักษณะคล้ายกับการออกแบบเส้นใยในกระบวนการออสโมซิส ผันกลับ (Reverse Osmosis) ทำหน้าที่ในการแยกอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 ไมครอน ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดฟาวลิง (Fouling) อย่างไรก็ตาม การเกิดฟาวลิงสามารถทำความสะอาดได้ด้วยกระบวนการทางกายภาพที่เรียกว่าการล้างย้อน

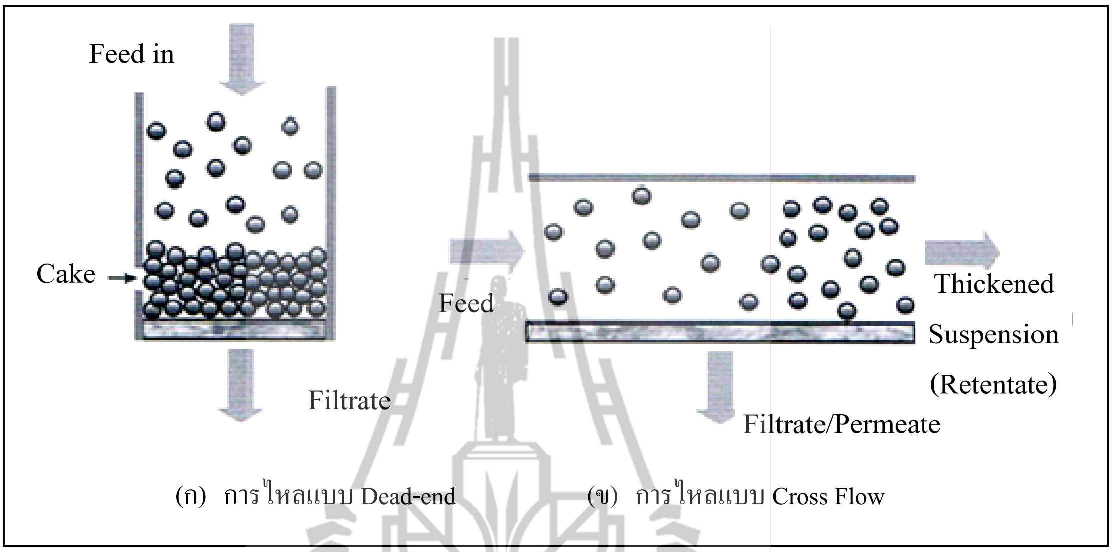
ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของเยื่อกรองเมมเบรนแต่ละชนิด (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543)

คุณสมบัติ	วัสดุพอลิเมอร์				
	Polyvinylidene fluoride (PVDF)	Celulose Acetate	Polysulfone (PSU)	Aromatic Polyamide	Poly acrylonitile
MWCO (kDa)	100	1-50	3-60	1-50	30-10
pH	1-12	3.5-7.0	0-14	2-12	2-12
อุณหภูมิ (^{o}C)	80	35	100	80	50
ความทนทานต่อคลอรีน	ปานกลาง	ดี	ดี	ด้อย	ปานกลาง
ความทนทานต่อสารละลาย	สูง	ด้อย	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
รูปแบบของเมมเบรน	- แบบท่อ - แบบท่อม้วน - แบบเส้นใยกลวง	- แบบแผ่น - แบบท่อ	- แบบแผ่น - แบบท่อ - แบบท่อม้วน - บบเส้นใยกลวง	- แบบแผ่น - แบบท่อ - แบบเส้นใยกลวง	- แบบแผ่น - แบบท่อ - แบบเส้นใยกลวง

2.4.3 ระบบการกรองของเยื่อกรองเมมเบรน

การกรองแบบปิดตาย (Dead-end Filtration) เป็นการป้อนสารเข้าในทิศทางที่ตั้งฉากกับแผ่นกรองหรือเมมเบรน ตัวถูกละลายที่ไม่ผ่านเมมเบรนจะถูกสะสมบนผิวหน้าของเมมเบรนทั้งหมดมีเพียงส่วนของเพอมิเอท (Permeate) เท่านั้นที่ไหลออกจากระบบ การสะสมของตัวถูกละลาย ซึ่งจะเกิดเป็นชั้นเจลหรือเค้กที่หนาทำให้ความต้านทานการไหลของเพอมิเอทเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้อัตราการไหลของเพอมิเอทลดลงอย่างรวดเร็วและอาจทำให้ความสามารถในการเก็บกักสารเปลี่ยนแปลงการกรองแบบนี้มักใช้ในระดับการทดลอง สำหรับการกรองแบบไหลขวาง (Cross Flow Filtration) การกรองแบบนี้สารป้อนจะไหลในทิศที่ขนานกับแผ่นกรอง สารป้อนจะถูกแยกออกเป็น 2 เฟส ได้แก่ (1) เฟสที่ผ่านเมมเบรน คือ เพอมิเอท (Permeate) และ (2) เฟสที่ไม่ผ่านเมมเบรน

คือ รีเทนเทท (Retentate) การกรองแบบไหลขวางจะสามารถลดการอุดตัน เนื่องจากอัตราการไหลเป็นแบบไหลเฉือนผิวหน้าเยื่อกรองและทำให้อนุภาคที่เกาะอยู่บางส่วนสามารถหลุดออกไปได้ (Smith et al., 2006)



รูปที่ 2.1 รูปแบบการไหลของสารป้อนเข้า

2.4.4 ประเภทของฟาวลิง

การอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรนมักเกิดกับเยื่อกรองเมมเบรนที่มีรูพรุนแบบอัลตราฟิลเตรชันและไมโครฟิลเตรชัน โดยขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ป้อนเข้า (Schafer, 2001) ซึ่งสามารถแบ่งได้ 4 ประเภท คือ

1. Organic Fouling ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของสารอินทรีย์ จากงานวิจัยของ DiGiano et al. (1994) พบว่าโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่กว่า 30 กิโลดาร์ตัน จะทำให้เกิดการอุดตันของนาโนฟิลเตรชัน สำหรับโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่กว่า 100 กิโลดาร์ตัน จะทำให้เกิดการอุดตันของไมโครฟิลเตรชันส่งผลให้ค่าฟลักซ์ลดลง สารอินทรีย์ธรรมชาติยังเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการอุดตันที่เกิดจากการสะสมที่ผิวหน้าและช่องว่างของเยื่อกรอง (Amy and Cho, 1999) โดยสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ทำให้เกิดการอุดตันนั้นเกิดจากสารอินทรีย์ ซึ่งประกอบไปด้วย Proteins Amino Sugars Polysaccharides และ Polyhydroxyaromatics (Wiesner et al., 1992)

2. Inorganic Fouling การอุดตันที่เกิดจากสารอนินทรีย์ เกิดจากการสะสมของสารอนินทรีย์ที่ผิวเยื่อกรองเมมเบรน เช่น สารประกอบโลหะและทำให้ผิวหน้าของเมมเบรนหนาขึ้นหรือช่องว่างภายในรูพรุนลดลง ตะกอนถูกรวมตัวกันเมื่อสารเคมีมีความเข้มข้นเกินจุดอิ่มตัว

สำหรับการอุดตันเป็นสิ่งสำคัญสำหรับกระบวนการออสโมซิสผันกลับและนาโนฟิลเตรชัน ซึ่งประเภทของสารอนินทรีย์เหล่านั้นจะสร้างชั้นที่มีความเข้มข้นบนผิวเยื่อกรองที่เรียกว่าการสะสมของชั้นเค้กสำหรับไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชันการอุดตันขึ้นอยู่กับการสะสมของชั้นเคกแต่สามารถคงอยู่ได้เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างอิออนและการอุดตันอื่น ๆ ของวัสดุ (เช่น โพลีเมอร์อินทรีย์) โดยพันธะทางเคมี กระบวนการบำบัดขั้นต้นสำหรับการกรองผ่านเยื่อกรอง ได้แก่ โคแอกกูเลชันและออกซิเดชัน อาจเพิ่มสารประกอบออกไซด์ของโลหะบนผิวหน้าของเยื่อกรองหรือรูพรุนภายในการอุดตันเป็นปัญหาสำคัญซึ่งสามารถทำให้สะอาดได้ด้วยสารเคมี สารอนินทรีย์ที่ทำให้เกิดการอุดตันได้แก่ แคลเซียม (Calcium) แมกนีเซียม (Magnesium) คาร์บอนเนต (Carbonate) ซัลเฟต (Sulfate) และเหล็ก (Iron) เป็นต้น

3. Colloid/Particle Fouling ในที่นี้หมายถึงอนุภาคที่มีขนาด 1 nm ถึง 1 μm (Potts et al., 1981) โดยอนุภาคดังกล่าวอาจประกอบไปด้วยสารประกอบอินทรีย์ คอลลอยด์ อนินทรีย์ก็ได้ สำหรับสาหร่าย แบคทีเรีย และสารอินทรีย์ธรรมชาติถูกจัดอยู่ในกลุ่มของคอลลอยด์ อย่างไรก็ตามยังมีความแตกต่างจากอนุภาคที่มีความเฉื่อย เช่น โคลนและดินเหนียว เพื่อเป็นการแยกข้อแตกต่างของการอุดตันระหว่างอนุภาคและคอลลอยด์สามารถอ้างถึงลักษณะทางชีวภาพของสารอินทรีย์ตามธรรมชาติ ในหลายกรณีอนุภาคและคอลลอยด์ไม่ได้เกิดการอุดตันอย่างแท้จริงเนื่องจากการลดลงของอัตราการไหลซึ่งมีสาเหตุมาจากการสะสมบนผิวหน้าของเยื่อกรอง โดยส่วนมากสามารถล้างย้อนได้ด้วยการล้างย้อนและขัดถูด้วยอากาศ น้อยมากที่เกิดกรณีการไม่คืนสภาพเดิมด้วยอนุภาคและคอลลอยด์ที่มีขนาดเล็กกว่าช่องว่างของเยื่อกรอง ดังนั้นอนุภาคและคอลลอยด์สามารถเข้าและติดอยู่ในเยื่อกรองและไม่ง่ายที่จะทำความสะอาดได้ด้วยพลังน้ำ

4. Microbial Fouling การอุดตันจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก การอุดตันของจุลินทรีย์เป็นผลมาจากการรวมตัวกันของสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ บนผิวหน้าของเยื่อกรอง เมื่อแบคทีเรียสัมผัสกับเยื่อกรองนานขึ้นจะก่อให้เกิด EPS หรือ Extracellular Polymetric Substance ซึ่งมีลักษณะข้นเป็นโคลนเหมือนเจล ลักษณะของ EPS ประกอบด้วยกลุ่มคาร์โบไฮเดรตและความหนาแน่นของประจุซึ่งลักษณะของเจลจะช่วยป้องกันเซลล์ของแบคทีเรียจากแรงเฉือนของน้ำและสารเคมี เช่น คลอรีน

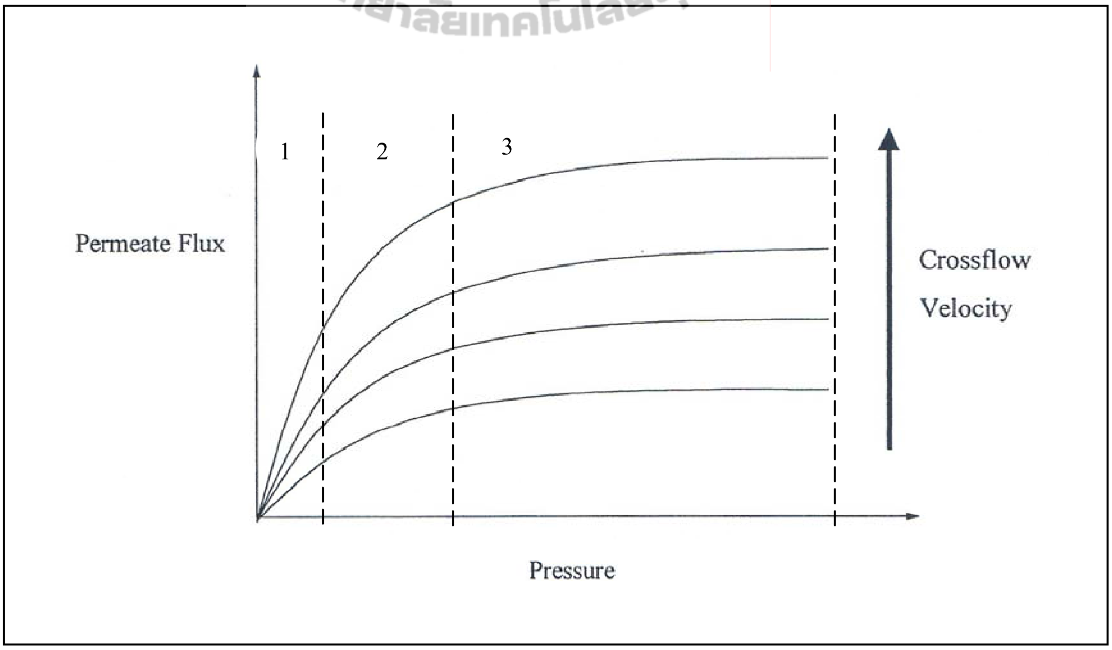
2.4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรน

การเกิด Concentration Polarization (CP) เกิดจากการสะสมของโมเลกุล/อนุภาคของตัวถูกละลายที่ไม่สามารถผ่านเยื่อกรองได้ เป็นปรากฏการณ์ที่พบอยู่ทั่วไปในกระบวนการกรองโดยใช้เยื่อกรอง ตัวถูกละลายที่ไม่สามารถผ่านเยื่อกรองจะสะสมอยู่ผิวหน้าเยื่อแผ่น ทำให้ความเข้มข้นบริเวณนั้นสูงกว่าในสารละลาย ทำให้ตัวถูกละลายที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถผ่านเยื่อกรองได้การเกิด CP ซึ่งจะนำไปสู่การอุดตันของเยื่อกรอง ทำให้สมรรถภาพของเยื่อแผ่นลดลง

การเกิด Fouling เป็นการสะสม/อุดตัน ของตัวถูกละลายทั้งบนผิวหน้าเยื่อแผ่นและภายในรูพรุน ซึ่งทำให้ฟลักซ์ลดลง และการกักกันโมเลกุลเปลี่ยนไป สิ่งสะสมและอุดตันจะไม่สามารถล้างออกได้ด้วยน้ำต้องทำความสะอาดด้วยสารเคมีที่เหมาะสม การเกิดการอุดตันมีผลกระทบต่อกระบวนการกรอง

การเกิดฟลักซ์ (Flux) เป็นค่าที่แสดงถึงสมรรถนะของกระบวนการซึ่งจะอยู่ในรูปของแรงขับดันและความต้านทานต่อการไหล จะมีผลต่อการบดบังของรูพรุนและทำให้เกิดการเสียดทานภายในรูพรุนของเยื่อกรอง ซึ่งมีผลโดยตรงต่อต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ

Transmembrane Pressure สำหรับการเดินระบบด้วยการไหลแบบ Cross Flow พบว่าอัตราการไหลผ่านเยื่อกรอง (Flux) ที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อความดันที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการสะสมของอนุภาคที่ผิวหน้าเยื่อกรอง จากรูปที่ 2.2 เมื่อทำการเดินระบบในช่วงที่หนึ่ง (เริ่มต้น) อัตราการไหลผ่านเยื่อกรอง (Flux) จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว กราฟที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง ในช่วงที่สองอัตราการไหลผ่านเยื่อกรองเป็นแบบเอกโพเนนเชียลและในช่วงที่สามพบว่าอัตราการไหลผ่านเยื่อกรองเริ่มคงที่ค่าความดันสูง ๆ สำหรับความเข้มข้นต่ำและค่าความดันการเดินระบบที่พอดีอัตราการไหลผ่านเยื่อกรองและความดันจะมีความสัมพันธ์กันในลักษณะแปรผันตรง ที่ความดันในการเดินระบบที่สูง ๆ การลดลงของอัตราการไหลผ่านเยื่อกรองเริ่มต้นจะคงที่และในที่สุดก็สม่ำเสมอ (Metcalfe and Eddy, 1991)



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันต่อเพอมิเอทฟลักซ์ (Herath, 1984)

2.4.6 การตรวจสอบเยื่อกรองเมมเบรน

เป็นการวิเคราะห์การอุดตันเยื่อกรองเมมเบรน เนื่องจากทำให้ฟลักซ์ลดลงโดยพิจารณาจากค่าแรงดันที่ผ่านเยื่อกรอง เรียกว่า Transmembrane Pressure (TMP) ดังนั้นจึงทำให้ต้องทราบค่าต่าง ๆ ดังนี้

1. เปอร์เซ็นต์กักกัน หมายถึง จำนวนเปอร์เซ็นต์ที่เยื่อเมมเบรนสามารถกักกันตัวถูกละลายเอาไว้ไม่ให้ผ่านเมมเบรน ดังสมการ (2.1)

$$R = 1-\frac{C_p}{C_f} \tag{2.1}$$

เมื่อ R คือ อัตราการกักกันตัวถูกละลายออกจากน้ำ

C_p คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่มีอยู่ในน้ำเพอมิเอท

C_f คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่มีอยู่ในน้ำป้อนเมมเบรน

2. เพอมิเอทฟลักซ์ หมายถึง อัตราการไหลของน้ำเพอมิเอทผ่านพื้นที่ผิวเมมเบรนมีหน่วยเป็นปริมาตรต่อพื้นที่ผิวเมมเบรนต่อเวลา มีความสัมพันธ์กับแรงขับดัน และสภาพการซึมผ่านเมมเบรนของตัวทำละลาย คำนวณได้จากสมการ (2.2)

$$J = \frac{\Delta P - \Delta\pi}{\mu R} \tag{2.2}$$

เมื่อ J คือ ฟลักซ์ของสารละลายผ่านเมมเบรน (m^3/m^2.sec)

ΔP คือ ผลต่างของความดันที่ใช้กับสารละลาย (Pascal)

$\Delta\pi$ คือ ผลต่างความดันออสโมติกของสารละลาย (Pascal)

μ คือ ความหนืดของสารละลาย (Pascal/sec)

R คือ ความต้านทานต่อการไหลผ่าน (Per meter)

สำหรับน้ำบริสุทธิ์ และสารละลายของสารโมเลกุลใหญ่ค่า $\Delta\pi$ มีค่าเท่ากับศูนย์และน้อยกว่า ΔP มาก ๆ ดังนั้นสามารถตัด $\Delta\pi$ ทิ้งได้ (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543) ดังแสดงในสมการที่ (2.3)

$$J = \frac{\Delta P}{\mu R} \tag{2.3}$$

$$\Delta P = J \times \mu \times R_t \tag{2.4}$$

การต้านทานของเยื่อกรองที่ได้ผ่านการใช้งานสามารถสังเกตได้ เมื่อฟลักซ์ลดลง ซึ่งแสดงว่าเกิดความต้านทานการไหลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งความต้านทานในการไหล (R_t) ของเยื่อกรองที่ผ่านการใช้งานนั้นรวมความต้านทานจากหลายส่วน คือ ความต้านทานเนื่องจากการเกิดฟาวลิง (R_f) ความต้านทานจากการเกิดโพลาไรซ์ (R_p) ซึ่งเป็นผลรวมของความต้านทานเนื่องจากการเกิดคอนเซ็นเตรชันโพลาไรเซ ชัน (R_{cp}) และจากชั้นเค้ก (R_g) และความต้านทานเนื่องจากการอุดตันรูพรุนของตัวถูกละลาย (R_{pb})

3. เปอร์เซ็นต์แยกกลับ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาตรน้ำสะอาดที่ผลิตได้ต่อปริมาตรของน้ำดิบที่ใช้ผลิตน้ำสะอาด คำนวณตามสมการ (2.5)

$$\%R = 100 \times \frac{Q_p}{Q_f} \tag{2.5}$$

เมื่อ R คือ เปอร์เซ็นต์แยกกลับ (% Reject)
Q_p คือ อัตราการไหลของน้ำเพอมิเอท
Q_f คือ อัตราการไหลของน้ำดิบที่เข้าระบบ

2.4.7 การทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรน

เมื่อทำการเดินระบบเป็นระยะเวลาหนึ่งจะเกิดค่าฟลักซ์ที่ลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการที่เยื่อกรองเมมเบรนเกิดการอุดตัน (Fouling) ของตัวถูกละลายทั้งบนผิวหน้าเยื่อกรองและภายในรูพรุนเยื่อกรอง จึงจำเป็นต้องทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนเพื่อให้ เพื่อให้เยื่อกรองมีสภาพที่ใกล้เคียงกับเยื่อกรองใหม่มากที่สุด และเพื่อยืดอายุการใช้งานด้วยวิธีที่เหมาะสม โดยการทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนนั้น แบ่งออกเป็น 2 วิธีหลัก คือ (1) วิธีทางกายภาพ (Physical Method) เป็นการทำความสะอาดที่ใช้การเปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงาน เช่น การเพิ่มอัตราการไหล การขูดชั้นสะสมออกจากหน้าผิวด้วยฟองน้ำ การล้างกลับ (Back Washing) เป็นต้น (2) วิธีทางเคมี (Chemical Method) เป็นการใช้สารเคมีทำความสะอาดเยื่อกรองเช่น กรด ด่าง เอ็มไซม์ เป็นต้นวิธีทางกายภาพ และวิธีทางเคมี (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543)

1. วิธีทางกายภาพ ใช้หลักการในการล้างกลับทางหรือล้างย้อน (Backwash) เพื่อให้สารที่อยู่บนผิวหน้าของเยื่อกรองเมมเบรนหลุดออกไป เช่น การเพิ่มอัตราการไหล ซึ่งจะเพิ่มแรงเฉือนที่ผิวหน้าเยื่อแผ่น แต่จะลดการสะสมและการอุดตันได้ระดับหนึ่งเท่านั้น การล้างย้อนอาจทำระหว่างการกรองหรืออาจทำเมื่อเสร็จสิ้นการกรองได้ แต่ไม่สามารถกำจัดสารที่สะสมอยู่ในเยื่อกรองเมมเบรนได้หมด จึงจำเป็นต้องทำความสะอาดด้วยวิธีทางเคมีต่อไป

2. วิธีทางเคมี สารเคมีอาจช่วยให้มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ โดยอาจทำให้สารอุดตันพองตัว หดตัว ละลาย เกิดการหลุดออก (Desorption) หรือสารเคมีที่ใช้อาจทำปฏิกิริยากับสารอุดตัน เช่น การเกิดไฮโดรไลซิส การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน เป็นต้น ซึ่งสารเคมีที่ใช้ได้แก่ กรด ด่าง เอ็นไซม์ สารลดแรงตึงผิว สารฆ่าเชื้อ เป็นต้น การจะเลือกสารเคมีใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเยื่อกรองเมมเบรนว่ามีความสามารถในการคงทนต่อสารเคมีนั้นได้มากน้อยเพียงใด สารเคมีที่ใช้ทำความสะอาดเมมเบรน สามารถจำแนกเป็น กรด ด่าง สารลดแรงตึงผิว สารจับโลหะ และเอ็นไซม์

สารทำความสะอาดที่เป็นกรด ใช้ได้ทั้งกรดอินทรีย์และอนินทรีย์ ส่วนใหญ่มีหน้าที่กำจัดตะกรันที่เกิดจากเกลือต่างๆ เช่น เกลือของสารประกอบแคลเซียม และโลหะออกไซด์ โดยกรดเข้าไปทำการสลายตะกรันให้อยู่ในรูปของสารละลายเกลือ เช่น การเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแคลเซียมคลอไรด์ และคาร์บอนไดออกไซด์

- กรดไฮโดรคลอริกและซัลฟูริก เป็นกรดที่มีราคาถูก แต่ถ้าใช้ในระดับความเข้มข้นสูง อาจทำลายเมมเบรนและองค์ประกอบอื่น ๆ ของระบบกรองได้

- กรดไนตริก เป็นสารเคมีที่ทำให้เกิดการออกซิไดซ์อย่างรุนแรง และสามารถทำให้เกิดการรวมตัวของไนตริกกับสารอินทรีย์บางตัวได้ จึงสามารถใช้กำจัดการอุดตันที่เป็นสารอินทรีย์หรือสารชีวภาพได้ แต่มีข้อเสียที่อาจทำลายเมมเบรนบางชนิดได้

- กรดฟอสฟอริก มีฤทธิ์ในการทำลายเมมเบรนได้น้อยกว่ากรดเกลือ ซัลฟูริก และไนตริก เป็นตัวจับโลหะที่ดีและเพิ่มประสิทธิภาพ การกำจัดเหล็กออกไซด์สามารถใช้กับสารละลายบัพเฟอร์เพื่อควบคุมพีเอชในระหว่างกระบวนการทำความสะอาดได้ ข้อเสียของกรดฟอสฟอริกคือมีราคาแพง

- กรดซิตริก มีความสามารถในการจับโลหะ จึงเหมาะสมกับการกำจัดตะกอนแคลเซียม แต่จะก่อตัวเป็นองค์ประกอบที่ซับซ้อนของเฟอรัส (Ferrous Iron) ทำให้มีการละลายที่จำกัด สามารถแก้ปัญหาได้โดยการเติมแอมโมเนีย ในสารทำความสะอาด เพื่อให้โลหะเกิดปฏิกิริยารวมตัวเป็น Ferrous Ammonium Salt ซึ่งละลายได้สูง

สารทำความสะอาดที่เป็นด่าง ใช้ในการกำจัดฟาวลิงจำพวกสารอินทรีย์ คอลลอยด์ ซิลิกา สารอนินทรีย์ และยังใช้เป็นสาร Sanitizer ได้ด้วย สารที่นิยมใช้ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไตรฟอสเฟต โซเดียมไฮโปคลอไรด์ เป็นต้น

สารลดแรงตึงผิว เป็นสารสังเคราะห์ที่มีขั้วและไม่มีขั้ว ส่วนที่มีขั้วจะจับกับน้ำหรือสารละลายที่มีขั้ว ส่วนที่ไม่มีขั้วจับกับไขมันและน้ำมัน สารลดแรงตึงผิวมีผล ในการทำความสะอาดเมมเบรนโดยกำจัดการอุดตันออกจากผิวหน้าเมมเบรน ทำให้ไขมันและน้ำมันเป็นอิมัลชันรวมตัวกับสารอุดตันที่มีคุณสมบัติ ไม่ชอบน้ำ ทำให้เกิดเป็นไมเซลล์โดยส่วนที่ชอบน้ำจะหันทางที่มีขั้วให้กับน้ำ ทำให้เกิดไมเซลล์ทรงกลมที่มีน้ำล้อมรอบสารลดแรงตึงผิว ที่ใช้ล้างเมมเบรนมีโครงสร้างทางเคมีหลากหลาย เช่น เป็นกลาง ประจุลบ ประจุบวก เป็นต้น ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิว เช่น คาร์บอกซเลต ซัลโฟเนต ซัลเฟต ฟอสเฟต สารประกอบแอมโมเนีย เป็นต้น

เอ็นไซม์ เป็นสารทำความสะอาดที่มีราคาแพง ใช้สำหรับทำความสะอาดสารอินทรีย์ เช่น โปรตีน โดยทำให้เกิดการแตกตัว ประสิทธิภาพของเอ็นไซม์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น หรือมีความเป็นกรดด่างที่ไม่เหมาะสม ตัวอย่างเอ็นไซม์ที่ใช้ทำความสะอาดเมมเบรน เช่น ถ้าสารอุดตันเป็นโปรตีน ควรใช้เอ็นไซม์โปรติเอส (Protease)

สารจับโลหะ เป็นสารจับโลหะประกอบด้วยตัวรับ อิเล็กตรอน 2 อะตอมหรือมากกว่า ซึ่งจะไปร่วมสร้างพันธะกับอะตอมเดี่ยว สารจับโลหะที่นิยมใช้ คือ อีดีทีเอ (Ethylelnedimine tetra Acetic Acid: EDTA) และซิเตรท เป็นต้น

สารฆ่าเชื้อ เป็นสารสำหรับฆ่าเชื้อเมมเบรน โดยเฉพาะกับเมมเบรนที่ไม่ทนความร้อน ซึ่งไม่สามารถฆ่าเชื้อด้วยน้ำร้อนหรือไอน้ำ สารที่นิยมใช้กันมาก คือ ไฮเปอร์คลอไรท์ แต่มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถใช้ได้กับสารที่ผลิตจากพอลิเอไมด์ และสารพวก Peracetic Acid และ Hydrogen Peroxide

ตารางที่ 2.8 ตัวอย่างสารทำความสะอาดที่ใช้ในการกำจัดสารที่อุดตัน (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543)

สารทำความสะอาด	สารอุดตัน		
	ตะกรันเกลือออกไซด์ของโลหะ	คอลลอยด์/อนุภาค	จุลินทรีย์
กรดเกลือเข้นข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก	✓	-	-
กรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ผสมกับแอมโมเนียไฮกรอกไซด์ (พีเอช 4)	✓	-	-
กรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก	✓	-	-
โซเดียมไฮดรอกไซด์ พีเอช 11-12	-	✓	✓
ไตรโซเดียมฟอสเฟตเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ผสมกับเกลือโซเดียมไฮดรอกไซด์ของอีดีทีเอเข้มข้น ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ พีเอช 11-12	-	✓	✓
โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์เข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก	✓	-	-
กรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักผสม แอมโมเนียมไบฟลูออไรด์เข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก	✓	✓	-

2.5 สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter: NOM)

ปัญหาใหญ่ของน้ำเสียมักเกิดจากสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ ทำให้ต้องมีการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพเกิดขึ้น เนื่องจากสารอินทรีย์มักย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จึงมีความต้องการออกซิเจนเพื่อให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้ออกซิเจนในการหายใจได้ ปริมาณสารอินทรีย์ที่มีมากเกินไปทำให้ออกซิเจนละลายน้ำในธรรมชาติมีไม่พอเพียง เกิดสภาวะขาดอากาศซึ่งมีผลทำให้เกิดการเน่าเหม็นของแหล่งน้ำ และการเสียชีวิตของสัตว์น้ำต่าง ๆ ที่ขาดออกซิเจน โดยพบว่าสิ่งปนเปื้อนในน้ำ ยังเกิดจากสิ่งสกปรกที่แขวนลอยในน้ำ (Suspended Impurities) ได้แก่ อนุภาคของดินขนาดต่าง ๆ แร่ธาตุ (Mineral Matter) สารอินทรีย์ (Organic Matter) สาหร่าย (Algae) โปรโตซัว (Protozoa) และแบคทีเรีย (Bacteria) ซึ่งรวมทั้งชนิดที่ทำให้เกิดโรคและชนิดที่ไม่ทำให้เกิดโรค (Pathogenic and Non-pathogenic Bacteria) สารเหล่านี้จะทำให้น้ำมีสี กลิ่นและความขุ่น สิ่งสกปรกที่ละลายน้ำ (Dissolved Impurities) ได้แก่ แก๊สต่าง ๆ เช่น ออกซิเจน (Oxygen) ไนโตรเจน (Nitrogen) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide) แอมโมเนีย (Ammonia) คาร์บอนไดออกไซด์

(Carbon Dioxide) มีเทน (Methane) คลอไรด์ (Chloride) ไนไตร์ท (Nitrite) ไนเตรท (Nitrate) เป็นต้น ส่วนสารคอลลอยด์ในน้ำ (Colloidal Impurities) ได้แก่ อนุภาคที่เล็กที่สุดของซิลิกาและดินอินทรีย์วัตถุที่เน่าเปื่อย (Organic Matter) ซึ่งอยู่ในรูปของคอลลอยด์ที่ไม่ตกตะกอน (Colloidal or Pseudo Solution)

2.5.1 แหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

สารอินทรีย์ในน้ำมีบทบาทสำคัญในงานด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2547) โดยทั่วไปสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. สารอินทรีย์ที่เกิดจากการย่อยสลายของอินทรีย์สาร ซากพืชซากสัตว์ในน้ำธรรมชาติที่เรียกว่า Natural Organic Matter (NOM) เกิดเป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กจนสามารถละลายน้ำได้ เช่น สารกลุ่มฮิวมิก (Humic Acid) และฟลูวิก (Fulvic Acid) ซึ่งสารทั้งสองนี้ยังมีส่วนทำให้เกิดสีในน้ำ (สีน้ำตาลอ่อนหรือสีชา)

2. สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นด้วยจุลินทรีย์ ประกอบด้วยโปรโตซัว แบคทีเรีย เชื้อรา และสาหร่ายเซลล์เดียว สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นนี้อาจละลายปนเปื้อนมากับน้ำโดยตรง หรือเกิดจากซากจุลินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายทำให้สารอินทรีย์ที่อยู่ภายในเซลล์ละลายปนมากับน้ำตัวอย่าง เช่น สารกลุ่มไมโครซีสติน (Microcytin) ที่เกิดจากสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว Microcytin Aeruginose ซึ่งสารกลุ่มนี้บางตัวเป็นสารพิษ สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวชื่อโอเซียลาโตเรียลิโมสา (Oseillatoria Limosa) จะผลิตสารกลุ่มที่เกิดจากการเผาผลาญในเซลล์ของสาร Methylisorneol ซึ่งเป็นสารที่ทำให้น้ำมีกลิ่นไม่พึงประสงค์เป็นต้น

3. สารอินทรีย์ที่เกิดจากน้ำเสียชุมชน กิจกรรมทางการเกษตรและอุตสาหกรรม ตลอดจนการขับถ่าย ชำระล้างร่างกายของมนุษย์มีส่วนทำให้มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนไปกันน้ำได้ รวมทั้งสารเคมี ยาฆ่าแมลงและปุ๋ย เป็นต้น

4. สารอินทรีย์ที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียและระบบปรับสภาพน้ำ เช่น สารเร่งการตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้ในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ซึ่งมักจะมีสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ไม่อาจย่อยสลายได้ ตลอดจนซากจุลินทรีย์หลงเหลือปนเปื้อนในน้ำที่ผ่านระบบบำบัด เมื่อผ่านระบบการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนอาจทำให้สารเหล่านี้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีความเป็นพิษเพิ่มมากขึ้นได้ เช่น ทำให้เกิดสารในกลุ่มไตรฮาโรมีเทน (Trihalomethanes: THMs) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่ง

นอกจากนี้ยังต้องทราบถึงชนิดและขนาดของอนุภาคที่มีอยู่ในน้ำเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุในการกรองให้เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ขนาดของอนุภาคที่มีอยู่ในน้ำ (Mulder et al., 1996)

อนุภาค/โมเลกุล	ขนาด (นาโนเมตร)
ยีสต์ รา	1,000-10,000
แบคทีเรีย	300-10,000
อิมัลชัน น้ำมัน	100-10,000
คอลลอยด์	100-1,000
ไวรัส	30-300
โปรตีน/โพลีแซคคาไรด์ (MWCO 10,000-1,000,000 ดาร์ตัน)	2-10
เอ็มไซม์ (MWCO 10,000-100,000 ดาร์ตัน)	2-5
สารปฏิชีวนะ (MWCO 300-1,000 ดาร์ตัน)	0.6-1.2
สารอินทรีย์ (MWCO 30-500 ดาร์ตัน)	0.3-0.8
อิออนอนินทรีย์ (MWCO 10-100 ดาร์ตัน)	0.2-0.4
ไฮโดรเจน	0.289
ออกซิเจน	0.346
ไนโตรเจน	0.346
น้ำ	0.2

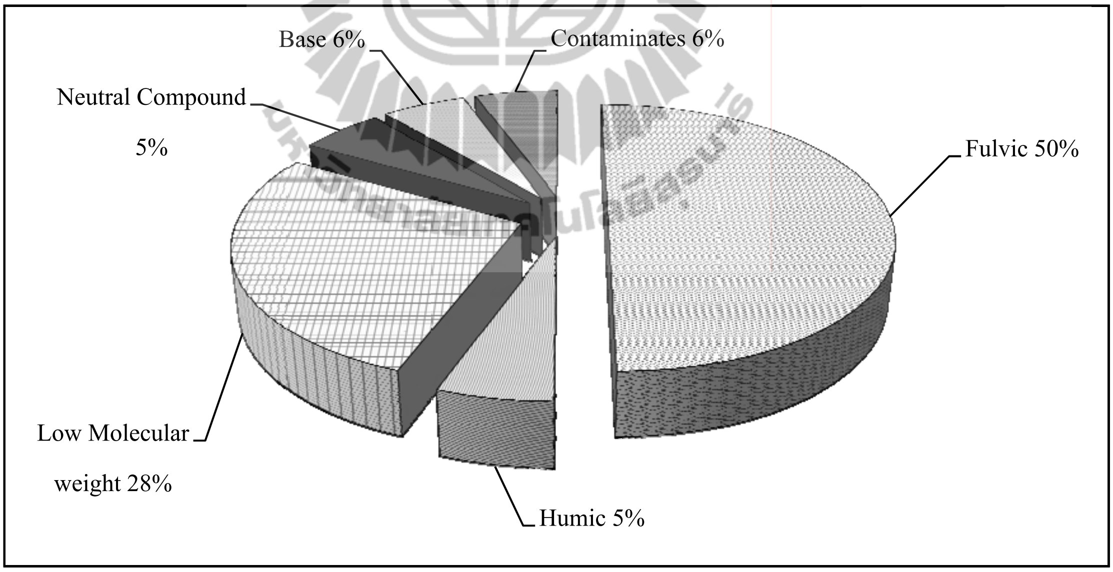
2.5.2 องค์ประกอบของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

สารอินทรีย์ธรรมชาติในแหล่งน้ำทั่วไปจะประกอบไปด้วยไฮโดรโพบิคและไฮโดรฟิลิค ขึ้นอยู่กับขนาดและคุณลักษณะของสารประกอบที่มีอยู่ในน้ำ (Marthaba et al., 2003) โดยกลุ่มไฮโดรโพบิคซึ่งเป็นสารประกอบฮิวมิค ได้แก่ กรดฮิวมิคและกรดฟลูวิค ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติสารกลุ่มไฮโดรโพบิคมากกว่า 50% เป็นสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (Dissolve Organic Carbon: DOC) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของซากพืชหรือสัตว์ ถ้าในน้ำมีปริมาณความเข้มข้นของ DOC สูงกว่า 5 mg/L น้ำในแหล่งน้ำนั้นจะมีสี โดยองค์ประกอบของสารอินทรีย์ธรรมชาติสามารถแบ่งออกมาได้เป็น 6 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 องค์ประกอบของสารอินทรีย์ธรรมชาติในแหล่งน้ำทั่วไป (Swietlik et al., 2005)

ตัวอย่าง	พารามิเตอร์	
	UV_{254} (cm^{-1})	DOC (mg/L)
Humic Acids (HA)	0.231	5.81
Hydrophobic Acids (HOA)	0.162	4.81
Hydrophobic Neutrals (HON)	0.170	5.54
Hydrophilic Acids (HIA)	0.154	4.98
Hydrophilic Bases (HIB)	0.166	5.02
Hydrophilic Neutrals (HIN)	0.114	4.84

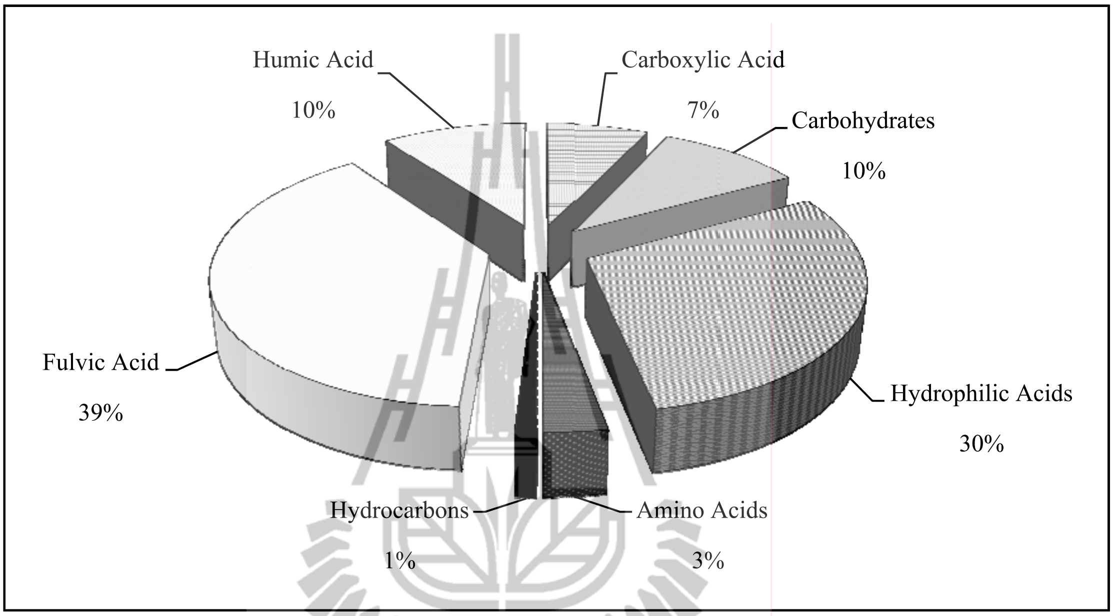
สำหรับสารอินทรีย์ละลายน้ำในแหล่งน้ำผิวดินจะส่วนประกอบของสารอินทรีย์ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ในขณะที่กลุ่มไฮโดรฟิลิคจะมีขนาด MWCO 300 ถึง 3,000 ดาร์ตัน ประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และกรดอะมิโน เป็นต้น



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำผิวดิน

ส่วนประกอบของสารอินทรีย์ละลายน้ำในทั่วไป พบว่ากรดไฮโดรฟิลิค (Hydrophilic acid) ประมาณ 30% จะถูกเรียกว่า “Hydrophilic Humic Substance” ซึ่งสารประกอบฮิวมิค (Humic Substance) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ (1) กรดฮิวมิก (Humic Acid) ไม่ละลายน้ำที่พีเอช เท่ากับ 1 มี MWCO อยู่ระหว่าง 10-300 กิโลดาร์ตัน (2) กรดฟูลวิก (Fulvic Acid)

ละลายน้ำทุก ๆ พีเอชมี MWCO อยู่ระหว่าง 3-100 กิโลดาร์ตัน และ (3) ฮิวมิน (Humin) ไม่ละลายน้ำ (Swift, 1985) ซึ่งกรดฮิวมิกและฟลูวิกสามารถกำจัดได้ด้วยกระบวนการแยก ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไป สารอินทรีย์ธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (Thurman, 1985)



รูปที่ 2.4 องค์ประกอบของสารอินทรีย์ทั่วไปที่มี DOC 5 mg/L

จากการศึกษาที่ผ่านพบว่าในแหล่งน้ำดิบทั่วไปในแต่ละแหล่งมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของน้ำที่มาศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 คุณลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แหล่งน้ำดิบ	พารามิเตอร์		อ้างอิง
	UV_{254} (cm^{-1})	DOC (mg/L)	
Aung-Keaw Reservoir, Thailand	0.110-0.274	0.36-1.67	Wattabachai, S., et al. (2004)
Mae-Hia Reservoir, Thailand	0.110-0.206	0.18-0.65	
Nakdong River, Korea	0.049	1.93	Jung, C.W., et al. (2008)
Hoedong Reservoir, Korea	0.028	1.79	
Bangkhen WTP, Thailand	0.131	-	วรพจน์ กนกกันฑพงษ์ บุณยฤทธิ์ ปัญญาภิญโญผล และ สุรพงษ์ วัฒนะจีระ (2550)
Samsen Canal, Thailand	0.3-0.6	-	ศักดิ์สิทธิ์ อิ่มแมน และ ชวลิต รัตนธรรมสกุล (2552)

2.5.3 การแบ่งประเภทของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

ในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ เป็นสิ่งสำคัญที่เราต้องทราบถึงคุณสมบัติของสารที่มีอยู่ในน้ำ เพื่อแยกสารที่เป็นเนื้อเดียวกันออกได้อย่างถูกต้อง

- อนุภาคและอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ (Particulate/Dissolve Organic Carbon Separation) ในการแยกอนุภาคออกจากสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ สามารถแยกได้ด้วยกระดาษกรองที่มีขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน แต่การกรองด้วยกระดาษกรองที่มีขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน ไม่สามารถกำจัดอนุภาคของคอลลอยด์ขนาดเล็กที่ละลายอยู่หรือสารอินทรีย์ที่มีอนุภาคเล็กกว่า 450 นาโนเมตร
- กรดฟลูวิกและกรดฮิวมิค (FA/HA Separation) กรดฮิวมิคสามารถตกตะกอนได้ที่พีเอชต่ำกว่า 1.0 ในขณะที่กรดฟลูวิคยังคงเหลืออยู่ในน้ำได้ทุกพีเอช (Bourboniere and Halderen, 1989) กรดฟลูวิคที่ละลายอยู่ในน้ำจะพบได้มากกว่ากรดฮิวมิค (Rasyid et al., 1992)
- ขนาดและน้ำหนักโมเลกุล (Size/MW Fractional) ขนาดและน้ำหนักของอนุภาคมีความสำคัญต่อลักษณะของน้ำที่ผ่านการบำบัด กล่าวคือมีผลต่อสัมประสิทธิการแพร่และการเคลื่อนที่ของอนุภาค จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า 50-60% ของฟลูวิคจะมีขนาดใหญ่กว่า 10 kDa (Legube et al., 1990) และน้ำหนักโมเลกุลของฟลูวิคอยู่ระหว่าง 650-950 ดาร์ตัน ส่วนน้ำหนักโมเลกุลของฮิวมิคอยู่ระหว่าง 2,000-3,000 ดาร์ตัน
- ความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ (Hydrophilic/Hydrophobic Fractionation) สำหรับไฮโดรฟิลิคเป็นสารที่ละลายอยู่ในน้ำ (Cotsaris et al., 1988) พบว่าสารอินทรีย์ประมาณ 58-74% เป็นสารที่ละลายอยู่ในน้ำในขณะที่สารกลุ่มไฮโดรโฟบิคหรือกรดฮิวมิคเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ

2.5.4 การตรวจวัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ

ลักษณะของสารอินทรีย์ในน้ำมีความสำคัญต่อการเลือกระบบบำบัดหรือทราบถึงแหล่งที่มาของน้ำนั้นได้ นอกจากนี้ยังสามารถดูได้จากน้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) และประจุ (Charge) เป็นต้น ในการวัดหาปริมาณของสารอินทรีย์ว่าละลายอยู่ในน้ำมากหรือน้อยเพียงใดจะเป็นจำนวนคาร์บอนที่มีทั้งหมดในน้ำหรือเรียกว่า Total Organic Carbon (TOC) ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร หรือสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (Dissolve Organic Carbon: DOC) โดยไม่นับรวมคาร์บอนของสารประกอบอนินทรีย์หรือในรูปคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต แต่ถ้าสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของธาตุในหมู่ 7 ในตารางธาตุหรือธาตุในกลุ่มเดียวกับคลอรีน ได้แก่ ฟลูออรีน คลอรีน โบรมีน ไอโอดีน แอสเตตีน ซึ่งเรียกว่ากลุ่มธาตุเฮโลเจน (Halogen) จะวัดในรูปของ TOX (Total Organic Halogen) สารในกลุ่ม TOX มักจะมีความเป็นพิษอยู่หลายชนิด ถ้าเป็นน้ำที่มีปริมาณ NOM TOC หรือ TOX สูง ๆ จะมีความเสี่ยงในการเกิดสารอนุพันธ์ที่เป็นพิษได้มาก

การตรวจวัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำและคุณภาพน้ำที่ได้หลังผ่านกระบวนการบำบัด เช่น มีความสำคัญต่อสารที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน และเป็นปัญหาที่ทำให้เกิดการอุดตันในระบบเมมเบรน และยังพบว่าน้ำที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่มี NOM หลงเหลืออยู่นั้น เมื่อทำการเติมคลอรีนลงไปจะทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นสารก่อมะเร็งที่เรียกว่า Disinfection by Produce ซึ่งจะเปลี่ยนรูปไปเป็นไตรฮาโลมีเทน (THMs) โดยสารอินทรีย์ธรรมชาติไม่สามารถวัดได้โดยตรง ซึ่งสามารถวิเคราะห์สารอินทรีย์ธรรมชาติได้หลายวิธีดังตารางที่ 2.12 แต่วิธีที่สะดวกและนิยมใช้ในการวิเคราะห์ คือ การวัดในรูปของสารอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) สารอินทรียละลายน้ำ (DOC) และการดูดซับที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร สำหรับการวัดที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรเป็นตัววัดดัชนีของสารที่มีอยู่ในน้ำจะมีความสัมพันธ์ต่อการวัดสารอินทรีย์ละลายน้ำและเป็นตัวแทนสำหรับการหาค่าสารอินทรีย์ธรรมชาติในแหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์ต่อการเกิดสารตั้งต้น DBPs ซึ่งก่อให้เกิดสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน แม้ว่าแนวโน้มส่วนใหญ่ในน้ำจะมีสารประกอบมากมายที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง UV_{254} และ DOC จะสามารถบอกถึงคุณภาพของน้ำได้ โดยน้ำที่มี UV_{254} สูงก็จะมีค่า DOC สูงด้วย (Haffman et al., 1985; Edzwald and Benschoten 1990; Chow et al., 2004)

ตารางที่ 2.12 เครื่องมือในการตรวจวิเคราะห์สารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ

พารามิเตอร์	เครื่องมือในการวิเคราห์
Color	Visible Spectrophotometer
	Visual Comparators
Aromaticity (UV absorbance)	UV Spectrophotometer
Total Organic Carbon	DOC Analysis
Dissolved Organic Carbon (DOC)	
Biodegradable Dissolved Organic Carbon (BDOC)	
Assimilable Organic Carbon (AOC)	Bacterial Regrowth Potential (BRP)
Bacterial Regrowth	
Molecular Weight Distribution	High Performance Size Exclusion Chromatography (HPSEC)
Hydrophobicity/Hydrophilicity	Rapid Fractionation (RF)
Trihalomethane Formation Potential (THMFP)	Gas Chromatography (GC)
Functional Groups (Aliphatic, Aromatic, Nitrogen Containing)	Gas Chromatography-mass Spectroscopy (GC-MS)
	Infrared Spectroscopy (FTIR)
	Nuclear Magnetic Resonance (NMR)

2.5.5 กระบวนการในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ

ในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดสี กลิ่น และสารอินทรีย์ออกจากน้ำ โดยกระบวนการทั่ว ๆ ไป ที่นิยมใช้การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ ได้แก่ การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration) และการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) ซึ่งในปัจจุบันยังได้นำวิธีการการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin) มาเป็นวิธีการลดปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติลงก่อนที่จะผ่านเข้าระบบฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน (Morran et al., 1996) หรือใช้กระบวนการกำจัดด้วยกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration) หรืออัลตราฟิลเตชัน (Ultrafiltration) แทนการฆ่าเชื้อด้วยสารเคมี

Qin et al. (2006) ได้ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติจากอ่างเก็บน้ำในประเทศสิงคโปร์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยเลือกใช้สารส้ม (Alum) ในการสร้างตะกอน พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสารส้ม 5 mg/L ที่ pH เท่ากับ 5.2 สามารถกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปของ DOC ได้ 45% และกำจัดความขุ่นได้ 97% ในขณะที่ pH เท่ากับ 7.2 สามารถกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปของ DOC ได้ 35% สำหรับ Leiknes et al. (2004) ได้ประยุกต์ใช้กระบวนการไมโครฟิลเตรชันร่วมกับกระบวนการโคแอกกูเลชันในการผลิตน้ำดื่มเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ พบว่าสามารถลดความขุ่นให้เหลือน้อยกว่า 0.2 NTU กำจัดสีได้มากกว่า 95% กำจัด UV_{254} ได้ 85% และ กำจัดลดสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปของ TOC ได้ประมาณ 65-75% เมื่อใช้โพลีอลูมินัมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 mg/L เป็นสารโคแอกกูแลนท์และอัตราการไหลผ่านเยื่อกรองเมมเบรน เท่ากับ 180 ลิตรต่อชั่วโมง

นอกจากนี้ Siddiqui et al. (1997) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยโอโซนในน้ำดิบจาก 4 แหล่ง คือ (1) Silver Lake (SLW) (2) Barker Lake (BLW) (3) Boulder Reservoir (BRW) และ (4) Colorado River (CRW) ในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มี DOC อยู่ในช่วง 2.8-7.0 นำมากรองผ่านเยื่อกรอง 0.45 ไมครอน พบว่า DOC ลดลง 40-50% ในขณะที่ Aldehyde ลดลง 90-100% และไตรฮาโลมีเทนลดลง 40-60% ตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่าการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้ Cyclodextrin polyurethanes เป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ละลายน้ำได้ 6-33% (Nkambule et al., 2009) และเมื่อใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนร่วมกับโอโซน จะสามารถกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ละลายน้ำได้มากกว่า 88%

2.5.6 สารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำที่ผ่านการบำบัด

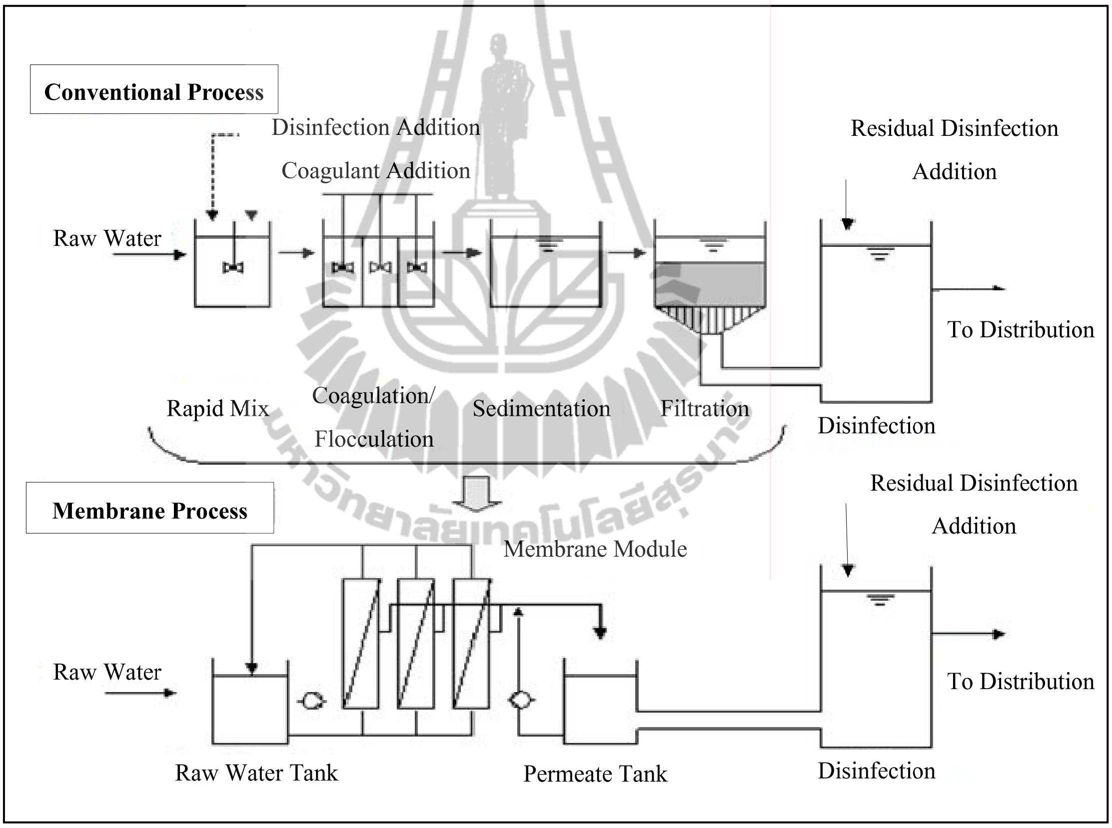
การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำมีจุดประสงค์เพื่อกำจัดผลพลอยได้ที่เกิดจากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน (Disinfection by Product) และสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยทั่วไปที่เรียกว่า Conventional Process ซึ่งประกอบไปด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ฟลอคคูเลชัน การตกตะกอนและการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนนั้นไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำออกจากน้ำได้อย่างเพียงพอ ในทางกลับกันอาจยิ่งเพิ่มปัญหาให้กับน้ำประปาที่ผลิตได้ ยกตัวอย่างเช่น ในกระบวนการเติมคลอรีนให้กับน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติต่ำ จะทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติหลงเหลืออยู่ในน้ำมาก อีกทั้งยังเป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้เกิดสีและกลิ่น (Uyak et al., 2008) หากเติมคลอรีนโดยคำนึงถึงแต่ปริมาณคลอรีนที่ต้องการให้ตกค้างอยู่ในน้ำ (Chlorine Residual) อาจทำให้เกิดสารDPBs เช่น สารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes: THMs) ซึ่งเป็นสารที่อยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็งในน้ำดื่ม (Jimiez et al., 1993) สารอินทรีย์ธรรมชาติเป็นสารที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก เรียกว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยสารตั้งต้น (Disinfection by products: DBPs) ประกอบด้วย ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes) และสารประกอบคลอรีนอื่น ๆ (Tan and Amy, 1991) สารที่ใช้ฆ่าเชื้อในการผลิตน้ำดื่มนั้น เกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างคลอรีนกับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มาจากสารประกอบฮาโลเจนที่เกิดเป็น Disinfection by Products (DBPs) โดยสารสองตัวหลัก ได้แก่ (1) Trihalomethanes (THMs) และ (2) Haloacetic Acids (HAAs) จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งในการกำหนดค่ามาตรฐานของน้ำประปา หรือที่เรียกว่า ค่าระดับความปนเปื้อนสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Contaminate Levels: MCLs) ของสารปนเปื้อนต่าง ๆ ในน้ำประปา ถูกกำหนดโดยมาตรฐานของ U.S. EPA ในน้ำดื่ม ดังแสดงในตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 มาตรฐานระดับความปนเปื้อนสูงสุดที่ยอมรับได้ในน้ำดื่ม (Walsh, 2008)

Country	Method	Concentration	
		µg/L of TTHMs	µg/L of HAAs
USA	Established Maximum Contaminant level (MCLs)	80	60
Canada	The Federal–provincial–Territorial Committee on Drinking Water Quality Has an Established Maximum Acceptable Concentration (MAC)	100	-
European Union	-	100	-

2.6 การประยุกต์ใช้เยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน

การใช้กระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เพื่อเพิ่มศักยภาพในการบำบัดหรือปรับคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบให้มีคุณภาพดีสม่ำเสมอและเป็นที่ยอมรับ อีกทั้งยังช่วยให้การทำงานรวดเร็วขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้กระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองสามารถทดแทนหน่วยบำบัดได้ถึง 4 หน่วยบำบัด คือ (1) ประกอบด้วยกระบวนการกวนเร็ว (Rapid Mixing) (2) กระบวนการสร้างตะกอน (Flocculation) (3) กระบวนการตกตะกอน (Sedimentation) และ (4) กระบวนการกรอง (Filtration) (Mallevialle et al., 1996)



รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบกระบวนการปรับคุณภาพน้ำทั่วไปกับกระบวนการกรองผ่านเยื่อกรอง

ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration: MF) เป็นกระบวนการที่ใช้เยื่อกรองที่มีรูพรุนขนาด 500-1,000 nm ใช้สำหรับแยกสารโมเลกุลใหญ่ สารแขวนลอยหรืออนุภาคเล็ก ๆ ออกจากของเหลว โดยช่วงความดันที่ใช้อยู่ในช่วง 0.5-5.0 atm ซึ่งมีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น การบำบัดน้ำเสีย การบำบัดน้ำทิ้ง การปรับปรุงคุณภาพน้ำ สำหรับอัลตราฟิลเตรชั่น (Ultrafiltration: UF) เป็น

กระบวนแยกสารโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน เอ็นไซม์ และแป้งออกจากน้ำและสารโมเลกุลเล็กอื่น ๆ โดยใช้เยื่อกรองที่มีขนาดรูพรุน 5-20 nm โดยช่วงความดันที่ใช้อยู่ในช่วง 1.0-10.0 atm

กระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองโดยทั่วไปจะใช้ลักษณะการกรองแบบไหลขวาง (Cross Flow) เป็นการผ่านสารละลายขนานกับเยื่อแผ่นหรือตั้งฉากกับทิศทางการไหล ทำให้สารละลายพัดพาอนุภาคจากผิวหน้าเยื่อกรอง ซึ่งเรียกว่าเค้ก (Cake) การสะสมของสารบนเยื่อกรองจะเกิดเพียงบาง ๆ เท่านั้น ดังนั้นการประยุกต์ใช้ในปัจจุบันจึงเป็นแบบไหลขวางเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเทียบกับการกรองแบบ Dead-end ซึ่งจะเกิดการอุดตันเยื่อกรองได้ง่ายกว่า โดย Owen et al. (1995) ได้ศึกษาระบบไมโครฟิลเตรชัน (MF) แบบ Dead-end ของสารละลายเบ็นโตไนท์กับสารละลาย Bovine Serum Albumin (BSA) โดยใช้แผ่นโพลิคาร์โบเนตที่มีรูพรุนแบบแคลปิลาลี พบว่ากลไกการเกิดการอุดตันเยื่อกรองมีดังนี้ (1) เกิดการอุดตันที่รูพรุนที่เล็กที่สุดก่อน (2) เกิดการสะสมภายในรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ (3) อนุภาคใหญ่เริ่มปกคลุมหรือสะสมทับอนุภาคที่สะสมหรืออุดตันอยู่ก่อน (4) เกิดชั้นเค้ก (Cake) เนื่องจากอนุภาคขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามการถ่ายเทมวลในกระบวนการกรองแบบไหลขวางก็ยังมีปัญหาการอุดตันเยื่อกรองซึ่งเป็นการสะสม และ/หรืออุดตันภายในรูพรุนและเกิดเป็นชั้นเค้ก (Cake) สาเหตุที่ทำให้เกิดการอุดตันในการกรองผ่านเยื่อกรองเกิดจากการดูดซับตัวถูกละลาย (โปรตีน ไขมัน) บนผิวหน้าเยื่อแผ่นและบนผนังรูพรุน เนื่องจากการเกิด Concentration Polarization (CP) และเกิดการอุดตัน/การบดบังรูพรุน ลักษณะสำคัญอย่างหนึ่งของการอุดตันเยื่อกรองคือ การไม่สามารถใช้วิธีเปลี่ยนสภาวะการทำงาน เช่น เพิ่มอัตราการไหล การปรับเปลี่ยนความดัน หรือการล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ เพื่อแก้ไขปัญหานี้ให้หมดไป จึงจำเป็นต้องใช้สารเคมีเพื่อล้างทำความสะอาด (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543) พบว่าการเพิ่มอัตราการไหลหรือเพิ่มความเร็วในการผ่านสารละลายจะช่วยลดการเกิด CP ที่เป็นสาเหตุของการอุดตันเยื่อกรองได้ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย

ในการนำเอาระบบกรองผ่านเยื่อกรองมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ได้มีผู้ทำการวิจัยมากมายโดยมีการศึกษาระบบกรองผ่านเยื่อกรองร่วมกับระบบบำบัดทางชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศและระบบบำบัดทางชีวภาพแบบใช้อากาศ ในการศึกษาการใช้เยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digester) พบว่าสามารถลดความสกปรกในรูป COD ได้สูงกว่า 80% (Puetpaiboon et al., 1989) ในการศึกษาระบบกรองผ่านเยื่อกรองที่มีรูพรุนขนาด 0.1 ไมครอน ร่วมกับระบบบำบัดทางชีวภาพแบบใช้อากาศ พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ (Organic Loading) และเวลาเก็บกัก ระบบนี้สามารถลดความสกปรกในรูป COD ได้ร้อยละ 90-95 (Yamonato et al., 1989) จากรายงานเปรียบเทียบการใช้เยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางและเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชันเพื่อผลิตน้ำจากแหล่งน้ำดิบซึ่งมีความสกปรกไม่สูงมากในระดับโรงงานต้นแบบ ขนาดกำลังการผลิต 30 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยโรงงาน

ที่ใช้เยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration Membrane) มีจำนวน 14 โรงงาน และโรงงานที่ใช้เยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration Membrane) จำนวน 10 โรงงาน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดด้วยเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน และเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชันไม่มีความแตกต่างกัน (Kumikane et al., 1995) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดและลดปัญหาการอุดตันเยื่อกรองด้วยการบำบัดน้ำขั้นต้นก่อนเข้ากระบวนการกรองผ่านเยื่อกรอง (Drewes et al., 2003) พบว่าการกรองด้วยไมโครฟิลเตรชันสามารถลดสารอินทรีย์ทั้งหมดได้ถึง 93% ซึ่งในกระบวนการกรองน้ำล้างจากการชุบนิกเกิลด้วยเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน ที่มี MWCO 13,000 50,000 และ 100,000 ดาร์ตัน ที่ผลิตจาก Polyacrylonitrile มีพื้นที่การกรอง 64 ตารางเมตร มีผลต่อสภาพการซึมผ่านของน้ำ พบว่าที่ MWCO 50,000 ดาร์ตัน เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการกรองน้ำล้างรวมจากกระบวนการชุบนิกเกิลมากที่สุด (Qin et al., 2003)

การใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน (UF) และกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน (MF) เพื่อผลิตน้ำจากแหล่งน้ำดิบซึ่งมีความสกปรกไม่สูงมาก พบว่าความความแตกต่างของกระบวนการทั้งสองไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ในกรณีที่น้ำทิ้งมีอิมัลชันจากโรงงานอุตสาหกรรม พบว่ากระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน (UF) สามารถแยกน้ำมันอิมัลชันได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้ (ขวัญจิตร วงษ์ชารี, 2539) สำหรับน้ำเสียชุมชนมีการใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน (UF) ร่วมกับกระบวนการบำบัดอื่น เพื่อเพิ่มความเข้มข้นตะกอน (Sludge Concentration) และจากการศึกษาของ Alonso et al. (2001) พบว่าการใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันในการบำบัดน้ำเสียชุมชนสามารถลดปริมาณสารอาหาร (ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน) และสีได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน

การนำเยื่อกรองเมมเบรนมาประยุกต์ใช้กับน้ำผิวดิน นลินี เหลืองรังรอง ปฏิรูป ผลจันทร์ และ ชวลิต รัตนธรรมสกุล (2545) ได้ศึกษากระบวนการกรองไมโครฟิลเตรชัน สำหรับการผลิตน้ำประปาจากแหล่งน้ำผิวดินตามธรรมชาติ พบว่าสามารถกำจัดสารปนเปื้อนในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถกำจัดโคลิฟอร์มแบคทีเรียได้ 100% กำจัดความขุ่นได้มากกว่า 99% และกำจัดสีได้มากกว่า 97% ส่วน Wang et al. (2008) ได้ทำการศึกษาการใช้เยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่มี MWCO 150,000 ดาร์ตัน ที่ผลิตจาก Cellulose Acetate พบว่าความเร็วที่เหมาะสมต่อกับการกรอง คือ 1.6 m/s โดยจะสามารถกรองน้ำที่ออกจากระบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จากการศึกษาของ Glucina et al. (2000) ได้นำน้ำผิวดินที่มีความขุ่นเฉลี่ย 10 NTU มาผ่านเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชันที่มี MWCO 10,000 ดาร์ตัน ที่ผลิตจาก Cellulose Acetate มีพื้นที่การกรอง 64 ตารางเมตร สามารถลดความขุ่นให้เหลือ 0.10 NTU โดยทำการล้างย้อนทุก ๆ 30-40 นาที ในขณะที่ Kim et al. (2002) ได้นำกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันในการกรองน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียทาง

ชีวภาพ ที่มีความขุ่น 9-11 NTU พบว่าน้ำที่ผ่านเยื่อกรองเมมเบรนสามารถลดความขุ่นได้เหลือ 0.6-1.2 NTU โดยทำการล้างย้อนทุก ๆ 4 ชั่วโมง เป็นเวลานาน 5 นาที

สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน Korbutowicz et al. (2006) นำกระบวนการโคแอกกูเลชันมาใช้ร่วมกับกระบวนการกรอง โดยเลือกใช้สารเคมีในการโคแอกกูเลชัน 3 ชนิด ได้แก่ (1) Alum (2) PACl และ (3) $NaAlO_2$ ที่ความเข้มข้นของ Al = 3.59 g/m^3 แล้วนำมาผ่านเยื่อกรองที่ทำจาก PES และ Cellulose ที่มี MWCO 30 กิโลดาร์ตัน พบว่าเยื่อกรองที่ทำจาก PES มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติประมาณ 80% และในปี 2008ได้ศึกษาน้ำจาก Odra River โดยใช้เยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชันที่ทำจาก Cellulose และ PES ที่มี MWCO 5-100 กิโลดาร์ตัน พบว่าที่ MWCO 5 กิโลดาร์ตัน PES มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ 73% และสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วย UV_{254} ได้ 56% สำหรับ ศักดิ์สิทธิ์ อิ่มแมน และชวลิต รัตนธรรมสกุล (2552) ได้ทดลองด้วยการแปรผันความดันจาก 110 120 130 140 และ 150 kPa พบว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้นมีผลต่ออัตราการไหลของน้ำสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์สูงขึ้นด้วยกลไกการดูดซับสารอินทรีย์ แต่การเพิ่มความดันไม่มีผลต่อการกำจัดไอออน นอกจากนี้ทำให้ทราบว่าความดันที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันมากในการกำจัดความขุ่นซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยเฉลี่ยร้อยละ 99 จากการศึกษาของ จริยา สุขผล และสุพัฒน์พงษ์ มัตราช (2552) พบว่าเยื่อกรองนาโนฟิลเตรชันมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟลูออไรด์ในน้ำใต้ดิน อีกทั้งยังมีความสามารถในการแยกสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่มีขนาดอนุภาค 0.001-0.01 ไมครอน โดยแรงดันที่ใช้ในการเดินระบบอยู่ในช่วง 70-220 psi มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการกรองน้ำ การบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีประสิทธิภาพในการแยกสีย้อม (Synthetic Dyes) การแยกเกลือ (Aqueous Salt) การกำจัดประจุเดี่ยว (Monovalent) และหลายประจุ (Divalent) ในน้ำกระด้างได้ร้อยละ 80-90 เป็นต้น นอกจากนี้ ปกฉัตร ชูติวิศุทธิ์ (2552) ได้ศึกษาการแยกคลอโรฟิลล์โดยใช้เยื่อกรองขนาด 5 ไมครอน ด้วยการกรองแบบไหลขวาง (Cross Flow) จากนอกเข้าใน (Out Site In) โดยทำการแปรผันอัตราการไหลผ่านเยื่อกรองและอัตราการไหลไม่ผ่านเยื่อกรอง (Permeate:Retentate) ที่อัตราส่วน 25:75 50:50 และ 75:25 พบว่าอัตราส่วน 25:75 มีประสิทธิภาพในการแยกคลอโรฟิลล์ได้ดีที่สุด ในขณะที่อัตราส่วน 75:25 ทำให้คลอโรฟิลล์หลุดออกไปหมด

อย่างไรก็ตามการนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในประเทศไทยยังมีการศึกษาวิจัยไม่มากนัก เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษายังสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตน้ำจากแหล่งน้ำดิบธรรมชาติด้วยกระบวนการปรับคุณภาพน้ำทั่วไป ดังนั้นการประยุกต์ใช้กระบวนการกรองผ่านเยื่อกรอง (MF/UF) สำหรับการนำน้ำทิ้งชุมชนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ เพื่อที่จะศึกษาผลกระทบในการที่จะทำให้เกิดการอุดตันเยื่อกรอง (Membrane Fouling) และการทดลองเดินระบบในระยะยาว (Long-term Experiment) เพื่อให้ได้ค่าที่น่าเชื่อถือ

และทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยเลือกเอาปัจจัยที่มีความสำคัญ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานจริงในอนาคตต่อไป โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันนิยมมาประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14 การประยุกต์ใช้กระบวนการเมมเบรน

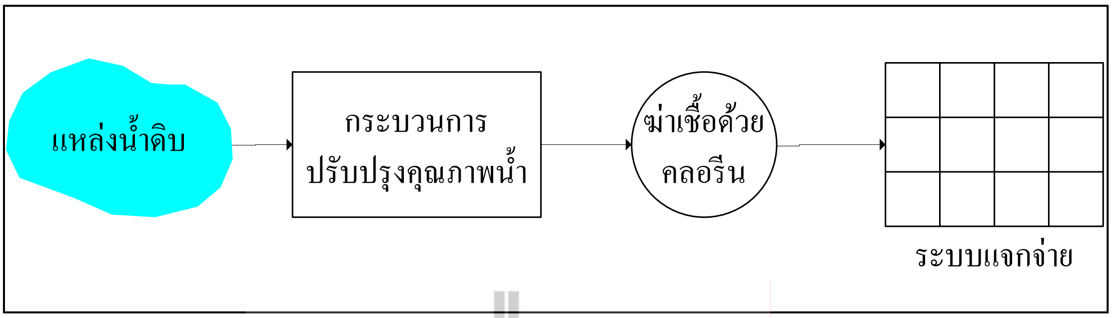
อ้างอิง	การประยุกต์ใช้
จริยา สุขผล และ สุพัฒน์พงษ์ มัตราช (2552)	กระบวนการนาโนฟิลเตรชันมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟลูออไรด์ในน้ำใต้ดิน สามารถแยกสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่มีขนาดอนุภาค 0.001-0.01 ไมครอน และมีประสิทธิภาพในการกำจัดความกระด้างในน้ำได้ร้อยละ 80-90
ศักดิ์สิทธิ์ อิ่มแมน และ ชวลิต รัตนธรรมสกุล (2552)	ในการกรองด้วยเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าการแปรผันความดัน จาก110-150 kPa พบว่าความดันที่สูงขึ้นส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์แต่ไม่มีผลต่อการกำจัดไอออน ความดันที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันในการกำจัดความขุ่นซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยได้ 99%
Puetpaiboon et al. (1988)	การใช้กระบวนการไมโครฟิลเตรชันร่วมกับกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ พบว่าสามารถลด COD ได้มากกว่า 80%
Glucina et al. (2000)	เมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน ที่มี MWCO 10,000 ดาร์ตัน นำมากรองน้ำผิวดินจากแม่น้ำที่มีความขุ่นเฉลี่ย 10 NTU โดยใช้อัตราการซึมผ่านเมมเบรน 15.5 $L/m^2.hr$ พบว่าน้ำเพอมิเอทมีความขุ่นเฉลี่ย 0.10 NTU มีการรักษาอัตราการซึมผ่านของน้ำด้วยการล้างย้อนทุก ๆ 30-40 นาที
Siddiqui et al. (2000)	เปรียบเทียบการนำน้ำผิวมาผ่าน MF ขนาด 0.1 ไมครอน UF ขนาด MWCO 60,000 ดาร์ตัน และ NF ขนาด MWCO 500 ดาร์ตัน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด NOM ของ MF น้อยกว่า10% UF น้อยกว่า 30% และ NF มากกว่า 80%
Alonso et al. (2001)	กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน พบว่าสามารถลดฟอสฟอรัส ไนโตรเจนและสีได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน
Kim et al. (2002)	การประยุกต์ใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันในการกรองน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่มีความขุ่น 9-11 NTU พบว่าสามารถลดความขุ่นได้เหลือ 0.6-1.2 NTU โดยทำการล้างย้อนทุก ๆ 4 ชั่วโมง เป็นเวลานาน 5 นาที
Zularisam et al. (2007)	ศึกษาการนำน้ำผิวดินที่มีความเข้มข้น DOC เท่ากับ 6.8 mg/L มาผ่านเมมบรนอัลตราฟิลเตรชัน ที่มี MWCO 50,000 ดาร์ตัน สามารถกำจัด DOC ได้ 25%

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

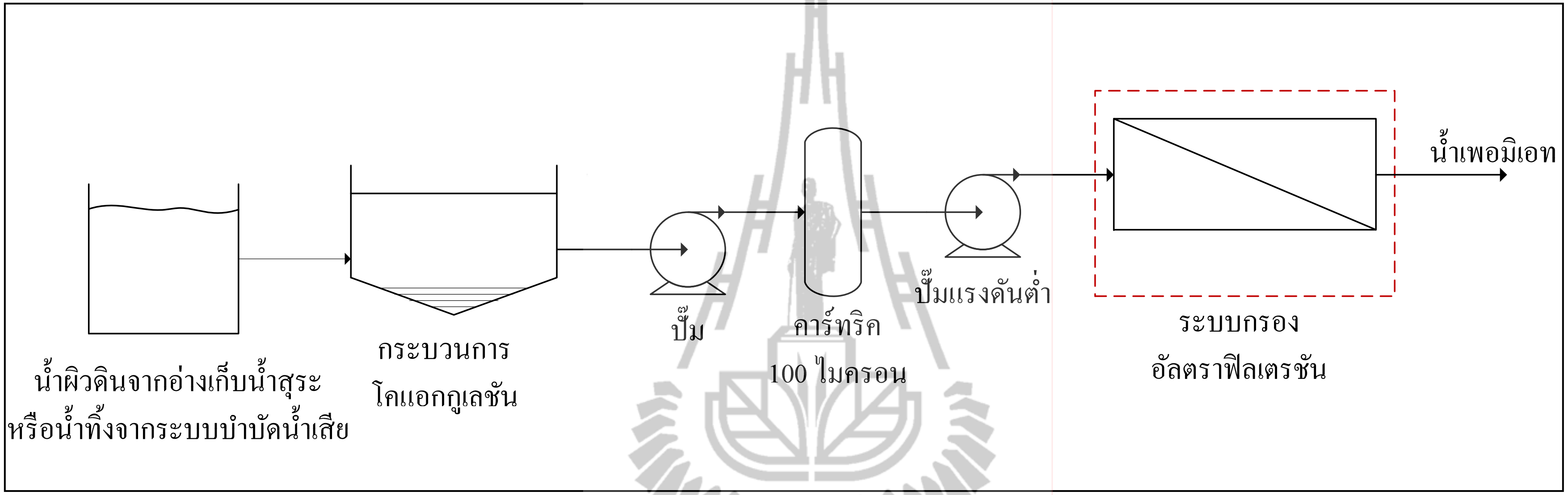
เนื่องจากความต้องการการใช้น้ำในปัจจุบันมีมากขึ้น ทั้งน้ำประปา น้ำใช้ในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมและน้ำเพื่อการเกษตรกรรม พบว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่นั้นเริ่มมีน้อยลง การนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ดังนั้นน้ำทิ้งที่จะนำมาใช้ซ้ำควรทำการบำบัดเพื่อให้ได้คุณภาพที่เหมาะสมกับกิจกรรมที่ต้องการใช้น้ำ เช่น น้ำที่ต้องการใช้ในการเกษตรกรรม น้ำที่ต้องการใช้ในกิจกรรมการผลิตของกระบวนการอุตสาหกรรม น้ำที่ต้องการใช้ในการประปา น้ำที่ต้องการใช้ในการล้างถนนและรดน้ำต้นไม้ เป็นต้น ในน้ำผิวดินทั่วไปจะประกอบด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยสารอนินทรีย์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของดิน ตะกอน และแร่ธาตุ ในขณะที่สารอินทรีย์ส่วนใหญ่ประกอบด้วย ไวรัส จุลินทรีย์ แบคทีเรียและโปรโตซัว เป็นต้น (Crittenden et al., 2005) นอกจากนี้ยังพบว่าแหล่งน้ำผิวดินจะมีสารอินทรีย์ธรรมชาติปนเปื้อนอยู่ในปริมาณที่สูง ซึ่งกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำอาจไม่เพียงพอต่อการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีอยู่ในน้ำให้หมดไป เมื่อเติมคลอรีนลงไปในน้ำที่ยังคงมีสารอินทรีย์ธรรมชาติอยู่จะสามารถก่อให้เกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection By Products: DBPs) อันเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติกับคลอรีนอิสระ เกิดเป็นสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยปัจจุบันกระบวนการผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีนิยมใช้กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยวิธี Conventional Process ซึ่งจะประกอบไปด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ฟลอคคูเลชัน การตกตะกอน การกรองทราย และการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติออกไปได้หมด จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาวิธีที่เหมาะสมมาใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติต่อไป

การกรองผ่านเยื่อกรองเมมเบรน (Membrane) เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ การบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (Aim and Vigneswaran, 1998) อีกทั้งยังพบว่าเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันสามารถการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีอยู่ในน้ำด้วยกลไกการคัดขนาด เพื่อลดสารอินทรีย์ธรรมชาติซึ่งจะก่อให้เกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Scott, K., 1990; Uyak et al., 2008)



รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

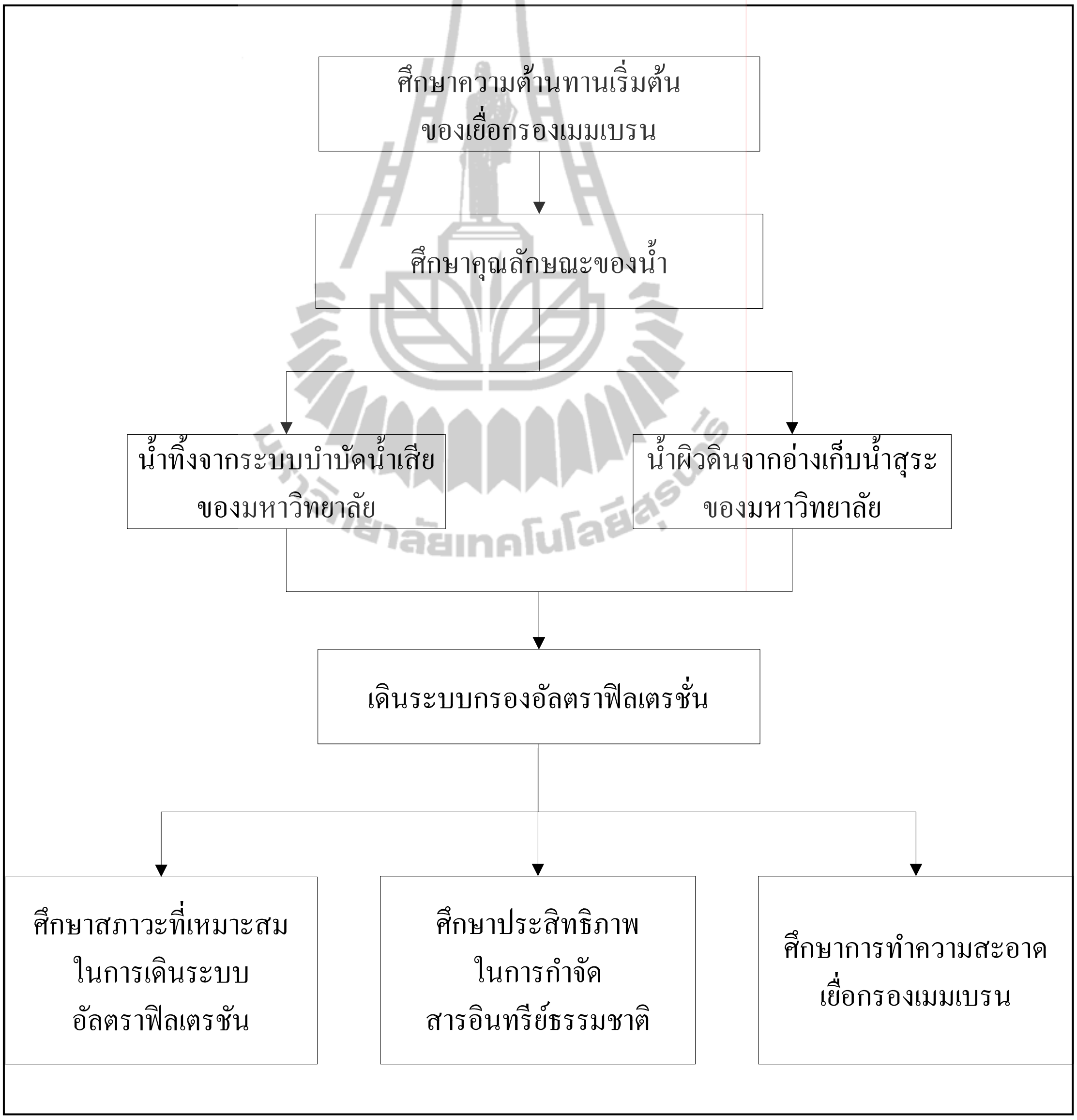
การศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีมาผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้น (Pretreatment) ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และชุดกรองคาร์ทริค 100 ไมครอน ก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน สำหรับสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนคือโพลีอลูมินัมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 10 g/L โดยนำมาทดสอบหาปริมาณสารโคแอกกูแลนท์ที่เหมาะสม ข้อมูลที่ได้จากการหาปริมาณสารโคแอกกูแลนท์ที่เหมาะสม จะนำมาอ้างอิงสำหรับใช้ในการตกตะกอนสารแขวนลอยและคอลลอยด์ของน้ำดิบจากทั้ง 2 แหล่ง ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยกำหนดปริมาณความเข้มข้นของสารเคมี ระยะเวลาในกวน และระยะเวลาในการตกกอน ดังนี้ คือ (1) เลือกใช้โพลีอลูมินัมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 10 g/L (2) ระยะเวลาในการกวนเร็ว 1 นาที และ (3) ปล่อยให้ตกตะกอนเป็นระยะเวลา 45 นาที (Hanson et al., 1990) น้ำส่วนใสจะถูกนำมาผ่านชุดกรองคาร์ทริค 100 ไมครอน เพื่อดักอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 100 ไมครอน ก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะคำนึงถึงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันเป็นหลัก โดยมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กระบวนการกรองด้วยเยื่อกรองสำหรับกรองน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหรือน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย

3.2 การออกแบบการทดลอง

การศึกษาวิจัยนี้จะทำการทดสอบน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมาเป็นกรณีศึกษา โดยทดสอบด้วยกระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองในระดับต้นแบบ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัด และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะการดำเนินการ (Operating Condition) ตลอดจนสารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาดเยื่อกรองโดยมีแผนผังการวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การดำเนินงานวิจัย

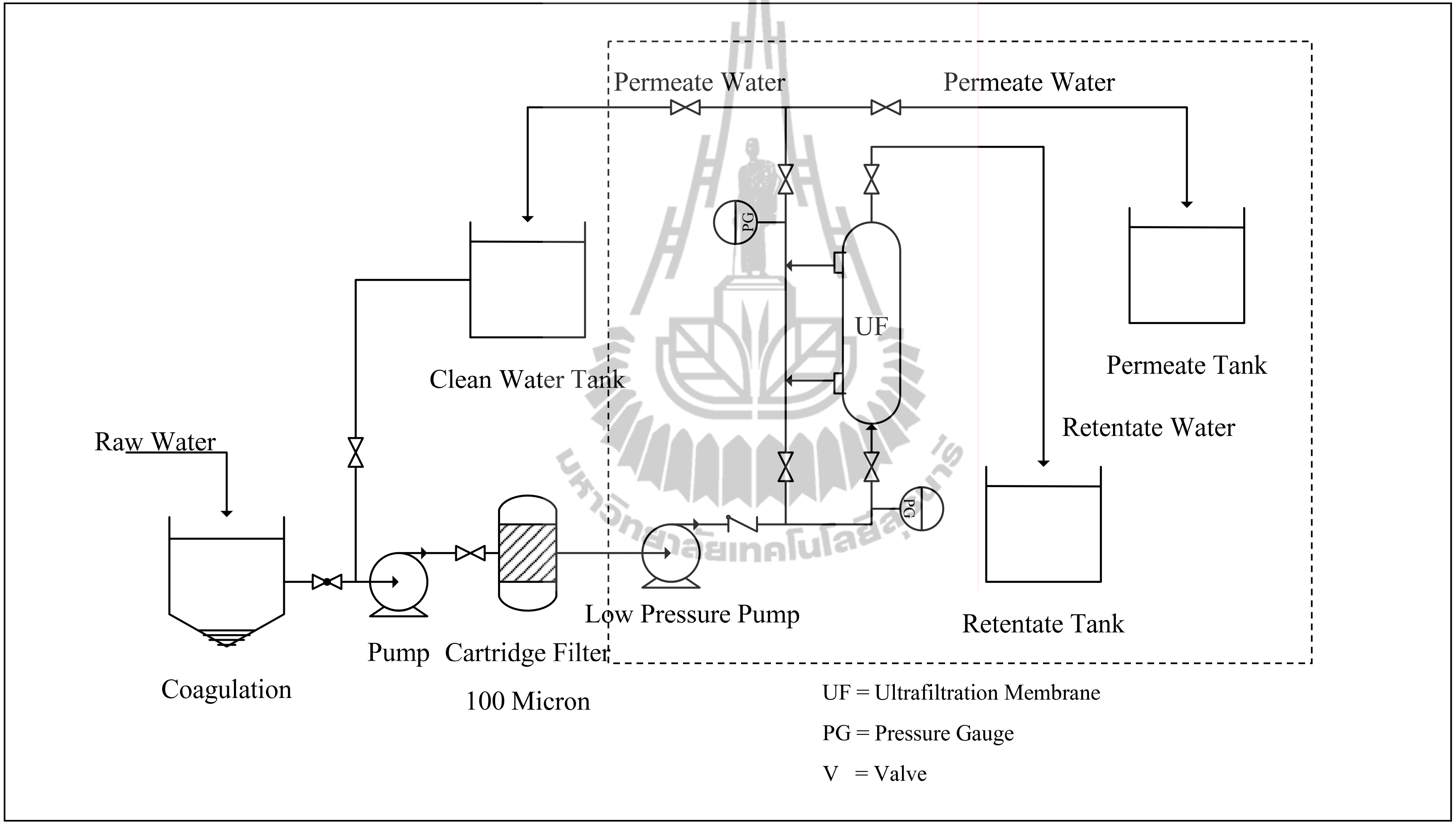
3.3 เยื่อกรองเมมเบรนที่ใช้ในการวิจัย

เยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน มีขนาดรูพรุนประมาณ 2-20 nm มีความสามารถในการกำจัดสารแขวนลอย คอลลอยด์ แบคทีเรีย และไวรัส เป็นต้น ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้จัดเตรียมชุดการทดลองสำหรับการเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน ดังแสดงในรูปที่ 3.4

โมดูลที่เลือกใช้ในการศึกษาเป็นโมดูลแบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Membrane) โดยมีรายละเอียดของเยื่อกรองเมมเบรนที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

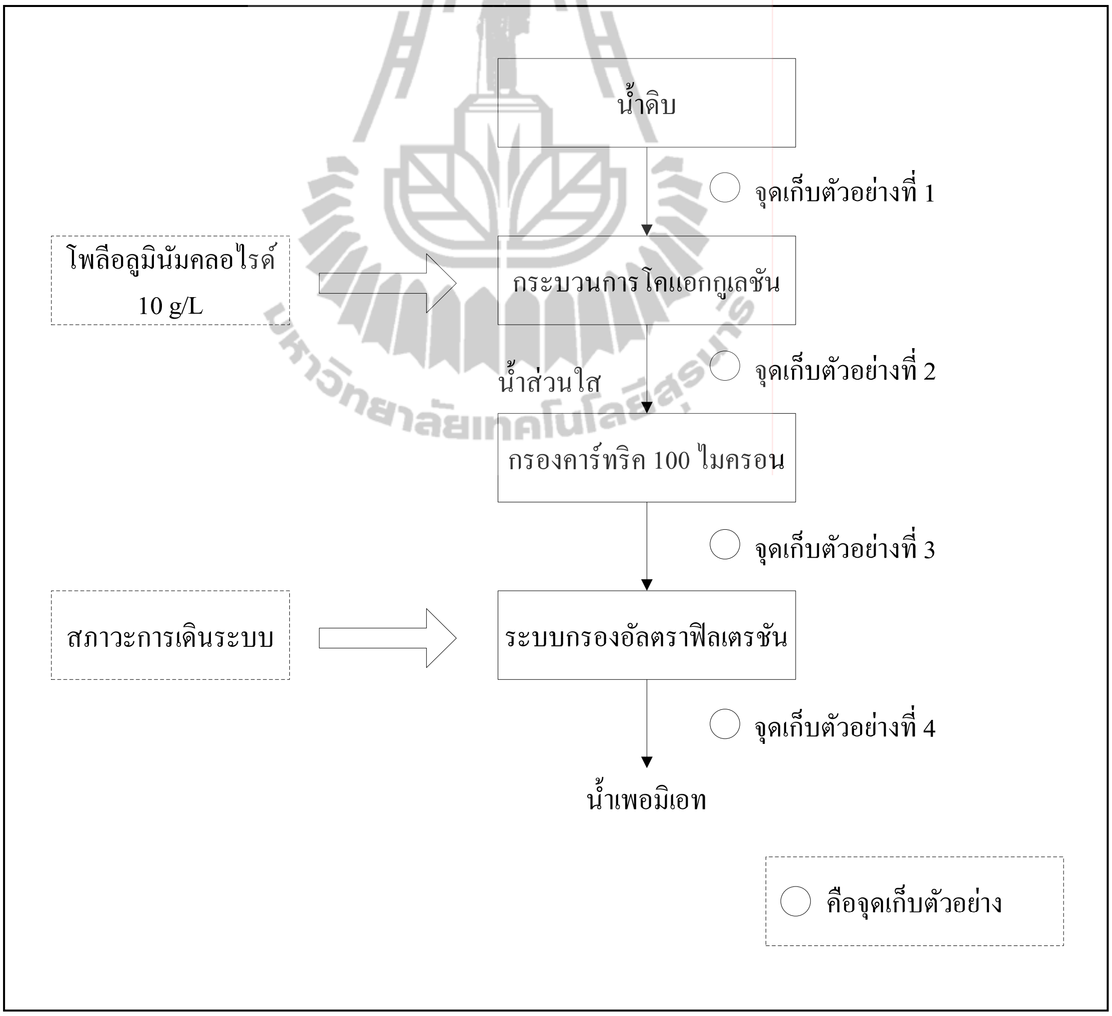
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของอัลตราฟิลเตรชันที่ใช้ในการทดลอง

ลักษณะของอัลตราฟิลเตรชัน	คุณสมบัติ
โมเดล	VF (SP) -0912
ความเร็วสารป้อนเข้า (ลิตรต่อนาที)	6-12
ลักษณะการกรอง	จากข้างในออกข้างนอก
ชนิดของเมมเบรน	โพลีซัลโฟน
พื้นที่เมมเบรน (ตารางเมตร)	6
ช่วงน้ำหนักโมเลกุลที่กักกันสาร (MWCO) (ดาร์ตัน)	20,000
ช่วงค่าพีเอชที่ใช้งาน	2-13
ช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน (องศาเซลเซียส)	3-60
ช่วงแรงดันในการเดินระบบ	2 -3 บาร์ (30-45 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
แรงดันล้างย้อน	2 บาร์ (30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
รูปแบบการเดินระบบ	แบบไหลขวาง (Cross Flow)



รูปที่ 3.4 การออกแบบระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน

เนื่องจากในการเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน เป็นการเดินระบบอย่างต่อเนื่องโดยจะทำการควบคุมเพอมิเอทฟลักซ์และสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท ในการเดินระบบกรองของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย เมื่อเปลี่ยนสภาวะการเดินระบบจะทำการตรวจสอบความดันและความต้านทานที่เกิดขึ้นของเยื่อกรองเมมเบรนก่อนเดินระบบที่สภาวะอื่น ๆ ต่อไป โดยการเดินระบบได้กำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำและบันทึกข้อมูลตามระยะเวลาที่กำหนดมาวิเคราะห์หาค่าพีเอช ค่าอุณหภูมิ ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ค่าของแข็งละลายน้ำ ค่าสี ค่าความขุ่น ค่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ดังแสดงในรูปที่ 3.5 จุดเก็บตัวอย่างที่ 1-3 จะเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูลทุกวัน สำหรับจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 จะเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูลทุก ๆ 30 นาที



รูปที่ 3.5 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ

3.4 แนวทางในการดำเนินงาน

สำหรับการเดินระบบในครั้งนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะที่หนึ่งจะทำการทดสอบน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและระยะที่สองจะทำการทดสอบน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัย เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน

3.4.1 ศึกษาความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน

เป็นการตรวจสอบความต้านทานของระบบกรองก่อนเริ่มเดินระบบด้วยการกรองน้ำสะอาดผ่านระบบเยื่อกรองเมมเบรน โดยดูความสัมพันธ์ระหว่างเพอมิเอทฟลักซ์กับแรงดัน เพื่อคำนวณหาค่าความต้านทานเริ่มต้นไว้เปรียบเทียบกับความต้านทานของเยื่อกรองที่ผ่านการใช้งาน ดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$J = \frac{\Delta P - \Delta \pi}{\mu R} \tag{3.1}$$

เมื่อ J คือ ฟลักซ์ของสารละลายผ่านเมมเบรน ($m^3/m^2.sec$)
ΔP คือ ผลต่างของความดันที่ใช้กับสารละลาย (Pascal)
$\Delta \pi$ คือ ผลต่างความดันออสโมติกของสารละลาย (Pascal)
μ คือ ความหนืดของสารละลาย (Pascal/sec)
R คือ ความต้านทานต่อการไหลผ่าน (Per meter)

สำหรับน้ำบริสุทธิ์ และสารละลายของสารโมเลกุลใหญ่ค่า $\Delta \pi$ มีค่าเท่ากับศูนย์และน้อยกว่า ΔP มาก ๆ ดังนั้นสามารถตัด $\Delta \pi$ ทิ้งได้ (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543)

$$R_t = R_{mo} + R_d \tag{3.2}$$

เมื่อ R_{mo} คือ ความต้านทานเริ่มต้น (Per Meter)
R_d คือ ความต้านเนื่องจากจากชั้นเจล (Per Meter)

สำหรับการกรองน้ำสะอาด $R_d = 0$ ดังนั้น

$$\Delta P = J \times \mu \times R_t \tag{3.3}$$

3.4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบของเยื่อกรองเมมเบรน

ในการเดินระบบกรองจะแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์และสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัด

1. ผลของการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์

ในการศึกษาได้เลือกใช้สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 มาทำการเดินระบบ (ปกฉัตร ชูติวิศุทธิ์, 2552) โดยแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์ เท่ากับ 60 80 และ 100 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัด ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์

ระยะการทำงาน	สารป้อนเข้า	ระยะเวลาเดินระบบ (ชั่วโมง)	สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท	เพอมิเอทฟลักซ์ (ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)		
หนึ่ง	น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ	120	25:75	60	80	100
สอง	น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย	30				

2. ผลของการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท

จากหัวข้อที่ผ่านมาเมื่อทราบถึงเพอมิเอทฟลักซ์ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดจะนำเพอมิเอทฟลักซ์ที่เหมาะสมมาแปรผันสัดส่วนน้ำเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท

ระยะการทำงาน	สารป้อนเข้า	ระยะเวลาเดินระบบ (ชั่วโมง)	สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท
หนึ่ง	น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ	30	25:75
			50:50
สอง	น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย	30	75:25

3.4.3 ศึกษาการใช้สารเคมีในการทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรน

การเกิดการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรน เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลให้ค่าฟลักซ์และผลต่างความดัน (Transmembrane Pressure) เพิ่มขึ้น โดยการล้างทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนเป็นสิ่งสำคัญและอาจต้องใช้เวลาในการล้างทำความสะอาดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของสารที่ทำให้เกิดการอุดตัน ถ้าสารอุดตันมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์จะต้องทำการล้างเยื่อกรองเมมเบรนด้วยกรดและด่าง สำหรับวิธีทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนในการศึกษาครั้งนี้ คือ (1) วิธีทางกายภาพด้วยการล้างย้อน (Back Wash) เพื่อกำจัดชั้นเค้กที่สะสมบนผิวเยื่อกรองทำได้โดยการป้อนน้ำสะอาดเข้าทางด้านตรงข้ามกับน้ำเพอมิเอทซึ่งจะทำให้น้ำสามารถดันสิ่งอุดตันออกมาจากเยื่อกรองได้ และ (2) การล้างด้วยสารเคมีเมื่อเกิดการอุดตันภายในเยื่อกรองจะเลือกใช้สารเคมีในการล้างทำความสะอาดให้เหมาะสมกับชนิดของสารอุดตันและชนิดของเยื่อกรองเมมเบรน โดยวัสดุของเยื่อกรองเมมเบรนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ทำจากโพลิซัลโฟน การเลือกสารเคมีในการล้างทำความสะอาดนั้นจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับเยื่อกรองและสารที่ทำให้เกิดการอุดตัน ดังแสดงในตารางที่ 3.4 โดยการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้ NaOH 0.02 N และ NaOCl 100 mg/L (Liang et al., 2008) สำหรับการล้างทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรน

ตารางที่ 3.4 สารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาด

สารปนเปื้อน	สารเคมีที่ใช้	ความเข้มข้นของสารเคมี
Bacteria Organic	NaOCl	Up to 5,000 ppm
Organic Colloidal Silica	NaOH	Up to 4%
Inorganic Colloid	Nitric Acid	5 to 10%
	Hydrochloric Acid	5 to 10%
	Oxalic Avid	Up to 2%
	Citric Acid	Up to 10%
	EDTA	Up to 0.4%
Sterilization	NaOCl Hydrogen Peroxide	10 to 100 ppm Up to1%

3.5 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันด้วยวิธีตาม Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater (APHA et al., 2005) โดยพารามิเตอร์ ความถี่ในการเก็บตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำ

พารามิเตอร์	เครื่องมือ/อุปกรณ์	สิ่งรบกวนการวิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์	ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง
พีเอช	pH Meter	-	Standard Method 4500-H^+ B	ทุก ๆ 30 นาที
ของแข็งละลายน้ำ (TDS)	Conductivity/TDS Meter	- สารอินทรีย์ละลายน้ำ - อิออนต่าง ๆ	-	ทุก ๆ 30 นาที
สภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity)	Conductivity/TDS Meter	- อนุภาคคอลลอยด์ในน้ำ	Standard Method 2510B	ทุก ๆ 30 นาที
สี	Spectrophotometer	- สารแขวนลอย	Standard Method 2120 B.	ทุก ๆ 30 นาที
ความขุ่น	Turbidity Meter	- ตัวอย่างน้ำที่มีสี	Standard Method 2130 B	ทุก ๆ 30 นาที
UV_{254}	Ultra violet-Visible Spectrophotometer	- สารอินทรีย์ธรรมชาติ	Standard Method 5910 B	ทุก ๆ 30 นาที
DOC	Ultra violet-Visible Spectrophotometer	- สารอินทรีย์ละลายน้ำ	Standard Method 5310 C	ทุก ๆ 30 นาที

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 คุณลักษณะของน้ำที่ใช้ในการวิจัย

ในการศึกษาจะนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มาทดสอบกรองผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันในระดับต้นแบบ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัด โดยมีระยะเวลาในการเดินระบบตั้งแต่เดือนกันยายน 2553 ถึงเดือนมิถุนายน 2554 สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของน้ำที่นำมาใช้ในการศึกษา

พารามิเตอร์	น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ		น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	7.25	0.33	8.23	0.12
อุณหภูมิ (°C)	25.55	2.42	30.89	3.31
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (μS/cm)	237.25	40.19	505.39	11.27
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	119.64	21.31	252.95	5.68
สี (mg/L.Pt)	180.85	59.04	120.12	39.19
ความขุ่น (NTU)	11.67	3.49	10.74	4.38
UV_{254} (1/cm)	0.23	0.03	0.26	0.03
DOC (mg/L)	13.24	1.92	14.83	1.67

กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ แต่ปัญหาสำคัญของกระบวนการเมมเบรนคือสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรนและทำให้ค่าฟลักซ์ลดลง การนำกระบวนการโคแอกกูเลชันมาใช้ร่วมกับกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันจะสามารถลดความขุ่น สารแขวนลอย จุลินทรีย์ สารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) และสารอนินทรีย์ ซึ่งเป็นปัญหาที่ทำให้เกิดการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรนได้ (Park et al., 2002; Tomaszewska et al., 2002; Laine et al., 2003; Gimbel et al., 2004; Schlichter et al., 2004)

โดยปริมาณโคแอกกูแลนท์ที่เหมาะสมหลังจากการทดสอบ Jar test พบว่าน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระต้องใช้ปริมาณโพลีอลูมินัมเท่ากับ 0.04 กรัมต่อลิตร และน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียต้องใช้ปริมาณโพลีอลูมินัมเท่ากับ 0.06 กรัมต่อลิตร อีกทั้งคุณลักษณะของน้ำดิบจาก 2 แหล่งมีความแตกต่างกันทั้งทางกายภาพและทางเคมีจึงมีต้องควบคุมคุณภาพของน้ำให้มีคุณลักษณะที่ใกล้เคียงกันก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะของน้ำดิบหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน

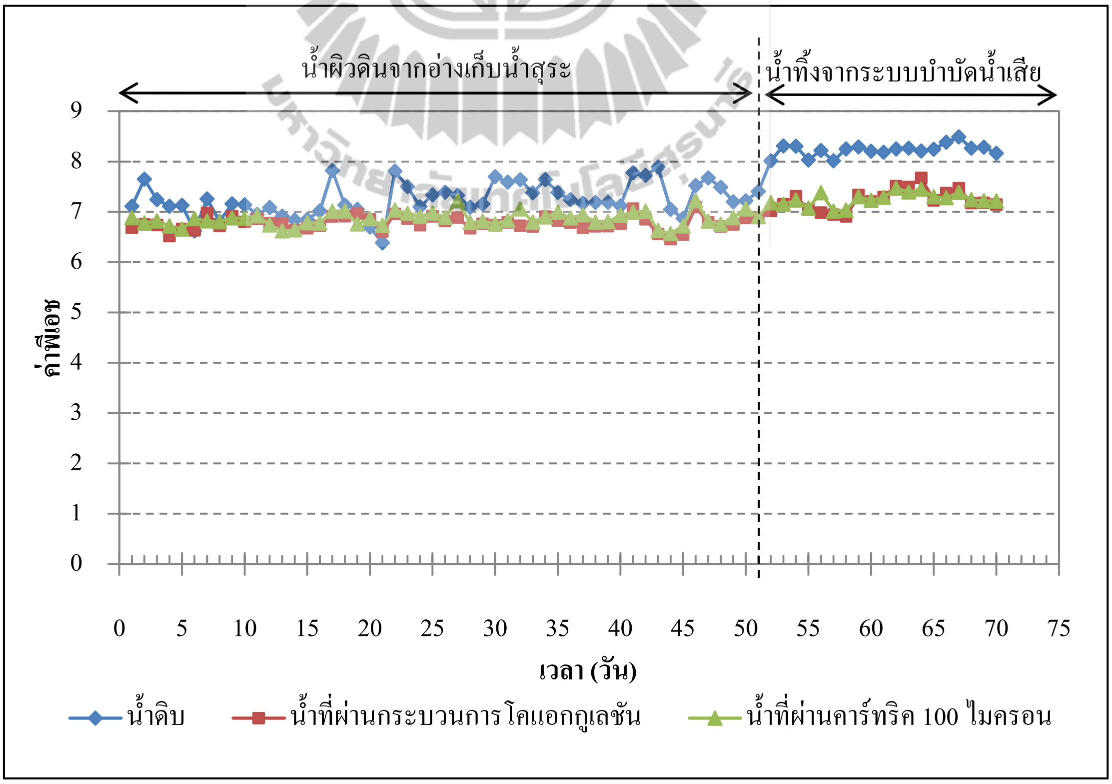
พารามิเตอร์	น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ		น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	6.78	0.13	7.23	0.21
อุณหภูมิ (°C)	25.70	2.49	31.84	0.83
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (μS/cm)	275.00	44.90	586.37	23.09
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	137.46	22.53	293.63	11.86
สี (mg/L.Pt)	19.21	5.44	21.01	4.77
ความขุ่น (NTU)	1.22	0.37	1.36	0.26
UV_{254} (1/cm)	0.06	0.02	0.14	0.01
DOC (mg/L)	3.66	0.90	8.37	0.66

ตารางที่ 4.3 คุณลักษณะของน้ำดิบหลังผ่านคาร์ทริค 100 ไมครอน

Parameter	น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ		น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	6.86	0.14	7.26	0.13
อุณหภูมิ (°C)	25.59	2.55	31.23	0.96
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (μS/cm)	278.18	43.12	541.16	34.16
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	139.44	21.47	274.03	24.68
สี (mg/L.Pt)	12.89	5.80	13.96	3.20
ความขุ่น (NTU)	0.67	0.17	0.87	0.13
UV_{254} (1/cm)	0.05	0.01	0.13	0.01
DOC (mg/L)	3.32	0.48	7.47	0.61

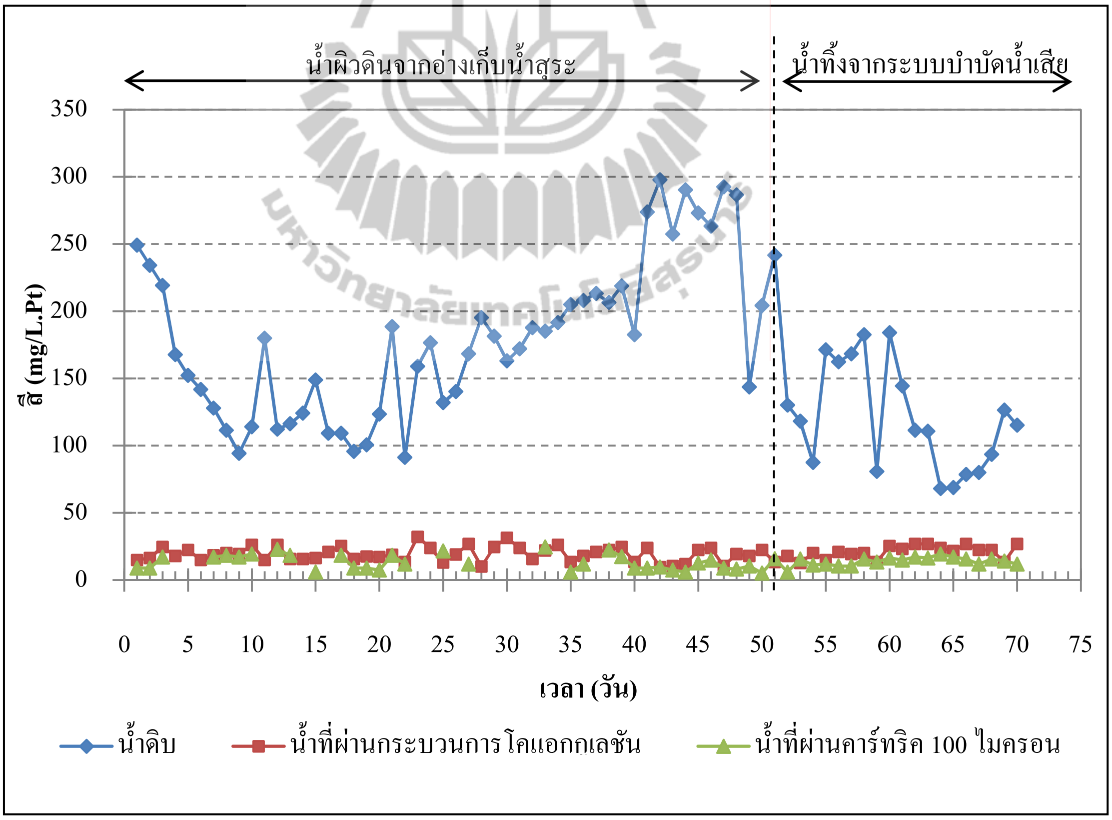
จากการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันจะเห็นว่าค่าสภาพการนำไฟฟ้าและค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันมีค่าสูงขึ้นเป็นผลมาจากการใช้โพลีอลูมินัมคลอไรด์เป็นสารตกตะกอน เมื่ออลูมินัมแตกตัวในน้ำจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนแตกตัวอยู่ในน้ำและมีประจุของอลูมินัมที่เหลืออยู่ได้หลายรูป เช่น Al^{+13} ส่งผลให้ค่าสภาพการนำไฟฟ้าและค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงขึ้น

ในการทดลองได้ทำการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 70 วัน พบว่าพีเอชของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระอยู่ในช่วง 6.92-7.58 และน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมีพีเอชอยู่ในช่วง 8.11-8.35 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 เมื่อทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันค่าพีเอชของน้ำจะยังคงมีค่าเป็นกลาง โดยน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.46-7.10 น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.91-7.68 สำหรับการกรองผ่านคาร์ทริค 100 ไมครอน พบว่าพีเอชของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่เข้าและออกจากการกรองผ่านคาร์ทริค 100 ไมครอน มีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าการกรองผ่านคาร์ทริค 100 ไมครอนไม่มีผลต่อค่าพีเอช



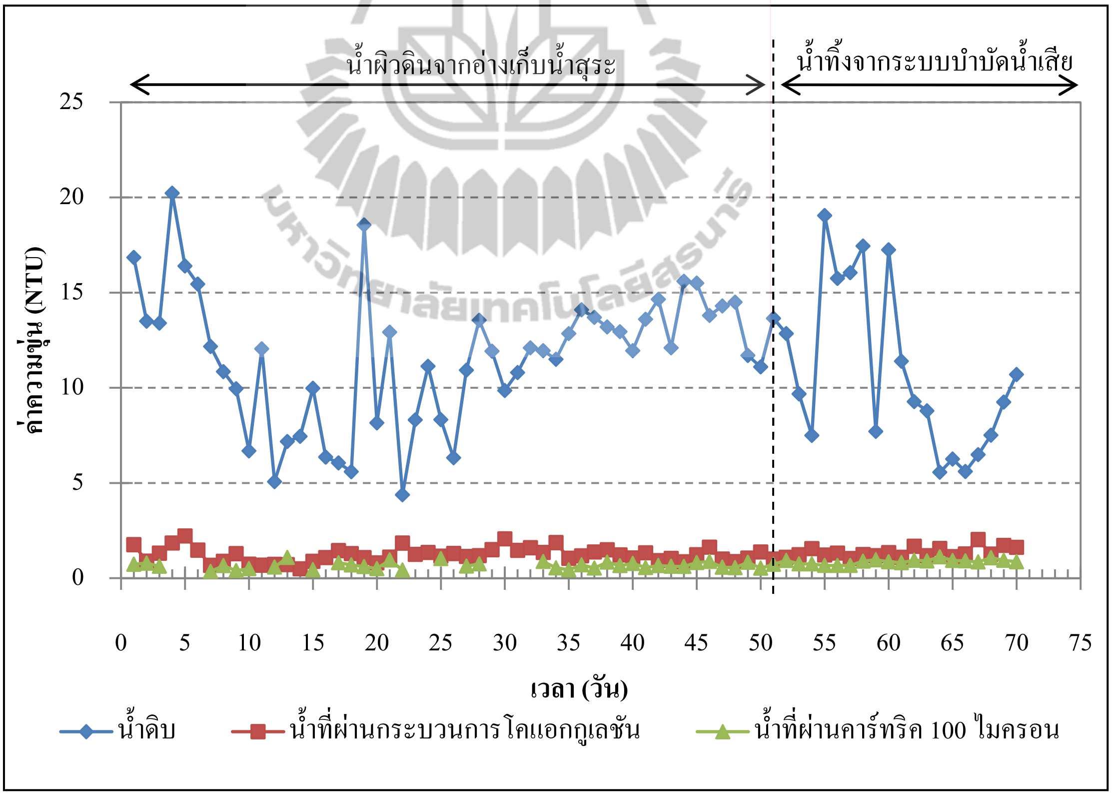
รูปที่ 4.1 ค่าพีเอชต่อระยะเวลาในการเดินระบบ

สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดสีและกลิ่น (Thurman et al., 1985) ในแหล่งน้ำผิวดินทั่วไปที่มีค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) สูงกว่า 5 mg/L จะทำเกิดสี ค่าสีของน้ำดิบจาก 2 แหล่งมีค่าสีที่สูงและเป็นสีเหลืองที่เกิดจากการย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์และสิ่งมีชีวิตที่มีอยู่ในน้ำ อีกทั้งในการวัดค่าสีของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่าค่าของสีที่วัดได้มีค่าสีอยู่ในช่วง 91.25-297.83 mg/L.Pt และ 68.04-184.06 mg/L.Pt ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และค่าความขุ่นของน้ำจากทั้ง 2 แหล่ง มีค่าอยู่ในช่วง 4.38-20.23 NTU และ 5.57-19.05 NTU ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 คุณภาพน้ำดิบที่นำมาศึกษามีค่าของสีและความขุ่นไม่คงที่เป็นผลมาจากคุณลักษณะของน้ำในแต่ละวันที่นำมาทดลอง โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันสามารถลดค่าสีในน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระอยู่ในช่วง 9.66-32.12 mg/L.Pt และลดความขุ่นอยู่ในช่วง 0.49-2.22 NTU อีกทั้งยังสามารถลดค่าสีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วให้อยู่ในช่วง 12.65-26.88 mg/L.Pt และลดความขุ่นอยู่ในช่วง 1.03-2.03 NTU



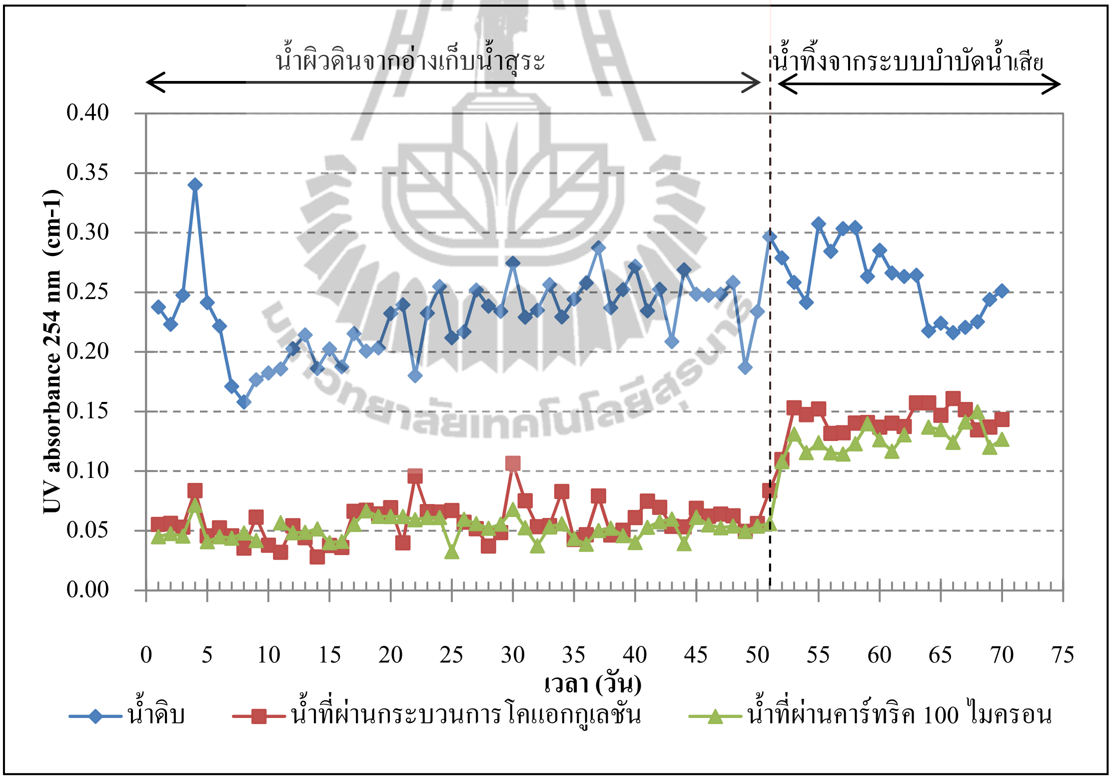
รูปที่ 4.2 ค่าสีต่อระยะเวลาในการเดินระบบ

ความขุ่นในน้ำมักเกิดจากสารแขวนลอยที่มีอนุภาคขนาดใหญ่และเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรน อนุภาคที่มีอยู่ในน้ำอาจเกิดจากแร่ธาตุหรือสารอินทรีย์ (ไวรัส แบคทีเรีย โปรโตซัว และสาหร่าย) อนุภาคเหล่านี้จะตกตะกอนได้ช้า ดังนั้นการตกตะกอนด้วยสารเคมีจะช่วยดักจับอนุภาคที่แขวนลอยและสามารถลดความขุ่นที่มีอยู่ในน้ำลงได้ (Edawald et al., 1999; Uyak et al., 2008) ค่าความขุ่นจึงเป็นดัชนีในการวัดคุณภาพน้ำหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน ในขณะที่การกรองผ่านคาร์ทริค 100 ไมครอนจะช่วยดักจับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 100 ไมครอน ก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน โดยพบว่าการกรองผ่านคาร์ทริค 100 ไมครอนจะสามารถลดค่าสีให้เหลือน้อยกว่า 15 mg/L.Pt และค่าของความขุ่นให้เหลือน้อยกว่า 2 NTU ดังนั้นการนำกระบวนการโคแอกกูเลชันและการกรองผ่านคาร์ทริค 100 ไมครอนมาเป็นกระบวนการบำบัดขั้นต้นจะสามารถควบคุมคุณลักษณะของน้ำจากทั้ง 2 แหล่ง ให้มีคุณลักษณะของน้ำที่ใกล้เคียงกันก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันได้



รูปที่ 4.3 ค่าความขุ่นต่อระยะเวลาในการเดินระบบ

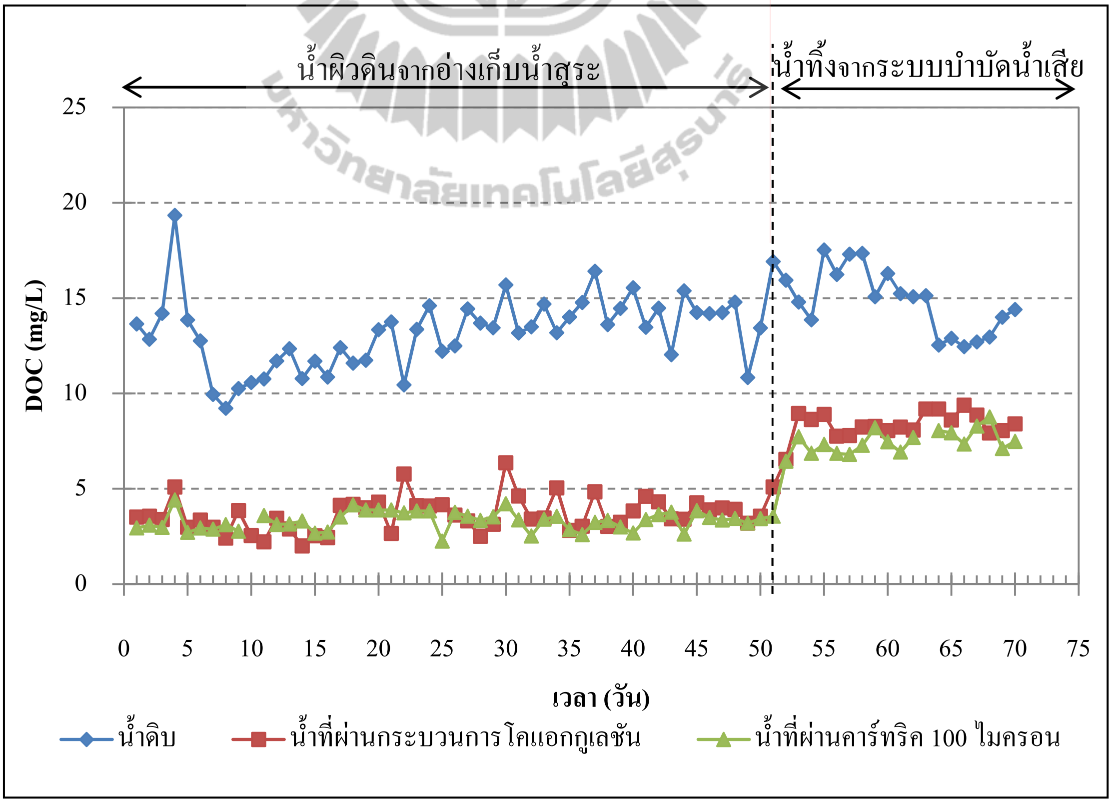
ค่า UV_{254} เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ซึ่งสามารถดูดซับรังสีอัลตราไวโอเลต ที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร จากการทดลองได้ทำการหาค่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระมีค่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) อยู่ในช่วง 0.16-0.34 cm^{-1} และน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) อยู่ในช่วง 0.22-0.31 cm^{-1} เมื่อนำน้ำดิบมาผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันพบว่ากระบวนการดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ในน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระได้มากกว่าน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยสามารถลดค่าสารอินทรีย์ธรรม (NOM) ในน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระได้ 0.03-0.11 cm^{-1} ในขณะที่ลดค่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียได้ 0.11-0.16 cm^{-1}



รูปที่ 4.4 ค่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ต่อระยะเวลาในการเดินระบบ

นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ (Dissolved Organic Carbon: DOC) โดยส่วนใหญ่พบว่าเป็นกรดฟลูวิคที่ละลายอยู่ในน้ำมากกว่ากรดฮิวมิค (Rasyid et al., 1992) โดยค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ที่วัดได้ในน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระมีค่าอยู่ในช่วง 9.22-19.34 mg/L และน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 12.45-17.52 mg/L

ดังแสดงในรูปที่ 4.5 จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติส่วนใหญ่จะมีสารอินทรีย์ธรรมชาติอยู่น้ำค่อนข้างสูง ความเข้มข้นสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ที่พบมีค่าอยู่ช่วง 1-50 mg/L และค่าสีมากกว่า 85% เป็นสีที่เกิดขึ้นสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำในรูปของกรดฟลูวิค (Singley, 1969) สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ผลที่ได้สอดคล้องกับการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) กล่าวคือกระบวนการโคแอกกูเลชันสามารถลดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ในน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระได้มากกว่าน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยสามารถลดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ในน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียได้ในช่วง 2.00-6.37 mg/L และ 6.54-9.38 mg/L ตามลำดับ นอกจากนี้การกรองผ่านคาร์ทริค 100 ไมครอนสามารถกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ได้เพียงเล็กน้อย เนื่องจากน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจะพบสารอินทรีย์ที่เกิดจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ตลอดจนซากจุลินทรีย์ที่หลงเหลือปนเปื้อนมากับน้ำอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ละลายน้ำมากกว่าสารแขวนลอย (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2547) จึงสามารถผ่านคาร์ทริค 100 ไมครอนออกมาได้



รูปที่ 4.5 ค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ต่อระยะเวลาในการเดินระบบ

การบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันในน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระสามารถลดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ได้ร้อยละ 86 88 75 และ 72 ตามลำดับ ซึ่งการใช้โพลีอลูมินัมคลอไรด์จะสามารถลดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ได้มากกว่าการใช้เฟอริกคลอไรด์และเฟอริกซัลเฟต ที่กำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ได้ร้อยละ 56 (Korbutowicz et al., 2008) และยังพบอีกว่าการใช้โพลีอลูมินัมคลอไรด์จะสามารถลดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ได้มากกว่าการศึกษาของ Krystyna et al. (2006) สำหรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย กระบวนการโคแอกกูเลชันสามารถลดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC)ได้ร้อยละ 83 87 45 และ 44 ตามลำดับ จะเห็นว่ากระบวนการดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียได้น้อยกว่าร้อยละ 50 น้ำดิบจากทั้ง 2 แหล่งหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันจะถูกนำมาผ่านคาร์ทริค 100 ไมครอน ก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าสามารถกำจัดสีและความขุ่นได้ร้อยละ 33 และ 45 ตามลำดับ ทั้งน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย แต่ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) น้อยกว่าร้อยละ 11 และ 10 ตามลำดับ

4.2 ความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน

การเดินระบบกรองจะทำการวัดความต้านเริ่มต้นเพื่อเป็นการตรวจสอบความต้านทานของระบบกรองด้วยเยื่อกรองเมมเบรนก่อนเริ่มเดินระบบ ด้วยการกรองน้ำสะอาดผ่านระบบเยื่อกรองเมมเบรน โดยดูความสัมพันธ์ระหว่างเพอมิเอทฟลักซ์และแรงขับดันเพื่อคำนวณหาค่าความต้านทานของเมมเบรนไว้เพื่อเปรียบเทียบกับความต้านทานเมมเบรนที่ผ่านการใช้งานแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.6

จากรูปที่ 4.6 สามารถหาความต้านทานเริ่มต้นได้จากสมการของ Darcy (4.1) โดยทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเพอมิเอทฟลักซ์ด้วยน้ำประปา ได้ค่า R_T เท่ากับ 0.9878×10^{12} m^{-1}

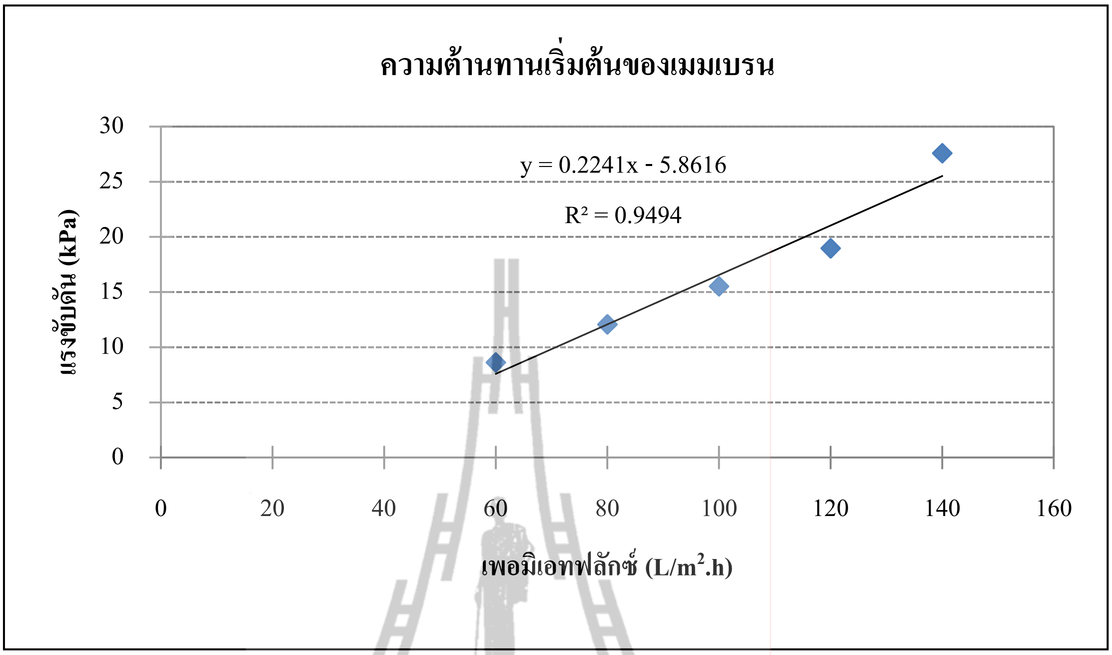
$$J = \frac{\Delta P}{\mu R_t} \qquad (4.1)$$

เมื่อ J คือ ฟลักซ์ของสารละลายผ่านเมมเบรน ($L/m^2.hr$)

ΔP คือ ผลต่างของความดันที่ใช้กับสารละลาย (kPa)

μ คือ ความหนืดของสารละลาย (Pa.s)

R_t คือ ความต้านทานทั้งหมดต่อการไหลผ่าน (Per meter)



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับดันกับเพอมิเอทฟลักซ์

4.3 สภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัด

น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นจะป้อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันด้วยการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์และสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เพื่อหาสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC)

4.3.1 ศึกษาการนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน

1. ผลของเพอมิเอทฟลักซ์ต่อประสิทธิภาพการกำจัด

การแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 ในการกรองจุลสาหร่าย พบว่าสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 มีประสิทธิภาพในการกำจัดจุลสาหร่ายได้มากกว่าร้อยละ 80 และใช้พลังงานในการเดินระบบน้อยกว่าการใช้สัดส่วนการกรองอื่น ๆ (ปกฉัตร ชูติวิศุทธิ์, 2009) โดยการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 และแปรผันน้ำเข้าระบบกรองที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 80 และ 100 L/m^2.h ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สภาวะการเดินระบบของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ ด้วยการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์

น้ำดิบ	เพอมิเอทฟลักซ์ ($L/m^2.h$)	เวลาในการเดินระบบ (ชั่วโมง)
น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ	60	120
	80	120
	100	120

ตารางที่ 4.5 คุณลักษณะของน้ำที่เข้าและออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระด้วยการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์

พารามิเตอร์	60 $L/m^2.h$		80 $L/m^2.h$		100 $L/m^2.h$	
	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย
พีเอช	6.80±0.07	6.92±0.25	6.84±0.13	6.89±0.13	6.90±0.12	6.85±0.09
อุณหภูมิ (°C)	26.24±2.21	27.27±1.73	25.98±1.01	26.60±0.93	23.00±1.20	23.86±0.93
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (µS/cm)	341.72±70.18	366.75±69.95	248.52±10.27	245.56±9.56	271.00±9.86	271.39±8.99
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	170.81±34.89	183.43±34.95	125.26±6.59	122.56±4.87	135.38±5.22	135.50±4.52
สี (mg/L.Pt)	14.61±4.44	5.06±3.04	14.06±6.07	5.03±2.08	14.19±7.72	5.84±2.51
ความขุ่น (NTU)	0.59±0.18	0.21±0.05	0.66±0.23	0.22±0.05	0.71±0.17	0.25±0.06
UV_{254} (1/cm)	0.05±0.01	0.04±0.01	0.06±0.01	0.04±0.01	0.05±0.01	0.04±0.01
DOC (mg/L)	3.09±0.51	2.64±0.34	3.52±0.46	2.76±0.48	3.20±0.51	2.71±0.38

ก. ผลของเพอมิเอทฟลักซ์ต่อการกำจัดสี

สำหรับน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระเมื่อนำมาผ่านระบบกรอง พบว่า เพอมิเอทฟลักซ์ที่ใช้ในการกรองมีผลต่อค่าการกำจัดสี ที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 $L/m^2.h$ ค่าของสีหลังผ่านการกรองมีค่าสีอยู่ในช่วง 1.43-11.91 mg/L.Pt ที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ ค่าของสีอยู่ในช่วง 1.43-8.91 mg/L.Pt และที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 100 $L/m^2.h$ ค่าของสีอยู่ในช่วง 1.43-11.91 mg/L.Pt จะเห็นว่าค่าของสีที่เพอมิเอทฟลักซ์ต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.5

และประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ได้หลังผ่านการกรองที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 80 และ 100 $L/m^2.h$ คิดเป็นร้อยละ 65 64 และ 59 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.7

ข. ผลของเพอมิเอทฟลักซ์ต่อการกำจัดความขุ่น

ความขุ่นในน้ำผิวดินอยู่รูปของสารแขวนลอยและคอลลอยด์ ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของเยื่อกรองเมมเบรน จึงสามารถดักอนุภาคของคอลลอยด์ไว้ไม่ให้สามารถผ่านออกมาระบบกรอง เมื่อนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระมาทำการวิเคราะห์หาค่าความขุ่น โดยค่าที่ได้จึงมีค่าน้อยมาก พบว่าที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 $L/m^2.h$ ค่าของความขุ่นหลังผ่านการกรองมีค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 0.11-0.38 NTU ที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ ค่าของความขุ่นอยู่ในช่วง 0.12-0.53 NTU และที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 100 $L/m^2.h$ ค่าของความขุ่นอยู่ในช่วง 0.16-0.46 NTU ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ทั้งนี้ประสิทธิภาพการกำจัดขึ้นอยู่กับค่าความขุ่นของน้ำที่เข้าระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันด้วย ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 80 และ 100 $L/m^2.h$ คิดเป็นร้อยละ 65 67 และ 64 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.7

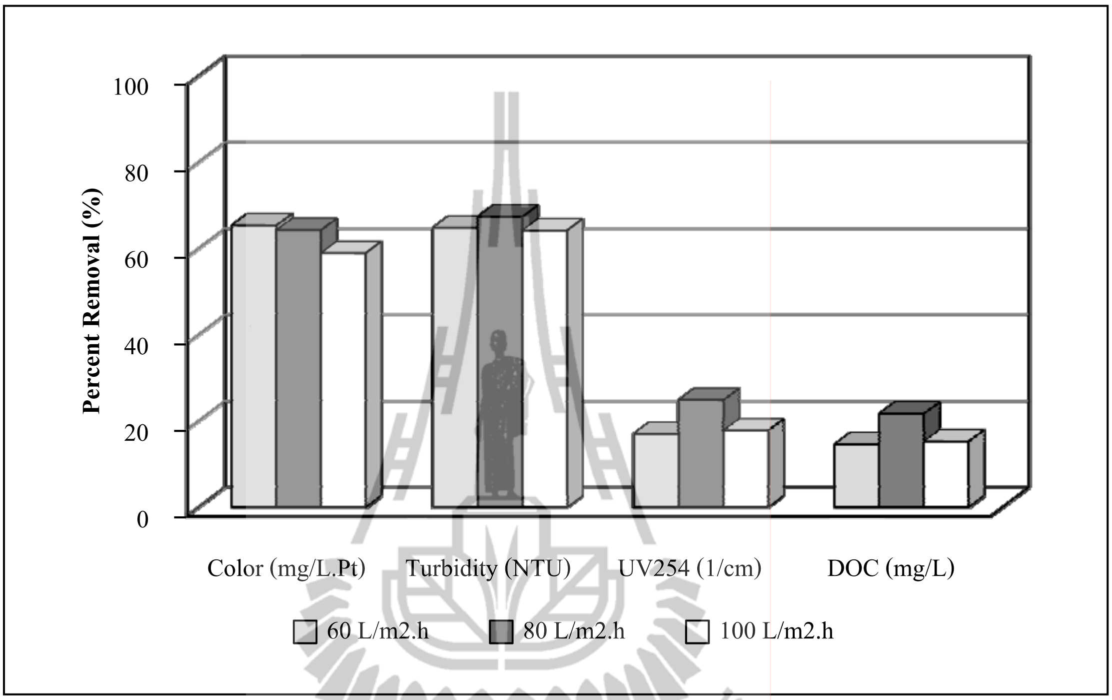
ค. ผลของเพอมิเอทฟลักซ์ต่อการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM)

น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระเมื่อนำมาผ่านระบบกรอง พบว่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่ใช้ในการกรองมีผลต่อค่าการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 80 และ 100 $L/m^2.h$ ค่าของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) อยู่ในช่วง 0.03-0.06 cm^{-1} ค่าของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ออกจากระบบมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ที่ได้หลังผ่านการกรองที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 80 และ 100 $L/m^2.h$ คิดเป็นร้อยละ 17 25 และ 18 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดเป็นผลมาจากคุณภาพน้ำที่เข้าระบบ เมื่อเพิ่มเพอมิเอทฟลักซ์ให้สูงขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำลดลง เนื่องจากการกรองแบบไหลขวางต้องอาศัยกลไกการดูดซับสารอินทรีย์ เมื่อเพิ่มเพอมิเอทฟลักซ์ที่สูงขึ้นจะสามารถผ่านรูพรุนของเยื่อกรองออกมาได้ (ศักดิ์สิทธิ์ อิ่มแมน, 2552)

ง. ผลของเพอมิเอทฟลักซ์ต่อการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC)

แหล่งน้ำผิวดินจะมีสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำคิดเป็นร้อยละ 50 ของสารอินทรีย์ธรรมชาติจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระเมื่อนำมาผ่านระบบกรองพบว่าเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 $L/m^2.h$ มีค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) อยู่ในช่วง 2.14-3.78 mg/L ที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ มีค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) อยู่ในช่วง 1.86-4.01 mg/L และเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 100 $L/m^2.h$ มีค่าของสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) อยู่ในช่วง 2.16-3.71 mg/L ดังแสดงในตารางที่ 4.5 คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ที่ได้หลังผ่านการกรองที่เพอมิเอทฟลักซ์

เท่ากับ 80 L/m^2.h เท่ากับร้อยละ 22 และที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 และ100 L/m^2.h คิดเป็นร้อยละ 15 เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดที่เพอมิเอทฟลักซ์ต่าง ๆ ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ

จากการทดลองหาเพอมิเอทฟลักซ์ที่เหมาะสมของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ พบว่าเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 L/m^2.h มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ได้มากกว่าเพอมิเอทฟลักซ์ 60 และ 100 L/m^2.h

2. ผลของสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททต่อประสิทธิภาพการกำจัด

จากการทดลองแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 80 และ 100 L/m^2.h พบว่าเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 L/m^2.h ในหัวข้อที่ผ่านมา มีประสิทธิภาพการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าการเดินระบบเป็นระยะเวลา 120 ชั่วโมงในแต่ละเพอมิเอทฟลักซ์แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดค่อนข้างสม่ำเสมอ ดังนั้นในการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททจะเดินระบบที่สัดส่วนละ 30 ชั่วโมง ดังนั้นในการทดลองนี้จะเดินระบบที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 L/m^2.h และแปรผันสัดส่วน

เพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเดินระบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สภาวะการเดินระบบของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ ด้วยการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท

น้ำดิบ	สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท	เวลาในการเดินระบบ (ชั่วโมง)
น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ	25:75	30
	50:50	30
	75:25	30

ตารางที่ 4.7 คุณลักษณะของน้ำที่เข้าและออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของน้ำผิวดิน จากอ่างเก็บน้ำสุระด้วยการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท

พารามิเตอร์	25:75		50:50		75:25	
	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย
พีเอช	6.80±0.23	6.73±0.10	6.88±0.23	6.88±0.07	6.95±0.10	6.91±0.09
อุณหภูมิ (°C)	29.76±1.62	30.88±1.47	26.86±3.16	28.26±2.46	28.33±0.73	29.24±0.76
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (μS/cm)	279.88±7.12	278.56±6.08	274.50±2.27	275.72±5.86	276.83±3.21	278.26±5.71
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	140.75±5.91	139.00±3.06	137.25±1.19	137.88±2.88	139.17±2.52	138.96±2.66
สี (mg/L.Pt)	7.98±1.66	2.59±1.49	11.16±3.18	4.81±2.65	10.49±5.36	5.62±2.74
ความขุ่น (NTU)	0.62±0.04	0.22±0.03	0.71±0.16	0.33±0.05	0.70±0.16	0.37±0.04
UV_{254} (1/cm)	0.05±0.01	0.04±0.00	0.06±0.00	0.04±0.00	0.05±0.00	0.04±0.00
DOC (mg/L)	3.36±0.51	2.58±0.17	3.54±0.22	2.94±0.10	3.40±0.18	2.93±0.15

ก. ผลของการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททในการกำจัดสี

ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ เมื่อแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 พบว่าค่าของสีหลังผ่านการกรองมีค่าสีอยู่ในช่วง 1.43-5.92 mg/L.Pt ในขณะที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 50:50 และ 75:25 ค่าของสีใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 1.43-8.91 mg/L.Pt ดังแสดงในตารางที่ 4.7 มี

ประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ได้หลังผ่านการกรองที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 คิดเป็นร้อยละ 67 57 และ 46 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.8

ข. ผลของการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททในการกำจัดความขุ่น

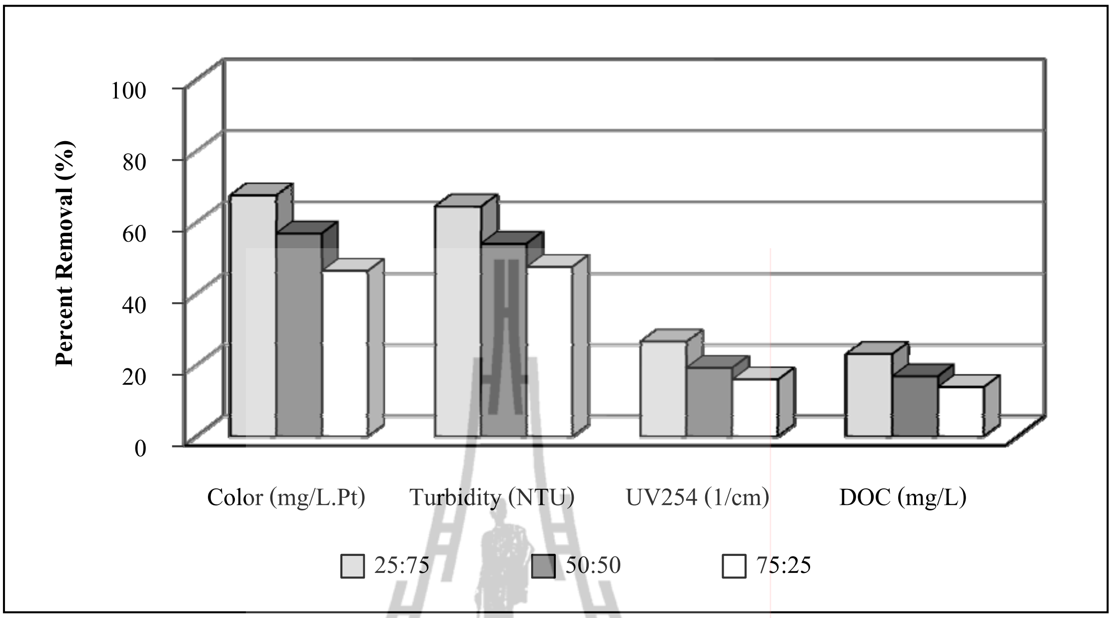
สำหรับน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระเมื่อนำมาผ่านการกรองที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 พบว่าค่าความขุ่นของน้ำที่วัดได้อยู่ในช่วง 0.19-0.31 NTU ที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 50:50 ค่าของความขุ่นอยู่ในช่วง 0.23-0.43 NTU และที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 75:25 ค่าของความขุ่นอยู่ในช่วง 0.29-0.45 NTU ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ได้หลังผ่านการกรองที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 คิดเป็นร้อยละ 64 54 และ 47 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.8

ค. ผลของการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท
ในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM)

น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระเมื่อนำมาผ่านระบบกรอง พบว่าสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 หลังผ่านการกรองมีค่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) อยู่ในช่วง 0.03-0.04 cm^{-1} ในขณะที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 50:50 และ 75:25 มีค่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) เหลืออยู่ในช่วง 0.04-0.05 cm^{-1} เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ที่ได้หลังผ่านการกรองที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 คิดเป็นร้อยละ 27 19 และ 16 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.8

ง. ผลของการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท
ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC)

ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ พบว่าที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 มีค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) อยู่ในช่วง 2.30-2.90 mg/L ที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 50:50 มีค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) อยู่ในช่วง 2.74-3.11 mg/L และที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 75:25 มีค่าของสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) อยู่ในช่วง 2.70-3.14 mg/L ดังแสดงในตารางที่ 4.7 มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 คิดเป็นร้อยละ 23 17 และ 14 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททต่าง ๆ ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเดินระบบกรองอัลตรฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 25:75 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ได้มากกว่าที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 50:50 และ 75:25

4.3.2 ศึกษาการนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน

1. ผลของเพอมิเอทฟลักซ์ต่อประสิทธิภาพการกำจัด

ในการทดสอบน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันจะทำการทดลองเช่นเดียวกับการศึกษาน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ โดยมีสภาวะการเดินระบบดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สภาวะการเดินระบบของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์

น้ำดิบ	เพอมิเอทฟลักซ์ ($L/m^2.h$)	เวลาในการเดินระบบ (ชั่วโมง)
น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย	60	30
	80	30
	100	30

ตารางที่ 4.9 คุณลักษณะของน้ำที่เข้าและออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน ของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์

พารามิเตอร์	$60\ L/m^2.h$		$80\ L/m^2.h$		$100\ L/m^2.h$	
	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย
พีเอช	7.19±0.04	7.13±0.10	7.13±0.17	6.95±0.09	7.32±0.10	7.33±0.11
อุณหภูมิ (°C)	31.18±1.85	33.18±0.83	31.20±0.74	32.21±0.93	31.36±1.42	32.20±1.12
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (µS/cm)	536.00±52.40	577.80±5.35	516.00±27.83	571.16±8.90	539.25±22.66	572.18±6.81
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	268.00±26.34	289.08±2.81	259.25±15.02	285.84±4.49	271.75±12.31	286.58±3.12
สี (mg/L.Pt)	10.91±4.87	6.49±2.36	12.09±2.47	5.89±2.96	15.46±1.66	9.84±2.79
ความขุ่น (NTU)	0.81±0.11	0.35±0.04	0.73±0.11	0.29±0.04	0.90±0.07	0.50±0.05
UV_{254} (1/cm)	0.12±0.01	0.10±0.01	0.12±0.00	0.10±0.00	0.13±0.01	0.11±0.00
DOC (mg/L)	7.01±0.66	6.02±0.38	7.06±0.28	5.79±0.23	7.57±0.53	6.74±0.19

ก. ผลของเพอมิเอทฟลักซ์ต่อการกำจัดสี

การนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองพบว่าที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 $L/m^2.h$ ค่าของสีหลังผ่านการกรองอยู่ในช่วง 2.92-10.41 mg/L.Pt ที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ ค่าของสีอยู่ในช่วง 1.43-10.41mg/L.Pt และที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 100 $L/m^2.h$ ค่าของสีอยู่ในช่วง 4.42-14.90 mg/L.Pt จะเห็นว่าในการเดินระบบกรองที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 100 $L/m^2.h$ สามารถกำจัดสีได้น้อยกว่าที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 และ 80 $L/m^2.h$ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ได้หลังผ่านการกรองที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 80 และ 100 $L/m^2.h$ คิดเป็นร้อยละ 41 51 และ 36 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.9

ข. ผลของเพอมิเอทฟลักซ์ต่อการกำจัดความขุ่น

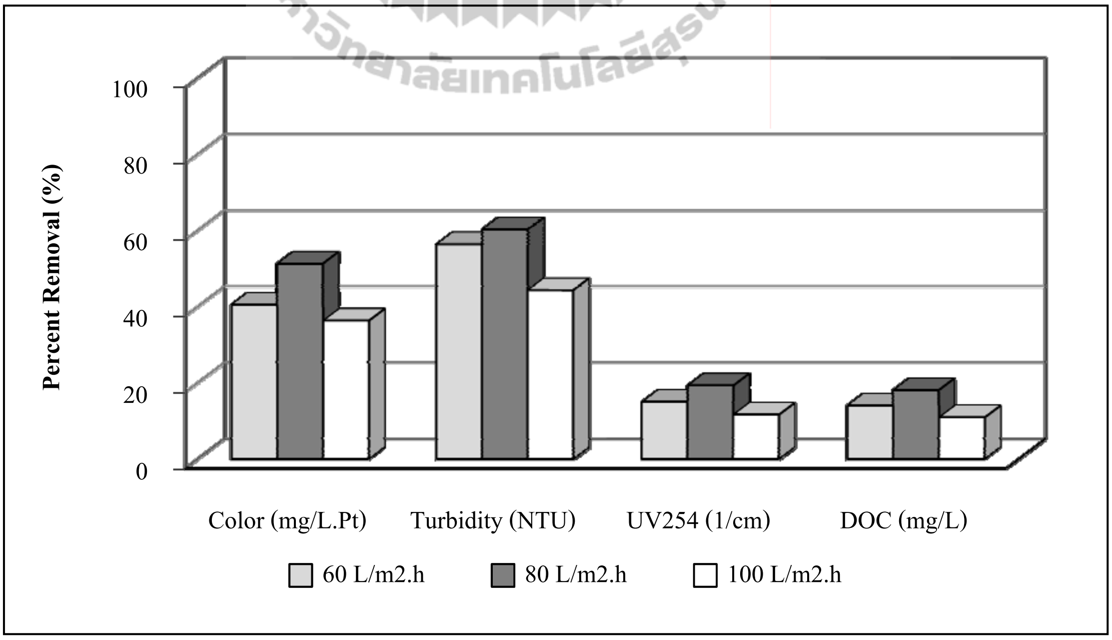
น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อผ่านการกรองพบว่าเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 $L/m^2.h$ มีค่าของความขุ่นอยู่ในช่วง 0.26-0.43 NTU ที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ ค่าของความขุ่นอยู่ในช่วง 0.24-0.37 NTU และที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 100 $L/m^2.h$ ค่าของความขุ่นอยู่ในช่วง 0.41-0.60 NTU แสดงดังตารางที่ 4.9 และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ได้หลังผ่านการกรองที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 80 และ 100 $L/m^2.h$ คิดเป็นร้อยละ 56 60 และ 44 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.9

ค. ผลของเพอมิเอทฟลักซ์ต่อการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM)

น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อนำมาผ่านระบบกรอง พบว่าที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 และ 80 $L/m^2.h$ ค่าของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) หลังผ่านการกรองมีค่าอยู่ในช่วง 0.09-0.11 cm^{-1} และที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 100 $L/m^2.h$ ค่าของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) อยู่ในช่วง 0.11-0.12cm^{-1} ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ที่ได้หลังผ่านการกรองที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 80 และ 100 $L/m^2.h$ คิดเป็นร้อยละ 15 19 และ 12 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.9

ง. ผลของเพอมิเอทฟลักซ์ต่อการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC)

น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อผ่านระบบกรองพบว่าที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 $L/m^2.h$ ค่าของสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) มีค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) อยู่ในช่วง 5.29-6.66 mg/L.Pt ที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ มีค่าของสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) อยู่ในช่วง 5.45-6.29 mg/L.Pt และที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 100 $L/m^2.h$ มีค่าของสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) อยู่ในช่วง 6.41-7.12 mg/L.Pt ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ที่ได้หลังผ่านการกรองที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 80 และ 100 $L/m^2.h$ คิดเป็นร้อยละ 14 18 และ 11 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการกำจัดที่เพอมิเอทฟลักซ์ต่าง ๆ ของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย

ดังนั้นในการทำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาเดิมระบบที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 L/m^2.h มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติและสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) มากกว่าที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 และ 80 L/m^2.h

2. ผลของสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททต่อประสิทธิภาพการกำจัด

จากการทดลองหาเพอมิเอทฟลักซ์ที่เหมาะสมสำหรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่ 80 L/m^2.h มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด ดังนั้นจะทำการทดลองแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 สภาวะการเดินระบบของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย
ด้วยการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท

น้ำดิบ	สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท	เวลาในการเดินระบบ (ชั่วโมง)
น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย	25:75	30
	50:50	30
	75:25	30

ตารางที่ 4.11 คุณลักษณะของน้ำที่เข้าและออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของน้ำทิ้ง
จากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท

พารามิเตอร์	25:75		50:50		75:25	
	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย
พีเอช	7.38±0.08	7.38±0.09	7.30±0.07	7.31±0.07	7.22±0.00	7.12±0.08
อุณหภูมิ (°C)	31.07±0.76	32.82±0.66	31.23±0.55	32.34±0.80	31.30±0.36	32.34±0.77
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (µS/cm)	527.17±13.70	565.46±10.45	576.50±33.88	621.08±11.51	571.00±15.56	627.14±5.81
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	263.67±7.32	283.16±4.02	305.33±43.20	309.08±12.36	285.75±8.13	313.86±2.77
สี (mg/L.Pt)	17.65±1.56	12.00±2.98	14.40±2.16	10.41±2.16	13.03±1.59	10.32±2.43
ความขุ่น (NTU)	0.99±0.12	0.42±0.04	0.95±0.12	0.45±0.03	0.90±0.05	0.44±0.03
UV_{254} (1/cm)	0.14±0.00	0.11±0.00	0.14±0.01	0.13±0.01	0.12±0.00	0.11±0.01
DOC (mg/L)	7.99±0.08	6.72±0.17	8.13±0.72	7.45±0.45	7.30±0.26	6.71±0.36

ก. ผลของการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท ในการกำจัดสี

น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองพบว่าที่สัดส่วน เพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 พบว่าค่าของสีหลังผ่านการกรองมีค่าสีอยู่ในช่วง 7.42-17.89 mg/L.Pt สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 50:50 พบว่าค่าของสีหลังผ่านการกรองมีค่าสีอยู่ในช่วง 5.92-16.40 mg/L.Pt และที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 75:25 ค่าของสีอยู่ในช่วง 5.92-14.90 mg/L.Pt เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และคิดเป็นร้อยละการกำจัดสีเท่ากับ 32 28 และ 21 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.10

ข. ผลของการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท ในการกำจัดความขุ่น

น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านการกรอง สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 พบว่าค่าความขุ่นของน้ำที่วัดได้อยู่ในช่วง 0.37-0.52 NTU ที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 50:50 พบว่าค่าความขุ่นของน้ำที่วัดได้อยู่ในช่วง 0.40-0.53 NTU และที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 75:25พบว่าค่าความขุ่นของน้ำที่วัดได้อยู่ในช่วง 0.39-0.50 NTU แสดงดังตารางที่ 4.11 และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ได้หลังผ่านการกรองที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 คิดเป็นร้อยละ 57 53 และ 52 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.10

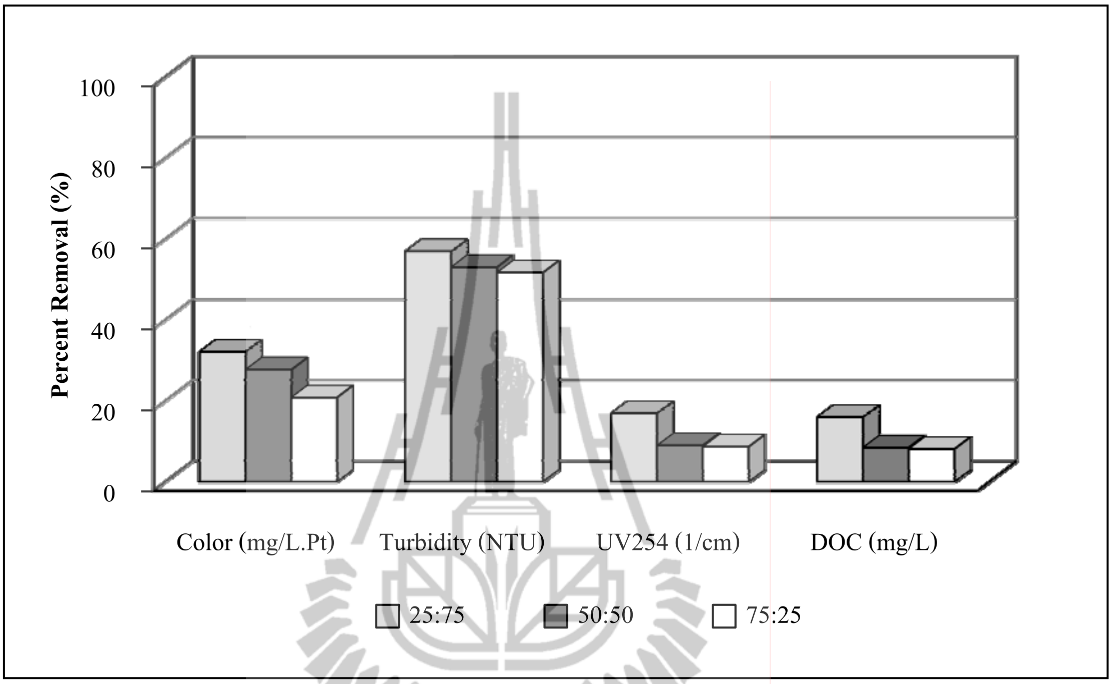
ค. ผลของการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท ในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM)

สำหรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อผ่านระบบกรองพบว่าที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 และ 75:25 ค่าของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) หลังผ่านการกรองมีค่าสีอยู่ในช่วง 0.10-0.12 cm^{-1} แต่ที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 50:50 ค่าของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) อยู่ในช่วง 0.11-0.14 cm^{-1} ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ที่ได้หลังผ่านการกรองที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 คิดเป็นร้อยละ 17 9 และ 9 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 จะเห็นว่าสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 และ 75:25 ค่ากำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ได้มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันประสิทธิภาพการกำจัดต่างกันเป็นผลมาจากคุณภาพน้ำที่เข้าระบบกรองไม่เท่ากัน

ง. ผลของการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC)

น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองพบว่าที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 มีค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) อยู่ในช่วง 6.27-7.04 mg/L ที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 50:50 มีค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) อยู่ในช่วง 6.69-8.24 mg/L และที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 75:25 มีค่าของสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) อยู่ในช่วง

6.28-7.23 mg/L ดังแสดงในตารางที่ 4.11 ที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 คิดเป็นร้อยละ 16 8 และ 8 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททต่าง ๆ ของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเดินระบบกรองอัลตรฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 25:75 ของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ได้มากกว่าที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 50:50 และ 75:25

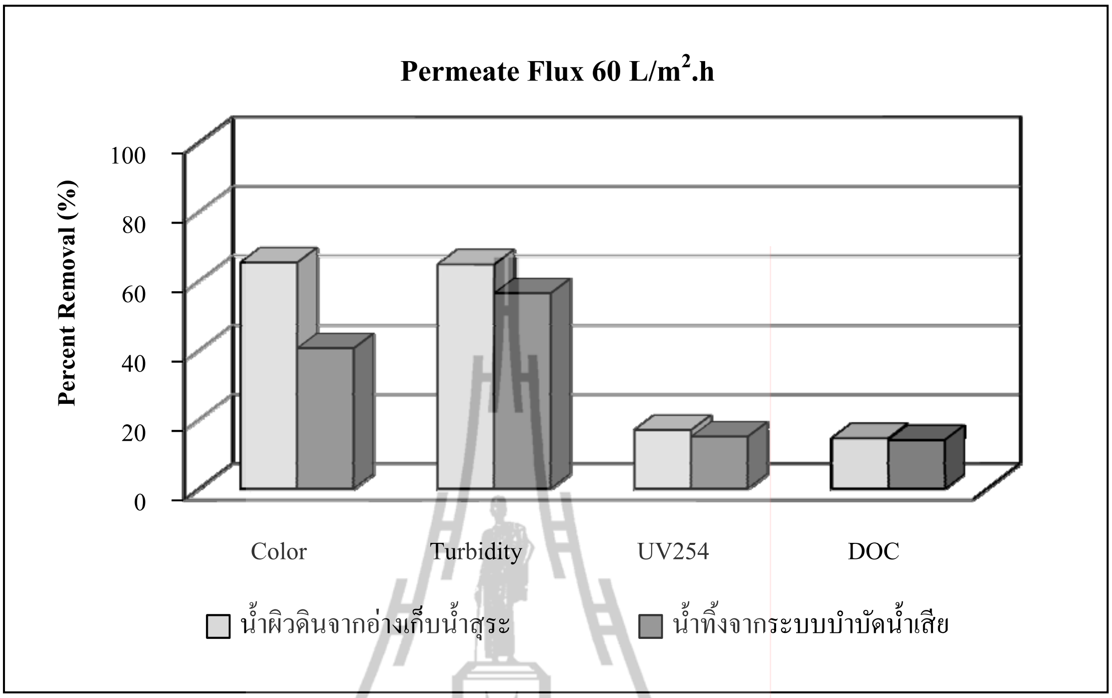
4.4 ประสิทธิภาพการกำจัด

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบด้วยการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 80 และ 100 $L/m^2.h$ และแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 สามารถเปรียบเทียบผลที่ได้ดังต่อไปนี้

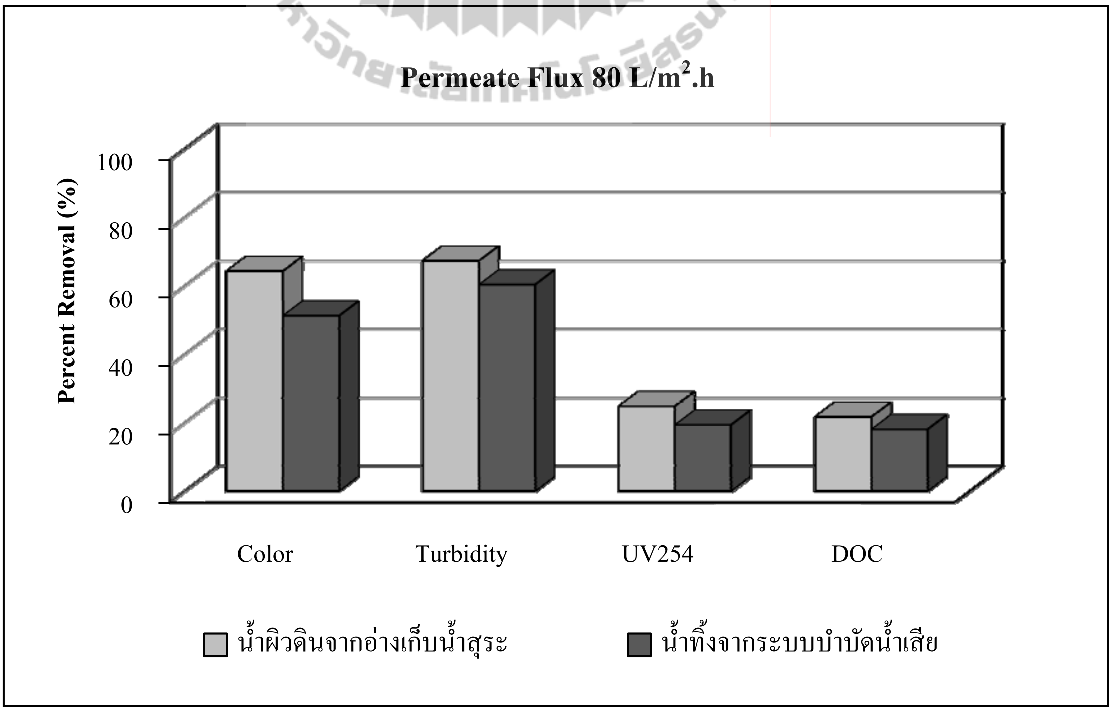
4.4.1 ผลของเพอมิเอทฟลักซ์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย

ผลของการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ถึงรูปที่ 4.13

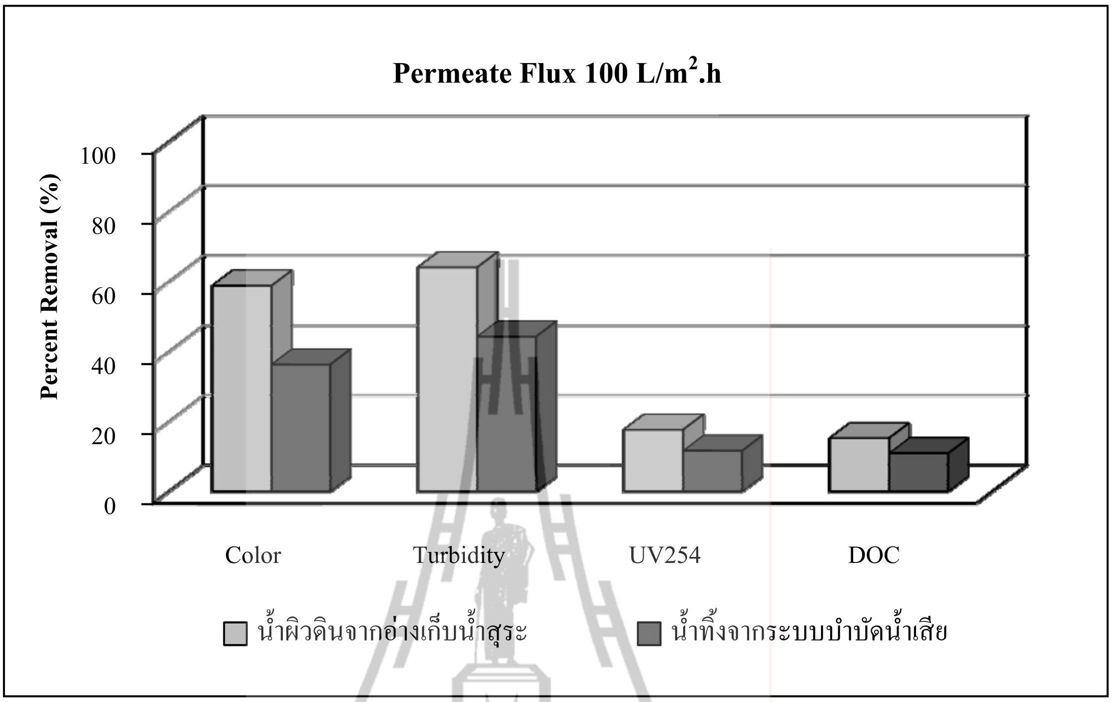
เมื่อทดสอบนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ไม่แตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะที่ทำการเดินระบบ เมื่อแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์ที่เพอมิเอท ฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) คิดเป็นร้อยละ 25 และ 22 ตามลำดับ ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดสีและความขุ่นเท่ากับ ร้อยละ 64 และ 67 ตามลำดับ แต่ประสิทธิภาพการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) น้อยลงเมื่อเดินระบบที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 100 $L/m^2.h$. ซึ่งอธิบายได้ว่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อแรงดันที่สูงขึ้น ผลมาจากเกิดการสะสมและอุดตันที่ผิวหน้าของเยื่อกรองเมมเบรน ซึ่งการอุดตันดังกล่าวเกิดขึ้นในขณะที่เดินระบบที่เพอมิเอทฟลักซ์สูง (Wang et al., 2008) ดังนั้นในการเดินระบบ น้ำดิบที่นำมาศึกษาควรผ่านการบำบัดขั้นต้นมาก่อนเพื่อลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำดิบและชะลอการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรน จากการศึกษาน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านการบำบัดขั้นต้นก่อนสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันมีค่าความขุ่นประมาณ 2 NTU เมื่อผ่านการกรองพบว่าค่าความขุ่นลดลงเหลือน้อยกว่า 0.22 NTU โดยเพอมิเอทฟลักซ์ที่ใช้ในการเดินระบบเท่ากับ 80 $L/m^2.h$ ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ Glucina et al. (2000) ได้นำเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่มี MWCO 10,000 ดาร์ตัน ผลิตจาก Cellulose มีพื้นที่การกรอง 64 m^2 นำมากรองน้ำผิวดินจากแม่น้ำที่มีความขุ่นเฉลี่ย 10 NTU โดยใช้อัตราการซึมผ่านเยื่อกรองเมมเบรน 15.5 $L/m^2.hr$ พบว่าน้ำเพอมิเอทมีความขุ่นเฉลี่ย 0.10 NTU มีการรักษาอัตราการซึมผ่านของน้ำด้วยการล้างย้อนทุก ๆ 30-40 นาที นอกจากนี้ยังพบว่าเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่ทำจากโพลีซัลโฟน ขนาด MWCO 20,000 ดาร์ตัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ในน้ำผิวดินได้ร้อยละ 67 และ 25 เมื่อเทียบกับการศึกษาของ Korbutowicz et al. (2008) ได้ศึกษาน้ำผิวดิน Odra River โดยใช้เยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชันที่ทำจากโพลีเอสเตอร์ซัลโฟน (PES) ขนาด MWCO 5,000 ดาร์ตัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ร้อยละ 73 และสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ได้ร้อยละ 56 ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเยื่อกรองเมมเบรนที่มีขนาด MWCO 5,000 ดาร์ตัน มีประสิทธิภาพในการกรองสารในน้ำให้มีประสิทธิภาพมากกว่าเยื่อกรองเมมเบรนที่มีขนาด MWCO 20,000 ดาร์ตัน



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดที่เพอมิเอทฟลักซ์ 60 L/m^2.h



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดกำจัดที่เพอมิเอทฟลักซ์ 80 L/m^2.h



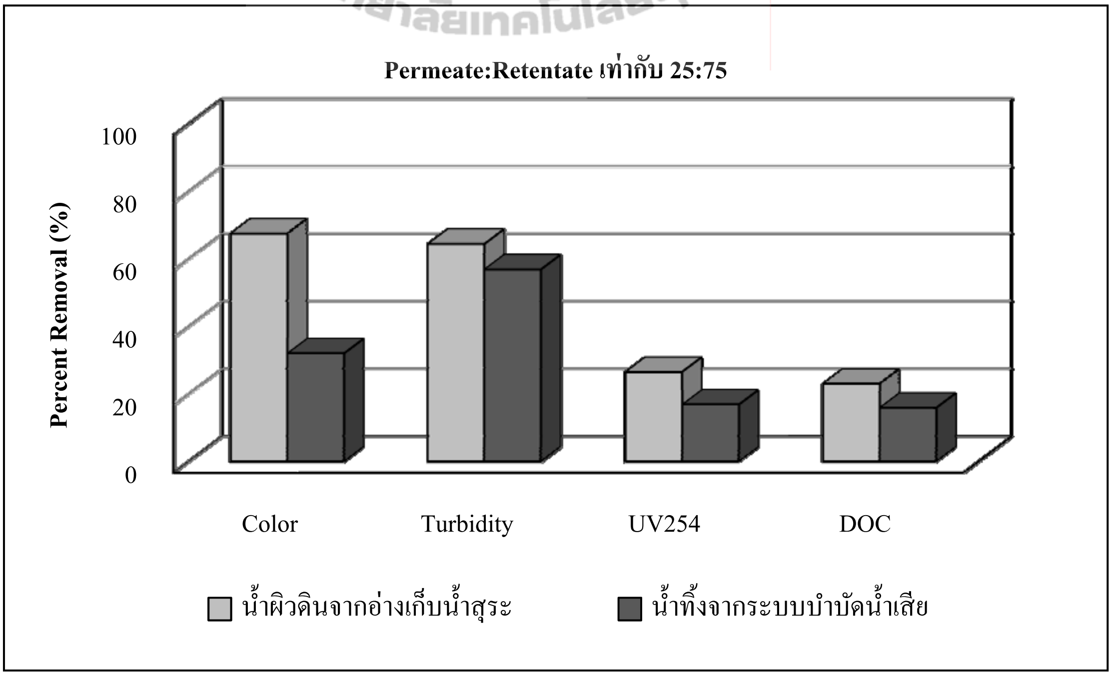
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดที่เพอมิเอทฟลักซ์ 100 L/m^2.h

การศึกษาครั้งนี้ได้นำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ ผลที่ได้สอดคล้องกับการนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระมาผ่านระบบกรอง กล่าวคือประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 L/m^2.h มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดเมื่อเทียบกับเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 และ 100 L/m^2.h โดยพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) คิดเป็นร้อยละ 51 60 19 และ 18 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) มีค่ามากกว่า 4 mg/L จะทำให้เกิดเป็นสารไตรฮาโลมีเทนมากกว่า 50 μg/L (Hans et al., 1993)

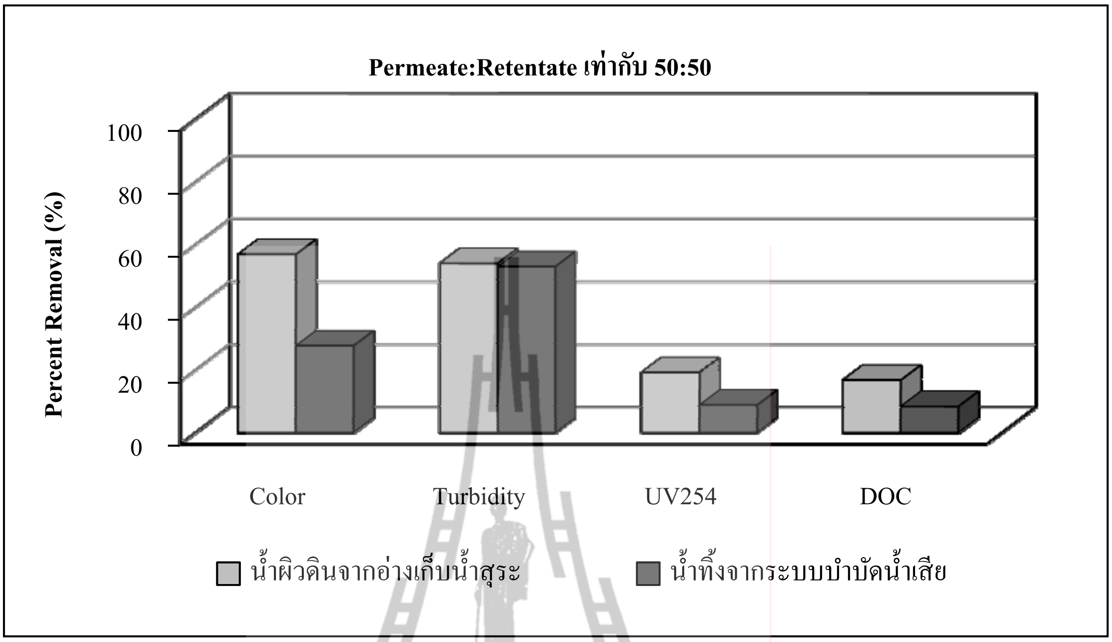
4.4.2 ผลของสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททต่อประสิทธิภาพการกำจัดของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย

ผลของการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.14 ถึงรูปที่ 4.16

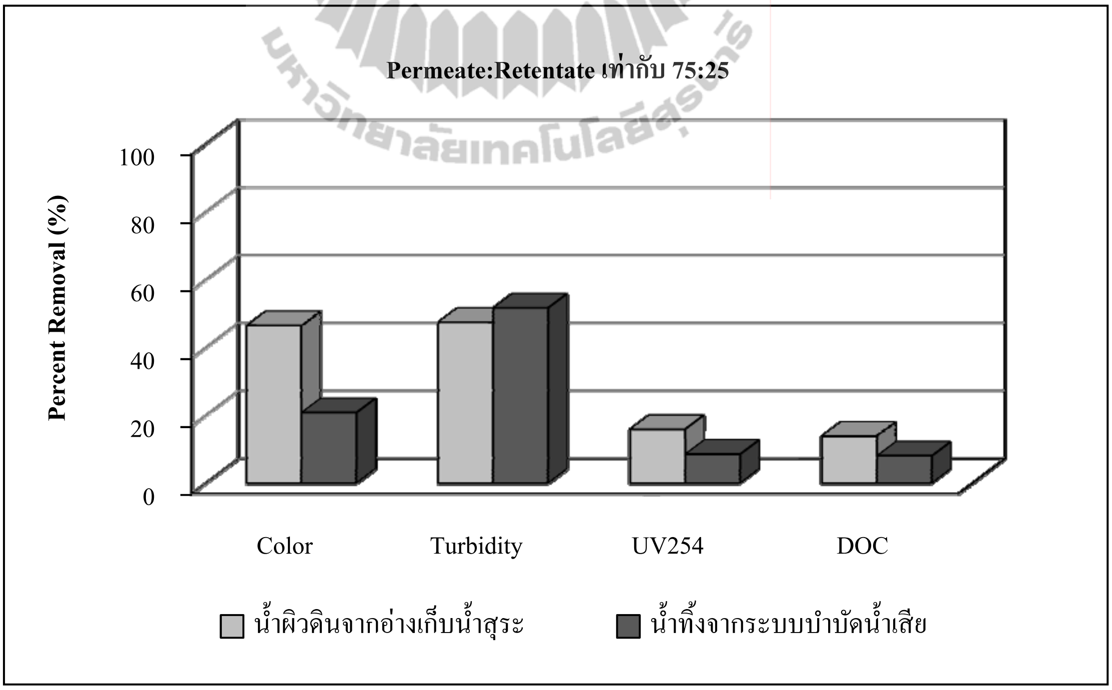
การหาเพอมิเอทฟลักซ์ที่เหมาะสมพบว่าเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ดังนั้นจึงนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันด้วยการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 พบว่าสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ร้อยละ 67 64 27 และ 23 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเยื่อกรองที่มีขนาด MWCO 10-50 กิโลดาร์ตัน สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ได้ร้อยละ 25-32 (Siddiqui et al., 1997) นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลงเมื่อสัดส่วนเพอมิเอท ต่อรีเทนเททเพิ่มขึ้น จากการศึกษาพบว่าที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 75:25 มีประสิทธิภาพการกำจัดน้อยสุดเมื่อเปรียบเทียบกับที่สัดส่วนอื่น ๆ สัดส่วนที่สูงขึ้นส่งผลให้อนุภาคที่ผ่านเยื่อกรองเมมเบรนเกิดการอุดตันที่ผิวหน้าเมมเบรนแบบตั้งฉากที่เรียกว่าการไหลแบบปิด (Dead-end Mode) (ปกณัตร ชูติวิศุทธิ์, 2552) ในทำนองเดียวกันเมื่อนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันด้วยการเดินระบบที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ โดยแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ พบว่าที่สัดส่วนเพอมิเอท ต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 มีประสิทธิภาพการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) คิดเป็นร้อยละ 32 57 17 และ 16 ตามลำดับ



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 50:50



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 75:25

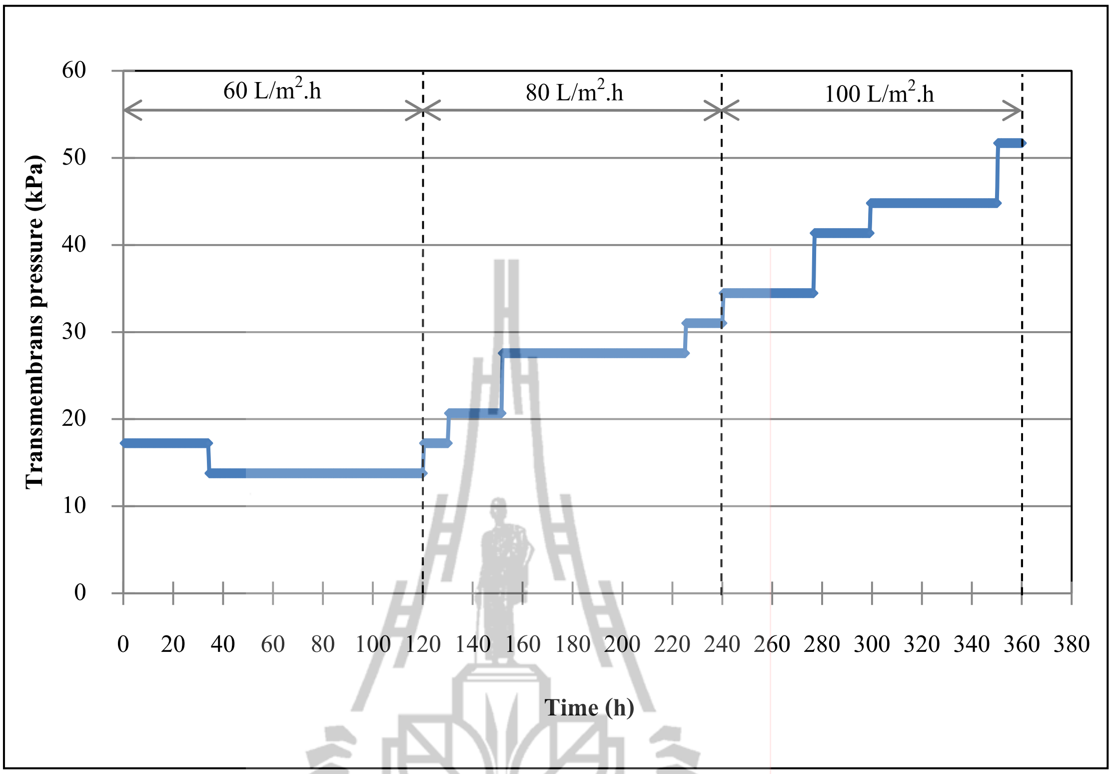
4.5 ผลของความดันในการเดินระบบ

ในการเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียโดยแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์และแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท ได้แสดงให้เห็นถึงความดันที่เกิดขึ้นจากการเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันเทียบกับระยะเวลาในการเดินระบบ

น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันด้วยสภาวะการเดินระบบดังตารางที่ 4.12 ที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 และแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 80 และ 100 $L/m^2.h$ ซึ่งในแต่ละเพอมิเอทฟลักซ์จะใช้เวลาในการเดินระบบ 120 ชั่วโมง พบว่าแรงดันที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากความเข้มข้นของน้ำที่เข้าระบบกรองเกิดการอุดตันที่ผิวหน้าของเยื่อกรองเมมเบรนและความต้านทานของชั้นเค้กที่สะสมอยู่ในเยื่อกรองเมมเบรน (McCarthy et al., 2002; Cristensen et al., 2009) การแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์จะแปรผันตรงกับความดันที่เกิดขึ้น อีกทั้งยังส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด โดยแรงดันเพิ่มขึ้นจาก 14.77-41.59 kPa เมื่อเพอมิเอทฟลักซ์เพิ่มขึ้นจาก 60-100 $L/m^2.h$ ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และทำการล้างย้อนด้วยน้ำสะอาดก่อนเดินระบบต่อไป

ตารางที่ 4.12 ผลของความดันต่อการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ ที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75

เพอมิเอทฟลักซ์ ($L/m^2.h$)	แรงดัน (kPa)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			
		สี	ความขุ่น	สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM)	สารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC)
60	14.77	65	65	17	15
80	25.92	64	67	25	22
100	41.59	59	64	18	15

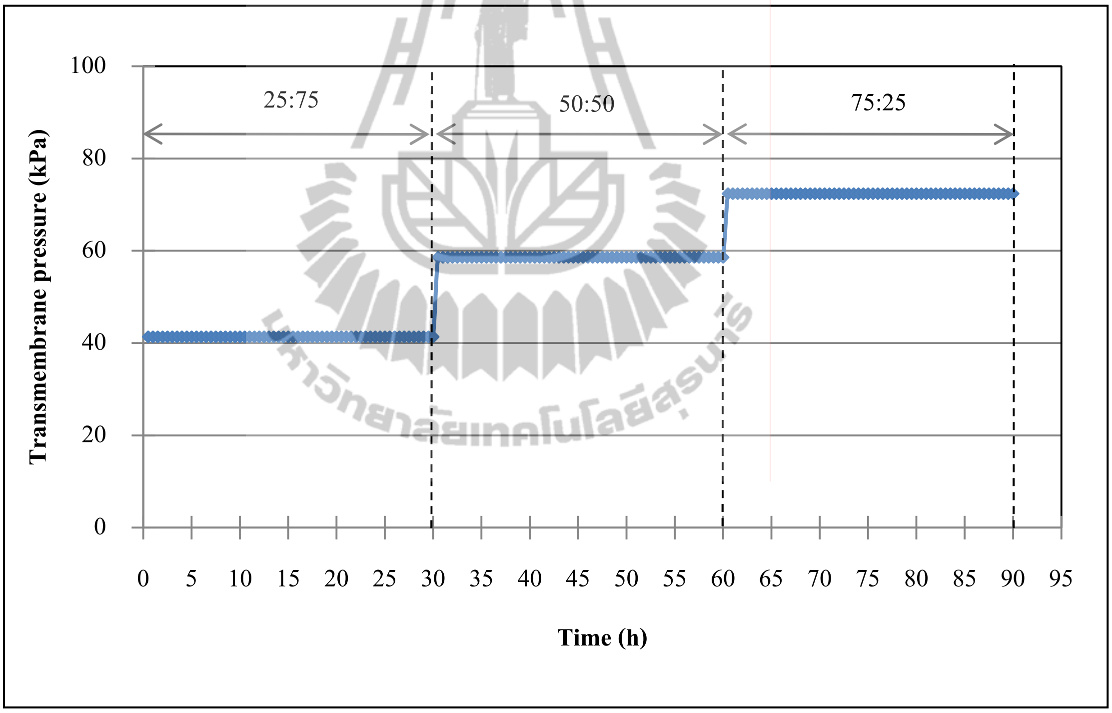


รูปที่ 4.17 ผลของเพอมิเอทฟลักซ์เทียบกับระยะเวลาในการเดินระบบของน้ำผิวดิน จากอ่างเก็บน้ำสุระที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75

เนื่องจากในการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์พบว่าเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัด เมื่อต้องการหาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดจึงเดินระบบที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ และแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทนเทท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ โดยใช้ระยะเวลาในการเดินระบบที่สัดส่วนละ 30 ชั่วโมง ยังคงพบว่าแรงดันเพิ่มขึ้นจาก 41.38-72.41 kPa จากตารางที่ 4.13 จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทนเทท่ากับ 25:75 มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัด แต่ 75:25 ประสิทธิภาพน้อยสุดเป็นผลมาจากความเร็วที่ผ่านเยื่อกรองมีค่าสูงเกิดเป็นการไหลแบบ Dead-end ทำให้อนุภาคในน้ำสามารถกรองผ่านเยื่อกรองมาได้ ผลของความดันที่เกิดขึ้นจากรูปที่ 4.18 เพิ่มขึ้นจาก 41.38-72.41 kPa เมื่อเทียบกับความสามารถของเยื่อกรองเมมเบรนที่นำมาทดสอบสามารถทนแรงดันได้ 100-300 kPa ดังนั้นจะต้องทำการล้างทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนเพื่อลดแรงดันที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.13 ผลของความดันต่อการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทททของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 L/m^2.h

เพอมิเอทต่อรีเทนเทท	แรงดัน (kPa)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			
		สี	ความขุ่น	สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM)	สารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC)
25:75	41.38	67	64	27	23
50:50	58.62	57	54	19	17
75:25	72.41	46	47	16	14



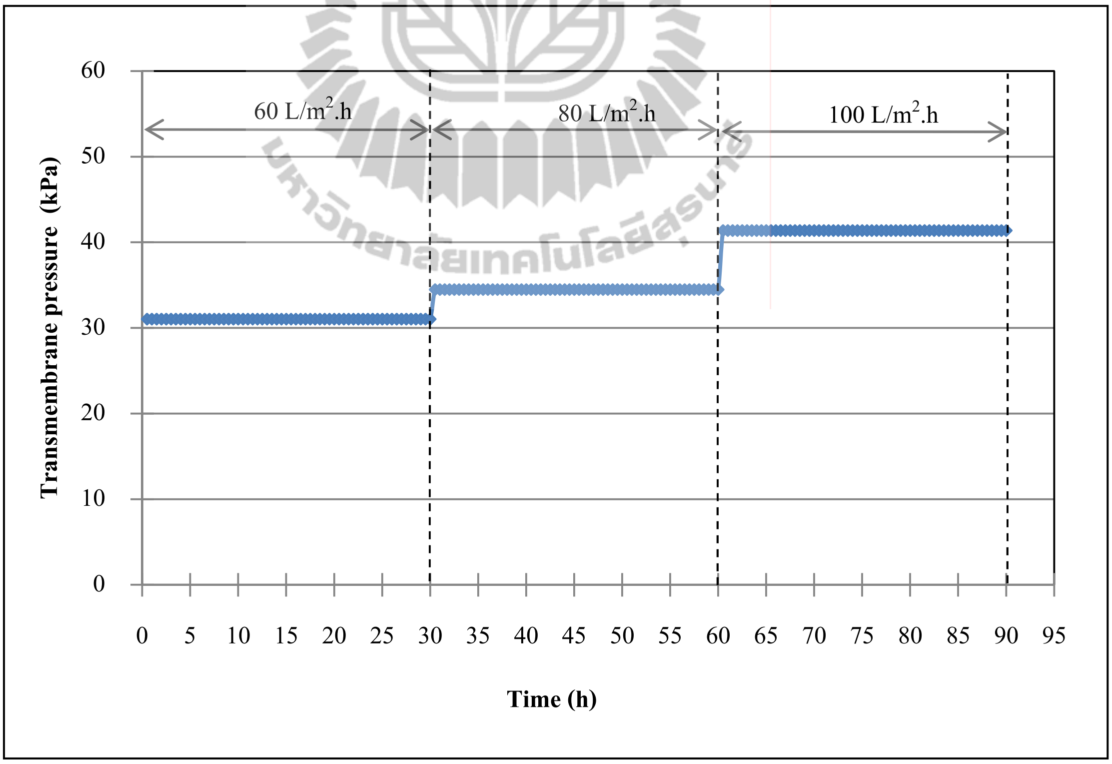
รูปที่ 4.18 ผลของสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเทียบกับระยะเวลาในการเดินระบบของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 L/m^2.h

จากนั้นทำการทดสอบเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียในสภาวะเดียวกับการศึกษาสภาวะการเดินระบบของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ ดังแสดงในตารางที่ 4.14 พบว่าที่แรงดันสูงขึ้นจาก 31.03-41.38 kPa เมื่อแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์จาก 60-100 L/m^2.h ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดลดลงสาเหตุของความดันที่สูงขึ้นเป็นผลมาจากการอุดตันจากสาร

อนินทรีย์ ที่มาจากระบบบำบัดน้ำเสียที่มีจุลินทรีย์ในรูปของ Extracellular Polymeric Substances (EPS) ทำให้ความต้านทานเมมเบรนเพิ่มขึ้นส่งผลต่อความดันที่สูงขึ้นโดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 4.19

ตารางที่ 4.14 ผลของความดันต่อการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์ของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท่ากับ 25:75

เพอมิเอทฟลักซ์ ($L/m^2.h$)	แรงดัน (kPa)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			
		สี	ความขุ่น	สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM)	สารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC)
60	31.03	41	56	15	14
80	34.48	51	60	19	18
100	41.38	36	44	12	11

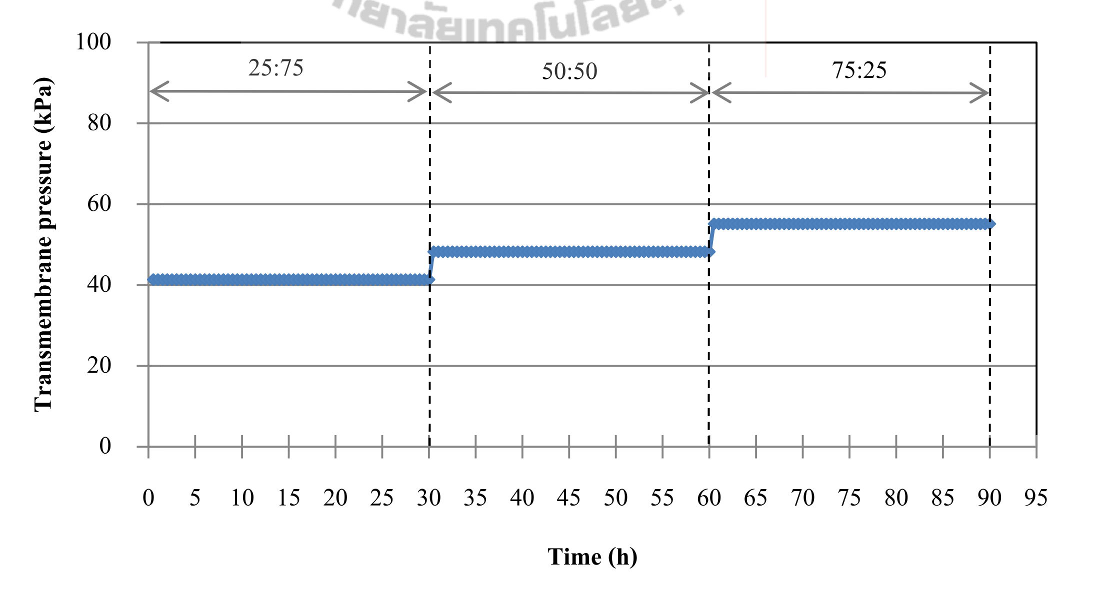


รูปที่ 4.19 ผลของเพอมิเอทฟลักซ์เทียบกับระยะเวลาในการเดินระบบของน้ำทิ้ง จากระบบบำบัดน้ำเสียที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท่ากับ 25:75

จากนั้นเมื่อทราบถึงเพอมิเอทฟลักซ์ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย คือเพอมิเอทฟลักซ์ที่ 80 L/m^2.h นำมาแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ พบว่าเมื่อสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.20 ความดันที่เกิดขึ้นมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโดยตรง และเป็นไปในทิศทางเดียวกับการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระพบว่าความดันเพิ่มขึ้นจาก 41.38-55.17 kPa ดังแสดงในตาราง ที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลของความดันต่อการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 L/m^2.h

เพอมิเอทต่อรีเทนเทท	แรงดัน (kPa)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			
		สี	ความขุ่น	สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM)	สารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC)
25:75	41.38	32	57	17	16
50:50	48.27	28	53	9	8
75:25	55.17	21	52	9	8



รูปที่ 4.20 ผลของสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทเทียบกับระยะเวลาในการเดินระบบของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 L/m^2.h

4.6 การล้างทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน

การอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรนเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลให้ค่าเพอมิเอทฟลักซ์และแรงดันที่เพิ่มขึ้น โดยการล้างทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนนั้นจะประกอบไปด้วยวิธีทางกายภาพ เพื่อกำจัดชั้นเค้กที่สะสมบนผิวเยื่อกรองด้วยการล้างกลับทางหรือล้างย้อน (Backwash) เพื่อให้สารที่อยู่บนผิวหน้าของเยื่อกรองเมมเบรนหลุดออกไป เช่น การเพิ่มอัตราการไหล ซึ่งจะเพิ่มแรงเฉือนที่ผิวหน้าเยื่อกรอง แต่จะสามารถลดการสะสมและการอุดตันได้ระดับหนึ่งเท่านั้น การล้างย้อนอาจทำระหว่างการกรองหรืออาจทำเมื่อเสร็จสิ้นการกรองได้ แต่ไม่สามารถกำจัดสารที่สะสมอยู่ในเยื่อกรองเมมเบรนได้หมด เมื่อเกิดการอุดตันภายในเยื่อกรองเมมเบรนจึงมีความจำเป็นที่จะต้องล้างด้วยสารเคมีเพื่อทำให้สารอุดตันพองตัว หดตัว ละลาย เกิดการหลุดออก (Desorption) หรือสารเคมีที่ใช้อาจทำปฏิกิริยากับสารอุดตัน เช่น การเกิดไฮโดรไลซิส การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน เป็นต้น อีกทั้งวัสดุของเยื่อกรอเมมเบรนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ทำจากโพลิซัลโฟน การเลือกสารเคมีในการล้างทำความสะอาดนั้นจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับเยื่อกรองและสารที่ทำให้เกิดการอุดตัน เนื่องจากลักษณะของน้ำที่นำมาศึกษาจากทั้ง 2 แหล่งมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้สารเคมีในการล้างทำความสะอาดก็จะแตกต่างกัน ในแหล่งน้ำผิวดินทั่วไปมักมีสารอินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการอุดตัน การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จึงเหมาะสมต่อการนำมาล้างเยื่อกรองเมมเบรน สำหรับน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจะพบอยู่ในรูปของสาหร่ายและแบคทีเรีย ดังนั้นการล้างทำความสะอาดเยื่อกรองด้วยโซเดียมไฮโปรคลอไรด์ (NaOCl) จึงถูกเลือกนำมาใช้ในการล้างทำความสะอาด โดยการศึกษาครั้งนี้จะนำ NaOH 0.02 N และ NaOCl 100 mg/L ในการทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนเมื่อเกิดการอุดตัน (Liang et al., 2008)

เนื่องจากการเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันในการศึกษาครั้งนี้ได้ทดสอบเดินระบบด้วยการนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรอง ในระยะแรกเป็นการนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระมาทดสอบเพื่อหาสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมและในระยะที่สองเป็นการนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน ก่อนเดินระบบกรองจะวัดความต้านทานเริ่มต้นของเยื่องกรองเมมเบรนไว้เพื่อเปรียบเทียบกับความต้านทานหลังจากเดินระบบ โดยมีค่าความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองเมมเบรนเท่ากับ 0.988×10^{12} m^{-1} เมื่อเดินระบบกรองด้วยน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระพบว่าความต้านทานของเยื่อกรองเมมเบรนเพิ่มขึ้นจึงทำการล้างทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนด้วย NaOH 0.02 N ดังแสดงในตารางที่ 4.16 ก่อนนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาทดสอบเดินระบบกรองต่อไป

ตารางที่ 4.16 ผลของความต้านทานที่เกิดขึ้นในการเดินระบบด้วยน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ

รายการ	Temperature ($^{\circ}C$)	R_t (m^{-1})
ก่อนเดินระบบกรอง	29.0	0.988×10^{12}
หลังเดินระบบกรอง	30.0	4.841×10^{12}
ล้างด้วย NaOH 0.02 N	33.0	1.479×10^{12}

หลังจากการล้างทำความสะอาดด้วย NaOH 0.02 N ของการอุดตันที่เกิดขึ้นจากการเดินระบบกรองด้วยน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระพบว่าความต้านทานของเยื่อกรองเมมเบรนลดลง ดังนั้นจึงนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาทำการทดสอบเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน และทำการวัดความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองเพื่อเป็นข้อมูลไว้อ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบกับความต้านทานที่เกิดขึ้นหลังเดินระบบกรองโดยค่าความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองเมมเบรนเท่ากับ 1.479×10^{12} m^{-1} ความต้านทานที่วัดได้หลังจากเดินระบบกรองของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียพบว่ามีค่าความต้านทานทั้งหมด (R_t) สูงขึ้น เนื่องจากน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียจะประกอบไปด้วย แบคทีเรียและสาหร่าย การล้างล้างทำความสะอาดเยื่อกรองด้วย NaOH 0.02 N และ NaOCl 100 mg/L ลดการอุดตันที่เกิดขึ้นได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.17 ดังนั้นการล้างทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนด้วยสารเคมีจะสามารถลดความต้านทานของเยื่อกรองเมมเบรนและลดการอุดตันที่เกิดขึ้นให้สามารถนำเยื่อกรองกลับมาเดินระบบกรองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.17 ผลของความต้านทานที่เกิดขึ้นในการเดินระบบด้วยน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย

รายการ	Temperature ($^{\circ}C$)	R_t (m^{-1})
ก่อนเดินระบบกรอง	33.0	1.479×10^{12}
หลังเดินระบบกรอง	33.0	5.425×10^{12}
ล้างด้วย NaOH 0.02 N	29.2	2.958×10^{12}
ล้างด้วย NaOCl 100 mg/L	29.2	1.373×10^{12}

4.7 คุณลักษณะของน้ำหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดด้วยการประยุกต์ใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน ด้วยการน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ผลจากการศึกษาพบว่าน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระเมื่อนำมาผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันสามารถลดค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ให้เหลือน้อยกว่า 4 mg/L และเหมาะสมต่อการนำมาผลิตน้ำประปาได้โดยไม่ต้องผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน ในขณะที่น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันพบว่ายังไม่สามารถลดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ให้เหลือน้อยกว่า 4 mg/L ซึ่งจะก่อให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทนได้มากกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลิตร จึงจำเป็นต้องนำน้ำทิ้งมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันต่อไป โดยสรุปคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของน้ำจากทั้ง 2 แหล่ง ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 คุณภาพน้ำที่ออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันและคุณภาพน้ำที่ต้องการนำกลับมาใช้ใหม่

พารามิเตอร์	มาตรฐานน้ำประปา (U.S.EPA, 2006)	น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ		น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย	
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	6.5-8.5	6.88	0.16	7.20	0.17
อุณหภูมิ (°C)	-	26.54	2.38	32.51	0.93
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (µS/cm)	-	291.52	60.54	589.14	26.46
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	<500	145.64	30.36	294.60	13.52
สี (mg/L.Pt)	<15	5.12	2.65	9.16	3.42
ความขุ่น (NTU)	<5	0.24	0.07	0.41	0.08
UV_{254} (1/cm)	-	0.04	0.01	0.11	0.01
DOC (mg/L)	-	2.73	0.38	6.58	0.62

พารามิเตอร์ทั้งหมดซึ่งประกอบไปด้วย พีเอช อุณหภูมิ ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ค่าของแข็งละลายน้ำ ค่าสี ค่าความขุ่น ค่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC)

หลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันมีความสำคัญต่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยคุณภาพน้ำที่ต้องการนำกลับมาใช้ใหม่จะต้องมีคุณภาพเทียบเท่ากับกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปได้

การนำน้ำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปา คุณภาพน้ำของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระที่ออกจากระบบกรองพบว่าเมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำประปา พบว่าพีเอชของน้ำเป็นกลาง ค่าของสี 5 mg/L และความขุ่นของน้ำน้อยกว่า 5 NTU นอกจากนี้ยังพบว่าค่าของแข็งละลายน้ำมีค่าน้อยกว่า 500 mg/L (U.S.EPA, 2006) และระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันสามารถลดค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ให้มีค่าลงอีกหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน สำหรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อผ่านระบบกรองพบว่าไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ให้เหลือน้อยกว่า 4 mg/L เมื่อเติมคลอรีนลงไปในน้ำอาจส่งผลต่อการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนได้มากกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลิตร (Hans et al., 1993) ดังนั้นถ้าต้องการนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาใช้เพื่อการผลิตน้ำประปาจะต้องนำเยื่อกรองเมมเบรนที่มีขนาด MWCO น้อยกว่านี้มาใช้ในการกรองเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ต่อไป อย่างไรก็ตามคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันมีคุณภาพที่สูงกว่ากระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไป ซึ่งสามารถนำกลับมาใหม่ได้ทั้งในการอุปโภคและบริโภค ตลอดจนการนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมดังแสดงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์

ประเภท	การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไปประยุกต์ใช้
การเกษตร (Agricultural Irrigation)	ใช้ในการเกษตร เช่น รดน้ำพืชผลทางการเกษตร
พัฒนาพื้นที่ (Lanscape Irrigaiton)	ใช้รดน้ำ สนามกอลฟ์ สนามเด็กเล่น บริเวณพื้นที่รอบ ๆ ย่านที่พักอาศัย หรือ รอบ ๆ ย่านศูนย์การค้า
กระบวนการอุตสาหกรรม (Industrial Activities)	ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น ระบบหล่อเย็น หม้อต้มไอ หรือใช้เป็นน้ำล้างทำความสะอาด
การเติมน้ำใต้ดิน (Groundwater Recharge)	ใช่เพื่อเติมน้ำส่งสู่ใต้ดินเพื่อป้องกันการทรุดตัวของดิน หรือ ควบคุมระดับน้ำเค็มในน้ำ
การพักผ่อนหย่อนใจ (Recreational and Environmental)	สวนสาธารณะใช้ตกปลา พายเรือ และอื่น ๆ ที่ไม่ใช่กิจกรรมสันทนาการ (กรณีแหล่งน้ำไม่ควบคุม) หรือเพื่อสันทนาการ เช่น สระว่ายน้ำ และน้ำในทะเลสาบ (กรณีแหล่งน้ำไม่ควบคุม)
กิจกรรมต่าง ๆ ของชุมชนเมือง (Non-potable Urban)	ใช้เป็นน้ำชักโครก ใช้เป็นน้ำดับเพลิง ใช้ในกิจกรรมก่อสร้าง
ผลิตน้ำดื่ม (Potable Reuse)	ใช้เป็นน้ำดื่ม

4.8 ประเมินความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์

กระบวนการเมมเบรนมีข้อจำกัดในเรื่องของค่าใช้จ่ายที่ต้องลงทุนสูง แต่ข้อดีของกระบวนการดังกล่าวให้คุณภาพน้ำที่สม่ำเสมอ ลดการใช้สารเคมีและใช้พื้นที่น้อยในการติดตั้งระบบ ดังนั้นในการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ จะแสดงค่าการลงทุนในการติดตั้งระบบ ค่าการเดินระบบและการบำรุงรักษา สำหรับนำกลับมาใช้ควบคู่หรือทดแทนกระบวนผลิตน้ำประปา

4.8.1 ต้นทุนในการติดตั้งระบบ

ในการติดตั้งระบบบเมมเบรนจะประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายของเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชันและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเดินระบบ โดยค่าติดตั้งระบบทั้งหมดคิดเป็นเงิน 42,100 บาท รายละเอียดค่าใช้จ่ายดังแสดงในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ประมาณการอุปกรณ์การติดตั้งระบบ

รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
เยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน	1	ท่อน	6,000	6,000
ชุดกรองคาร์ทริค 100ไมครอน	1	ชุด	700	700
ไส้กรองคาร์ทริค 100 ไมครอน	20	ท่อน	220	4,400
ปั๊มสูบน้ำขนาด 0.48 กิโลวัตต์	1	เครื่อง	8,000	8,000
ถังน้ำไฟเบอร์กลาส	2	ถัง	5,000	10,000
ระบบท่อและวาล์ว	1	ชุด	5,000	5,000
เกจวัดความดัน	1	ชุด	2,000	2,000
ค่าแรงในการติดตั้งระบบ	2	คน	3,000	6,000
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด				42,100

ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบทั้งหมดของระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันเป็นการคิดค่าใช้จ่ายในระดับต้นแบบ แต่ถ้านำมาใช้ในการทำงานภาคสนามจะต้องเพิ่มจำนวนโมดูลของอัลตราฟิลเตรชันมากกว่า 1 โมดูล ถึงจะได้ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นในด้านราคาติดตั้งอุปกรณ์และการควบคุมน้ำที่เข้าระบบด้วยปั๊ม โดยในการคิดค่าใช้จ่ายจะคำนวณจากสภาวะที่เหมาะสมต่อการเดินระบบกรองคือ เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ หรือเท่ากับ 11.52 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และแสดงค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบดังแสดงในตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ประมาณค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบและการควบคุมระบบ

รายการ	แฟคเตอร์	ราคารวม (บาท)
อุปกรณ์และการควบคุม		42,100
ค่าติดตั้งระบบ	ร้อยละ 25 ของราคาอุปกรณ์	10,525
ค่าท่อและวาลว์	ร้อยละ 35 ของราคาอุปกรณ์	14,735
รวมค่าก่อสร้างทั้งหมด	อุปกรณ์และการควบคุม ค่าติดตั้งระบบ ค่าท่อและวาลว์	67,360
ค่าออกแบบ	ร้อยละ 15 ของค่าก่อสร้าง	10,104
ค่าอื่น ๆ (เงินสำรองฉุกเฉิน)	ร้อยละ 15 ของค่าก่อสร้าง	10,104
รวมค่าออกแบบและอื่น ๆ	ค่าออกแบบ+ค่าอื่น ๆ	20,208
รวมค่าติดตั้งระบบทั้งหมด		87,568

หมายเหตุ : U.S.EPA. (1998)

4.8.2 ค่าเดินระบบและค่าบำรุงรักษา

ในการเดินระบบกรองและค่าบำรุงรักษารายปี จะคิดจากค่าบำรุงรักษา ค่าแรง ค่าไฟ และค่าสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนในขั้นตอนกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยปริมาณน้ำที่ใช้ในการเดินระบบกรองเท่ากับ 11.52 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ดังแสดงในตารางที่ 4.22-4.23

ตารางที่ 4.22 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบ

รายการ	หน่วย	น้ำผิวดิน จากอ่างเก็บน้ำสุระ	น้ำทิ้ง จากระบบบำบัดน้ำเสีย
เวลาเดินระบบ	ชั่วโมง	30	30
เพอมิเอทฟลักซ์	ลิตรต่อชั่วโมง	480	480
ปริมาตรน้ำที่ได้	ลูกบาศก์เมตร	14.4	14.4
กำลังของปั๊ม	กิโลวัตต์ชั่วโมง	14.4	14.4
ค่าไฟฟ้าทั้งหมด	บาท	43.2	43.2
ค่าไฟฟ้าต่อการผลิต	บาทต่อลูกบากศ์เมตร	3	3

ตารางที่ 4.23 ค่าใช้จ่ายในเดินระบบและการบำรุงรักษา

กระบวนการ	รายการ	แฟคเตอร์	ราคา (บาทต่อปี)	
			น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ	น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย
กระบวนการโคแอกกูเลชัน	สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน	0.60 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ)	2,523	-
		0.90 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย)	-	3,784
ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน	ค่าบำรุงรักษา	ร้อยละ 4 ของค่าติดตั้งระบบ (U.S.EPA, 1998)	3,503	3,503
	ค่าไฟฟ้า	3 บาทต่อลูกบาศก์เมตร	12,614	12,614
รวม			18,640	19,901

หมายเหตุ : ค่าแรง 4,500 บาทต่อคนต่อเดือน

ไม่รวมค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากการนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาของน้ำดิบจากทั้ง 2 แหล่ง เท่ากับ 0.83 บาทต่อลูกบาศก์เมตร โดยไม่รวมค่าใช้จ่ายการใช้สารเคมีในการล้างทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรน เนื่องจากน้ำดิบจากทั้ง 2 แหล่งก่อนเข้าระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันจะผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและการกรองผ่านคาร์ทริค 100 ไมครอน จึงสามารถดักอนุภาคสารแขวนลอยและคอลลอยด์ที่มีขนาดใหญ่ 100 ไมครอน ก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันเพื่อลดการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรน ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและการบำรุงรักษาของการนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระมาผ่านระบบกรองเท่ากับ 4.43 บาทต่อลูกบาศก์เมตร และน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียเท่ากับ 4.73 บาทต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเปรียบเทียบค่าเดินระบบและค่าการบำรุงรักษาของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่าในการเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่สภาวะการเดินระบบเดียวกัน ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ทั้งทางด้านการบำรุงรักษาและการเดินระบบไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.23 แต่มีแตกต่างกันในขั้นตอนการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ต้องใช้สารเคมีในการตกตะกอนที่มากกว่าเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำที่เข้าระบบกรองให้มีความใกล้เคียงกับน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ โดยแสดงรายการคำนวณไว้ในภาคผนวก ฉ

นอกจากนี้ได้ทำการสรุปค่าใช้จ่ายของปริมาณน้ำสะอาดที่ผลิตได้จากสภาวะที่เหมาะสมต่อการเดินระบบที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทททเท่ากับ 25:75 และเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.24 จะเห็นว่าการผลิตน้ำสะอาดที่ได้จากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันมีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและค่าการบำรุงรักษาไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.24 ค่าใช้จ่ายของการผลิตน้ำสะอาดที่ได้จากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน

รายการ	น้ำผิวดิน จากอ่างเก็บน้ำสุระ	น้ำทิ้ง จากระบบบำบัดน้ำเสีย
การบำรุงรักษา	0.21	0.21
ค่าเดินระบบ	0.90	0.98
รวมค่าเดินระบบและค่าการบำรุงรักษา	1.11	1.18

หมายเหตุ : หน่วยของค่าการผลิตน้ำเท่ากับบาทต่อลูกบาศก์เมตร

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันในการทดลองระดับต้นแบบ น้ำดิบจากทั้ง 2 แหล่ง จะถูกควบคุมคุณภาพน้ำด้วยกระบวนการโคแอกกูลชันและชุดกรองคาร์ทริค 100 ไมครอน ก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันพบว่าการนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระมาผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยพิจารณาจากค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) พบว่าการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันสามารถลดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ให้เหลือน้อยกว่า 4 mg/L ซึ่งมีผลต่อการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนน้อยกว่า 50 μg/L จึงสามารถนำมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาได้โดยตรงและเมื่อนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่พบว่าน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นแล้วไม่สามารถลดค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ให้เหลือน้อยกว่า 4 mg/L ได้ จึงมีความจำเป็นต้องนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันเพื่อลดค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ต่อไป

ในการเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันจะนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บนำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองด้วยการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 80 และ 100 $L/m^2.h$ ตามลำดับ และแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาได้ตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. สภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย คือ สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 และเพอมิเอทฟลักซ์ที่เหมาะสมเท่ากับ 80 $L/m^2.h$
2. ประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ คิดเป็นร้อยละ 67 64 27 และ 23 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย คิดเป็นร้อยละ 32 67 17 และ 16 ตามลำดับ

3. เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านการเดินระบบและการบำรุงรักษาของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งทางด้านการบำรุงรักษาและการเดินระบบไม่แตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างกันในขั้นตอนการใช้สารเคมีในการตกตะกอนที่มากกว่า นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่ผลิตได้เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่พบว่าน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระเมื่อผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันมีความเหมาะสมต่อการนำมาผลิตน้ำประปา แต่น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันไม่เหมาะสมต่อการนำมาผลิตน้ำประปาเนื่องจากไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำให้เหลือน้อยกว่า 4 mg/L ได้

5.2 ข้อเสนอแนะในอนาคต

การนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันจะเป็นแนวทางในการแก้ไขการขาดแคลนน้ำในอนาคต ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ข้อจำกัดของน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่จะต้องคำนึงถึงคุณภาพน้ำที่ต้องการว่ามีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านใด จากการศึกษาพบว่าน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อนำมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่มีขนาด MWCO 20,000 ดาร์ตัน ไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำได้หมด เนื่องจากสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ละลายอยู่ในน้ำสามารถกรองผ่านเยื่อกรองเมมเบรนออกมาได้จึงควรนำเยื่อกรองเมมเบรนที่มีขนาด MWCO น้อยกว่านี้มาใช้สำหรับกรองสารอินทรีย์ละลายน้ำ

นอกจากนี้ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันสามารถนำมาใช้ร่วมกับกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำหรือทดแทนเพื่อการผลิตน้ำประปา เพื่อการอุปโภคบริโภค ทั้งด้านชุมชน การเกษตรและอุตสาหกรรม เป็นต้น แต่ข้อจำกัดของเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันคือการอุดตันจากสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ ดังนั้นการนำกระบวนการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันมาใช้ร่วมกับระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันจะสามารถลดการอุดตันและยืดอายุการใช้งานของเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันได้

รายการอ้างอิง

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2540). **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย** เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 4.

ขวัญจิตร วงษ์ชารี. (2539). การแยกน้ำมันในน้ำเสียด้วยเยื่อแผ่นอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration) แบบเซรามิก. **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี** กรุงเทพมหานคร.

จริยา สุขผล และ สุพัฒน์พงษ์ มัตราช. (2552). ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการกำจัดแมงกานีสโดยเมมเบรนนาโนฟิลเตรชัน. **สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย** (25R3-07) : 1-9.

นลินี เหลืองรังรอง ปฏิรูป ผลจันทร์ และ ชวลิต รัตนธรรมสกุล. (2545). กระบวนการเมมเบรนในการผลิตน้ำประปา. **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 1.** สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 17-19 มกราคม : 412-421.

ปกณัตร ชูติวิศุทธิ์. (2552). การแยกจุลสาหร่ายจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยเครื่องกรองชนิดไหลตามขวาง. **สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย** (25R1-08) : 1-8.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์. (2547). **เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รัตนา จิระรัตนานนท์. (2543). **กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพ : ห้างหุ้นส่วนจำกัดโรงพิมพ์ไทยเส็ง

วรพจน์ กนกกันฑพงษ์ บุณยฤทธิ์ ปัญญาภิญโญผล และ สุรพงษ์ วัฒนะจีระ (2550). การจำแนกลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติในแหล่งน้ำกรุงเทพมหานคร. **วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย** .ปีที่ 19 ฉบับที่ 1 หน้า 17-27

ศักดิ์สิทธิ์ อิ่มแมน และ ชวลิต รัตนธรรมสกุล. (2552). ผลของความดันต่อการผลิตน้ำประปาโดยใช้เมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันขนาดต้นแบบ. **สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย** (25R3-05) : 1-9.

สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย และ มูลนิธิศูนย์สิ่งแวดล้อม. (2540). **คู่มือการวิเคราะห์น้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. (2549). **ระบบบำบัดน้ำเสีย : การเลือกใช้ การออกแบบ การควบคุม และการแก้ปัญหา.** กรุงเทพ : สำนักพิมพ์ท้อป

Aim, B.R., and Vigneswaran, S. (1998). Application of Membrane Processes in Water and Wastewater Treatment. **ENFO.** 10(1) : 3-6.

Alonso, E., Santos, A., Solis, G.J., and Riesco, P. (2001). On the feasibility of urban wastewater tertiary treatment by membranes: a comparative assessment. **Water Science and Technology.** 141 : 39-51.

Amy, G., and Cho, J. (1999). Interactions between Natural Organic Matter (NOM) and Membrane : Rejection and Fouling. **Water Science and Technology.** 40(9) : 131-139.

APHA, AWWA, WPCF. (2005). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater,** 20th ed. Washington DC. USA. ISBN 0–87553–235–7.

Asano, T. (1998). **Wastewater Reclamation and Reuse, Water Quality Management Library.** Vol. 10, ISBN 1-56676-620-6, Technomic Publishing Company, INC., USA.

Crittenden, J. (2005). **Water treatment principles and design/MHW**. ISBN 0-471-11018-3. 2nd edition.

Cotsaris, E., Nelson P., Bursill D., and Oades M. (1988). **Organic carbon in water, its sources and role in nutrient transport**, Proc. Science, Technology and Utilisation of Humic Acids, CSIRO North Ryde, Nov 88, 106-112.

Chow, C.W.K., Fitzgerald, F., and Holmes, M. (2004) The Impact of Natural Organic Matter on Disinfection Demand - A Tool to Improve Disinfection Control, **AWA Environmental**, Sydney.

Christensen, M.L., Nielsen T.B., Andersen, M.B.O., and Keiding, K. (2009). Effect of water-swollen organic materials on crossflow filtration performance. Journal of Membrane Science. 333 : 94-99.

Davis, M.L., and Cornwell, D.A. (1998). **Introduction to Environmental Engineering.** 3rd Edition, ISBN 0-07-015918-1, McGraw-Hill, Singapore.

DiGiano, F.A., Braghetta, A., Nilson, J., and Utne, B. (1994). Fouling of nanofiltration membranes by natural organic matter. **National Conference on Environmental Engineering.** American Society of Civil Engineers. 320-328.

Drewes, J.E., Reinhard, M., and Fox, P. (2003). Comparing Microfiltration-Reverse Osmosis and Soil-Aquifer Treatment for Indirect Potable Reuse of Water. **Water Research.** 37 : 3612-3621.

Ehara, Y. (1998). The Final Report of Feasibility Study for Introduction of Membrane Systems. **NWTTI-Project Phase II,** Thailand.

Edzwald, J.K., and Benschoten V. J, (1990). Aluminum coagulation of natural organic matter, H.H. Hahn, R. Klute, Editors, **Chemical Water and Wastewater Treatment**, Springer Verlag, Berlin : 341–359

Edzwald, J.K**. (**1999). Coagulation chemistry. **Presented at the AWWA Water Quality Technology Conference**, Tampa, Florida, November 1999.

Glucina, K., Alvarez, A., and Laine, J.M. (2000). Assessment of an Integrated membrane System for Surface Water Treatment. **Desalination.** 132 (1-3) : 73-82.

Hans, G.P., Joe, P.M., David, R.S., Spink, E.H., and Joanne, S. (1993). Trihalomethanes in finished drinking water in relation to dissolved organic carbon and treatment process for Alberta surface waters. **Environmental Technology**. 14 : 877-884.

Hanson, T.A., and Cleasby, J.L. (1990). The effects of temperature on turbulent flocculation: fluid dynamics and chemistry. **Journal of American Water Works Association**. 56-73.

Herath, G.B.B. (1984). **Coupling of Crossflow Microfiltration and Dissolved Air Flotation for Algae Removal**, M.Eng. Thesis No. EV-94-11, AIT, Bangkok, Thailand.

Huffman, E.W.D. Jr., and Stuber, H.A. (1985). Analytical methodology for elemental analysis of humic substances. In: Humic Substances in Soil Sediment and Water, GR Aiken, DM McKnight, RL Wershaw and P. MacCarthy (eds), Wiley, New York. 433-455.

Jung, C.W., and Son, H.J. (2008). The relationship between disinfection by-products formation and characteristics of natural organic matter in raw water. **Korean Journal Chemistry Engineering**. **25** : 714-720.

Jiminez, M.C.S., Dominguez, P.A., and Silverio, J.M.C. (1993). Reaction kinetics of humic acid with sodium hypochlorite. **Water Research.** 27(5) : 815-820.

Kim, S.L., Chen, J.P., and Ting, Y.P. (2002). Study on Feed Pretreatment for Membrane Filtration of Secondary Effluent. **Separation and Purification Technology.** 29 : 171-179.

Korbutowicz, M.K. (2006). Removal of natural organic matter from water by in-line coagulation/ ultrafiltration process. **Desalination.** 200 : 421-423.

Korbutowicz, M.K. (2008). Ultrafiltration as a method of seperation of natural organic matter from water. **Material Science-Poland.** 26 (2) : 459-467.

Krystyna, K., Dorota, S., and Michal, B. (2006). Efficiency of the hybrid coagulation–ultrafiltration water treatment process with the use of immersed hollow-fiber membranes. **Desalination**. 198 : 102-110.

Kumikane, S., Magara, Y., Itoh, M., and Tanaka, O. (1995). A Comparative Study on the Application of Membrane Technology to the Water Supply. **Journal of Membrane Science.** 102 : 149-154.

Laine, J.M., Campus, C., Baidin, I., and Janex, M.L. (2003). Understandaing membrane Fouling: a review of over a decade of research. **Weter Science Technology** :Water Supply. 3: 155-164.

Legube, B., Xiong, F., Croue, J.P., and Dore, M. (1990). Etude sur les acides fulviques extraits d'eaux superficielles françaises: extraction, caractérisation et réactivité avec le chlore. **Revue des Sciences de l'Eau**. **3** (4) : 399–424

Leiknes, T., Odegaard, H., and Myklebust, H. (2004). Removal of natural organic matter (NOM) indrinking water treatment by coagulation-microfiltration using metal membranes. **Journal of Membrane Science.** 242 : 47-55.

Liang, H., Gong, W., Chen, J., and Li, G. (2008). Cleaning of fouled Ultrafiltration (UF) membrane by algae during reservoir water treatment. **Desalination.** 220 : 267-172.

Mallevialle, J., Odendaal, P.E., and Wiesner, M.R. (1996). **Water Treatment Process, American Water Works Association Research Foundation.** ISBN 0-07-001559-7, McGraw-Hill, New York.

Marhaba, T.F., Pu, Y., and Bengraine, K. (2003). Modified dissolved organic matter fraction technique for natural water. **Journal Hazardous Materials**. 101: 43-53.

McCarthy, AA., Walsh, P.K., and Foley, G. (2002). Characterizing the packing and dead-end filter cake compressibility of polymorphic yest. Kluyveromyces marxianus var. marxianus. NRRLy 2415, **Journal Membrane Science**. 198 : 87-94.

Metcalf and Eddy. (1991). **Wastewater Engineering Treatment: Treatment, Disposal and Reuse.** 3rd Edition, ISBN 0-07-041690-7, McGraw-Hill, Singapore.

Morran, J.Y., Bursill, D.B., Drikas, M., and Nguyen, H. (1996). A new technique for the removal of natural organic matter. Proc. Of WaterTECH, AWWA,Sydney, Australia. 96 : 428-432.

Mulder, M. (1996). Basic Principles of Membrane Technologt. **Kluwer Acadamic Publishers**. 314 : 157-183.

Nkambule, T.I., Krause, R.W., Mamba, B.B., and Haarhoff, J. (2009). Removal of natural organic matter from water using ion-exchange resins and cyclodextrin polyurethanes. **Physics and Chemistry of the Earth.** 34 : 812-818.

Nissinen, T. K., Miettinen, I. T., Martikainen, P. J., and Vartiainen, T. (2001). Molecular size distribution of natural organic matter in raw and drinking waters. **Chemosphere**. Chemosphere.45: 865-873.

Owen, G., Bandi, M., Howell, J.A., and Churchouse, S.J. (1995). Economic Assessment of Membrane Process for Wastewater Treatment. **Journal of Membrane Science.** 102 : 149-154.

Parameshwaran, K., and Visvanathan, C. (1998). Recent Development in Membrane Technology for Wastewater Reuse. **Conference Proceeding of Advanced Wastewater Treatment, Recycling and Reuse**, Resources and Environment : Priorties and Challenges – 2nd International Conference 14-16 September. 509-516.

Park, P.K., Lee, C.H., Choi, S.J., Choo, K.H., Kim, S.H., and Yoon, C.H. (2002). Effect of the removal of NOMs on the performance of a coagulation-UF membrane system for drinking water production. **Desalination**. 145 : 237-245.

Pelekani, C., Newcombe, G., Snoeyink, V. L., Hepplewhite, C., Assemi, S., and Beckett, R. (1999). Characterization of natural organic matter using high performance size exclusion chromatography. **Environmental. Science. Technology**. 33 : 2807-2813.

Potts, D.E., Ahlert, R.C., and Wang, S.S. (1981). A critical review of fouling of reverse osmosis membranes. **Desalination.** 36 : 235-264.

Puetpaiboon, U. (1989). **Treatment of Tapioca Starch Wastewater by Anaerobic Digestion Combined with Membrane Separation Process.** Asian Institute of Technology, Bangkok.

Qin, J.J., Oo, M.H., Wai, M.N., Ang, C.M., Wong, F.S., and Lee, H. (2003). A Dual Membrane UF/RO Process for Reclamation of Spent Rinses from a Nickle-Plating Opertion-a Case Study. **Water Research**. 37(13) : 3269-3278.

Qin, J.J., Oo, M.H., Kekre, K.A., Knops, F., and Miller, P. (2006). Impact of coagulation pH on enhanced removal of natural organic matter in treatment of reservoir water. **Separation and Purification Technology.** 49 : 295-298.

Rasyid, U., Johnson, W.D., Wilson, M.A., and Hanna, J.V. (1992). Changes in organic structural group composition of humic and fulvic acids with depth in sediments from similar geographical but different depositional environments. **Organic Geochemical.** 18 (4) : 521-529.

Schafer, A.I. (2001). **Natural Organics Removal Using Membranes : Principles, Performance and Cost.** ISBN No. 1-58716-093-5. Technomic Publishing Company, Inc.

Schlichter, B., Mavrov, V., and Chmiel, H. (2004). Study of a hybrid process combining ozonation and microfiltration/ultrafiltration for drinking water product from surface water. **Desalination**. 168 : 307-317.

Siddiqui, M.S., Amy, G.L., and Murphy, B.D. (1997). Ozone Enhanced Removal of Natural Organic Matter From Drinking Water Sources. **Water Research**. 31(12) : 3098-3106.

Scott, K. (1990). "**Membrane Separation Technology: industrial Applications and Markets".**

Smith, P.J., Shon, H.K., and Vigneswaran S. (2006**).** "Productivity enhancement in a cross-flow ultrafiltration membrane system through automated de-clogging operations". **Journal of membrane.**

Singley, J.E., Harris, R.H., and Maulding, J. S. (1970). **Coagulation and color problem**, Journal American. Water Works Assoc., 62 (5) : 311-314.

Swietlik, J., and Sikorska, E. (2005). Characterization of Natural Organic Matter Fractions by High Pressure Size-Exclusion Chromatography, Specific UV Absorbance and Total uminescence Spectroscopy. **Polish Journal of Environmental Studies**. 15 : 145-153.

Swift, R.S., Aiken, G.R., McKnight, D.M., Wershaw, R.L., and MacCarthy, P. (1985). Fractionation of soil humic substances. in : **Humic Substances, in Soil, Sediment, and Water.** John Wiley & Sons, Inc. 387-408.

Tan, L., and Amy, G.L. (1991). Comparing ozonation and membrane seperation for colour removal and disinfection by-product control. **Journal AWWA.** May 91 : 74-79.

Thurman, E.M. (1985). **Organic geochemistry of natural waters.** Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht. 497.

Tomaszewska, M., and Mozia, S. (2002). Removal of organic matter from water by PAC/UF system. **Water Research**. 36 : 4137-4143.

U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC. **1984 Detailed Costing Document For The Centralized Waste Treatment Industry.**

U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC. **2006 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories**.

Uyak, V., Koyuncu, I., Oktem, I., Cakmakci, M., and Toroz, I. (2008). Removal of Trihalomethanes from drinking water by nanofiltration membrane. **Journal of Hazardous Materials.** 152 : 789-794.

Wattabachai, S., Musikavong, C., Permsuk, O., and Pavasant, P. (2004) Removal of surrogates for natural organic matter and the probability of finding trihalomethanes in the produced water supply from small waterworks in Chiang Mai, Thailand. **Songklanakarin Journal Science Technology**. 26 : 25-35.

Walsh, M.E., Gagnon, G.A., Alam, Z., and Andrews, R.C. (2008). Biostability and disinfectant by-product formation in drinking water blended with UF-treated filter backwash water. **Water Research.** 42 : 2135-2145.

Wang, L., Wang, W., Fukushi, K.I. (2008). Effects of operationals on ultrafiltration membrane fouling. **Desalination.** 229 : 181-191.

Wiesner, M.R., Clark, M.M., Jacangelo, J.G., Lykins, B.W., Marinas, B.J., O'Melia, C.R., Rittmann, B.E., and Semmens, M.J. (1992). Committee report : Membrane processes in potable water treatment**. Journal AWWA.** Jan 92 : 59-67.

Yamonato, K., Hiasa, M., Moahmood, T., and Matsuio, T. (1989). Direct Solid-Liquid Separation Using Hollow Fiber Membrane in an Activated Sludge Aeration Tank. **Water Science and Technology.** 21 : 43-54.

ภาคผนวก ก

คุณลักษณะของน้ำที่นำมาใช้ในการศึกษา

ตารางที่ ก.1 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	7.25	6.38	7.89	0.33
อุณหภูมิ (°C)	25.55	20.65	33.70	2.42
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (µS/cm)	239.21	198.75	383.75	37.76
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	119.64	100.50	197.25	21.31
สี (mg/L)	180.85	91.25	297.83	59.04
ความขุ่น (NTU)	11.67	4.38	20.23	3.49
UV_{254} (1/cm)	0.23	0.16	0.34	0.03
DOC (mg/L)	13.24	9.22	19.34	1.92

หมายเหตุ : จำนวนข้อมูล 51 ข้อมูล

ตารางที่ ก.2 คุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	8.23	8.02	8.49	0.12
อุณหภูมิ (°C)	30.89	17.75	33.30	3.31
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (µS/cm)	505.39	480.50	523.50	11.27
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	252.95	240.50	262.00	5.68
สี (mg/L)	120.12	68.04	184.06	39.19
ความขุ่น (NTU)	10.74	5.57	19.05	4.38
UV_{254} (1/cm)	0.26	0.22	0.31	0.03
DOC (mg/L)	14.83	12.45	17.52	1.67

หมายเหตุ : จำนวนข้อมูล 19 ข้อมูล

ตารางที่ ก.3 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	6.78	6.46	7.10	0.13
อุณหภูมิ (°C)	25.70	21.85	32.20	2.49
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (μS/cm)	275.00	184.50	430.50	44.90
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	137.46	88.75	215.25	22.53
สี (mg/L)	19.21	9.66	32.12	5.44
ความขุ่น (NTU)	1.22	0.49	2.22	0.37
UV_{254} (1/cm)	0.06	0.03	0.11	0.02
DOC (mg/L)	3.66	2.00	6.37	0.90

หมายเหตุ : จำนวนข้อมูล 51 ข้อมูล

ตารางที่ ก.4 คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	7.23	6.91	7.68	0.21
อุณหภูมิ (°C)	31.84	30.35	33.45	0.83
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (μS/cm)	586.37	561.00	630.00	23.09
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	293.63	281.00	315.50	11.86
สี (mg/L)	21.01	12.65	26.88	4.77
ความขุ่น (NTU)	1.36	1.03	2.03	0.26
UV_{254} (1/cm)	0.14	0.11	0.16	0.01
DOC (mg/L)	8.37	6.54	9.38	0.66

หมายเหตุ : จำนวนข้อมูล 19 ข้อมูล

ตารางที่ ก.5 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ

หลังผ่านกระบวนการคาร์ทริค 100 ไมครอน

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	6.86	6.57	7.22	0.14
อุณหภูมิ (°C)	25.59	20.50	31.20	2.55
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (μS/cm)	278.18	235.25	429.50	43.12
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	139.44	114.50	214.75	21.47
สี (mg/L)	12.89	2.92	24.63	5.80
ความขุ่น (NTU)	0.67	0.36	1.09	0.17
UV_{254} (1/cm)	0.05	0.03	0.07	0.01
DOC (mg/L)	3.32	2.25	4.41	0.48

หมายเหตุ : จำนวนข้อมูล 51 ข้อมูล

ตารางที่ ก.6 คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย

หลังผ่านกระบวนการคาร์ทริค 100 ไมครอน

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	7.26	7.02	7.47	0.13
อุณหภูมิ (°C)	31.23	29.05	33.35	0.96
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (μS/cm)	541.16	481.00	606.00	34.16
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	274.03	240.50	353.50	24.68
สี (mg/L)	13.96	5.92	19.39	3.20
ความขุ่น (NTU)	0.87	0.67	1.12	0.13
UV_{254} (1/cm)	0.13	0.11	0.15	0.01
DOC (mg/L)	7.47	6.44	8.76	0.61

หมายเหตุ : จำนวนข้อมูล 19 ข้อมูล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย หลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน

ตารางที่ ข.1 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านระบบกรอง อัลตราฟิลเตรชันที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 L/m^2.h

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	6.92	6.50	7.39	0.25
อุณหภูมิ (°C)	27.27	21.00	29.80	1.73
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (μS/cm)	366.75	256.00	487.00	69.95
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	183.43	128.00	244.00	34.95
สี (mg/L)	5.06	1.43	11.91	3.04
ความขุ่น (NTU)	0.21	0.11	0.38	0.05
UV_{254} (1/cm)	0.040	0.031	0.060	0.006
DOC (mg/L)	2.64	2.14	3.78	0.34

หมายเหตุ : จำนวนข้อมูล 230 ข้อมูล

ตารางที่ ข.2 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านระบบกรอง อัลตราฟิลเตรชันที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 L/m^2.h

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	6.89	6.51	7.15	0.13
อุณหภูมิ (°C)	26.60	24.00	28.10	0.93
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (μS/cm)	245.56	216.00	263.00	9.56
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	122.56	108.00	132.00	4.87
สี (mg/L)	5.03	1.43	8.91	2.08
ความขุ่น (NTU)	0.22	0.12	0.53	0.05
UV_{254} (1/cm)	0.042	0.026	0.064	0.009
DOC (mg/L)	2.76	1.86	4.01	0.48

หมายเหตุ : จำนวนข้อมูล 230 ข้อมูล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.3 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านระบบกรอง อัลตราฟิลเตรชันที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 100 L/m^2.h

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	6.85	6.63	7.12	0.09
อุณหภูมิ (°C)	23.86	21.00	25.50	0.93
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (μS/cm)	271.39	255.00	288.00	8.99
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	135.50	127.00	144.00	4.52
สี (mg/L)	5.84	1.43	11.91	2.51
ความขุ่น (NTU)	0.25	0.16	0.46	0.06
UV_{254} (1/cm)	0.041	0.031	0.059	0.007
DOC (mg/L)	2.71	2.16	3.71	0.38

หมายเหตุ : จำนวนข้อมูล 230 ข้อมูล

ตารางที่ ข.4 คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านระบบกรอง อัลตราฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	6.73	6.57	7.08	0.10
อุณหภูมิ (°C)	30.88	28.10	32.80	1.47
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (μS/cm)	278.56	270.00	291.00	6.08
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	139.00	135.00	145.00	3.06
สี (mg/L)	2.59	1.43	5.92	1.49
ความขุ่น (NTU)	0.22	0.19	0.31	0.03
UV_{254} (1/cm)	0.038	0.033	0.044	0.003
DOC (mg/L)	2.58	2.30	2.90	0.17

หมายเหตุ : จำนวนข้อมูล 50 ข้อมูล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.5คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทททเท่ากับ 50:50

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	6.88	6.77	7.00	0.07
อุณหภูมิ (°C)	28.26	22.50	30.30	2.46
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (μS/cm)	275.72	264.00	282.00	5.86
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	137.88	132.00	141.00	2.88
สี (mg/L)	4.81	1.43	8.91	2.65
ความขุ่น (NTU)	0.33	0.23	0.43	0.05
UV_{254} (1/cm)	0.045	0.041	0.048	0.002
DOC (mg/L)	2.94	2.74	3.11	0.10

หมายเหตุ : จำนวนข้อมูล 50 ข้อมูล

ตารางที่ ข.6คุณลักษณะของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทททเท่ากับ 75:25

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	6.91	6.77	7.10	0.09
อุณหภูมิ (°C)	29.24	27.50	30.70	0.76
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (μS/cm)	278.26	273.00	294.00	5.71
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	138.96	136.00	146.00	2.66
สี (mg/L)	5.62	1.43	8.91	2.74
ความขุ่น (NTU)	0.37	0.29	0.45	0.04
UV_{254} (1/cm)	0.045	0.041	0.049	0.003
DOC (mg/L)	2.93	2.70	3.14	0.15

หมายเหตุ : จำนวนข้อมูล 50 ข้อมูล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.7 คุณลักษณะของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 $L/m^2.h$

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	7.13	6.96	7.30	0.10
อุณหภูมิ (°C)	33.18	31.50	34.50	0.83
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (μS/cm)	577.80	570.00	588.00	5.35
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	289.08	285.00	294.00	2.81
สี (mg/L)	6.49	2.92	10.41	2.36
ความขุ่น (NTU)	0.35	0.26	0.43	0.04
UV_{254} (1/cm)	0.100	0.087	0.112	0.007
DOC (mg/L)	6.02	5.29	6.66	0.38

หมายเหตุ : จำนวนข้อมูล 50 ข้อมูล

ตารางที่ ข.8 คุณลักษณะของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	6.95	6.81	7.10	0.09
อุณหภูมิ (°C)	32.21	30.20	33.30	0.93
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (μS/cm)	571.16	557.00	588.00	8.90
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	285.84	279.00	294.00	4.49
สี (mg/L)	5.89	1.43	10.41	2.96
ความขุ่น (NTU)	0.29	0.24	0.37	0.04
UV_{254} (1/cm)	0.096	0.090	0.105	0.004
DOC (mg/L)	5.79	5.45	6.29	0.23

หมายเหตุ : จำนวนข้อมูล 50 ข้อมูล

ตารางที่ ข.9 คุณลักษณะของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 100 L/m^2.h

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	7.33	7.17	7.54	0.11
อุณหภูมิ (°C)	32.20	30.20	34.30	1.12
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (µS/cm)	572.18	556.00	582.00	6.81
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	286.58	281.00	291.00	3.12
สี (mg/L)	9.84	4.42	14.90	2.79
ความขุ่น (NTU)	0.50	0.41	0.60	0.05
UV_{254} (1/cm)	0.113	0.107	0.120	0.003
DOC (mg/L)	6.74	6.41	7.12	0.19

หมายเหตุ : จำนวนข้อมูล 50 ข้อมูล

ตารางที่ ข.10 คุณลักษณะของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	7.38	7.20	7.52	0.09
อุณหภูมิ (°C)	32.82	31.90	34.30	0.66
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (µS/cm)	565.46	533.00	580.00	10.45
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	283.16	273.00	291.00	4.02
สี (mg/L)	12.00	7.42	17.89	2.98
ความขุ่น (NTU)	0.42	0.37	0.52	0.04
UV_{254} (1/cm)	0.113	0.105	0.119	0.003
DOC (mg/L)	6.72	6.27	7.04	0.17

หมายเหตุ : จำนวนข้อมูล 50 ข้อมูล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.11 คุณลักษณะของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 50:50

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	7.31	7.20	7.45	0.07
อุณหภูมิ (°C)	32.34	30.80	33.80	0.80
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (μS/cm)	621.08	566.00	634.00	11.51
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	309.08	234.00	318.00	12.36
สี (mg/L)	10.41	5.92	16.40	2.16
ความขุ่น (NTU)	0.45	0.40	0.53	0.03
UV_{254} (1/cm)	0.126	0.112	0.140	0.008
DOC (mg/L)	7.45	6.69	8.24	0.45

หมายเหตุ : จำนวนข้อมูล 50 ข้อมูล

ตารางที่ ข.12 คุณลักษณะของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 75:25

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	7.12	6.98	7.22	0.08
อุณหภูมิ (°C)	32.34	30.80	33.50	0.77
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (μS/cm)	627.14	619.00	634.00	5.81
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	313.86	310.00	317.00	2.77
สี (mg/L)	10.32	5.92	14.90	2.43
ความขุ่น (NTU)	0.44	0.39	0.50	0.03
UV_{254} (1/cm)	0.113	0.103	0.122	0.006
DOC (mg/L)	6.71	6.18	7.23	0.36

หมายเหตุ : จำนวนข้อมูล 50 ข้อมูล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ค

ความต้านทานของเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน

ตารางที่ ค.1 ความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน

Permeate Flux	Transmembrane Pressure			
	kPa	kPa	kPa	kPa
L/m^2.h	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
60	6.90	10.34	10.34	8.62
80	10.34	13.79	13.79	12.07
100	13.79	17.24	17.24	15.52
120	17.24	20.69	20.69	18.96
140	31.03	24.14	24.14	27.58

ตารางที่ ค.2 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังเดินระบบกรองด้วยน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ

Permeate Flux	Transmembrane Pressure			
	kPa	kPa	kPa	kPa
L/m^2.h	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
60	58.62	55.17	55.17	55.17
80	75.86	74.13	75.86	74.99
100	103.44	96.54	93.10	94.82
120	131.02	124.13	124.13	124.13
140	137.92	137.92	137.92	137.92

ตารางที่ ค.3 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนก่อนเดินระบบกรองด้วยน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย

Permeate Flux	Transmembrane Pressure			
	kPa	kPa	kPa	kPa
L/m^2.h	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
60	34.48	31.03	31.03	31.03
80	41.38	34.48	34.48	34.48
100	44.82	41.38	41.38	41.38
120	48.27	48.27	48.27	48.27
140	58.62	55.17	55.17	55.17

ตารางที่ ค.4 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังเดินระบบกรองด้วยน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย

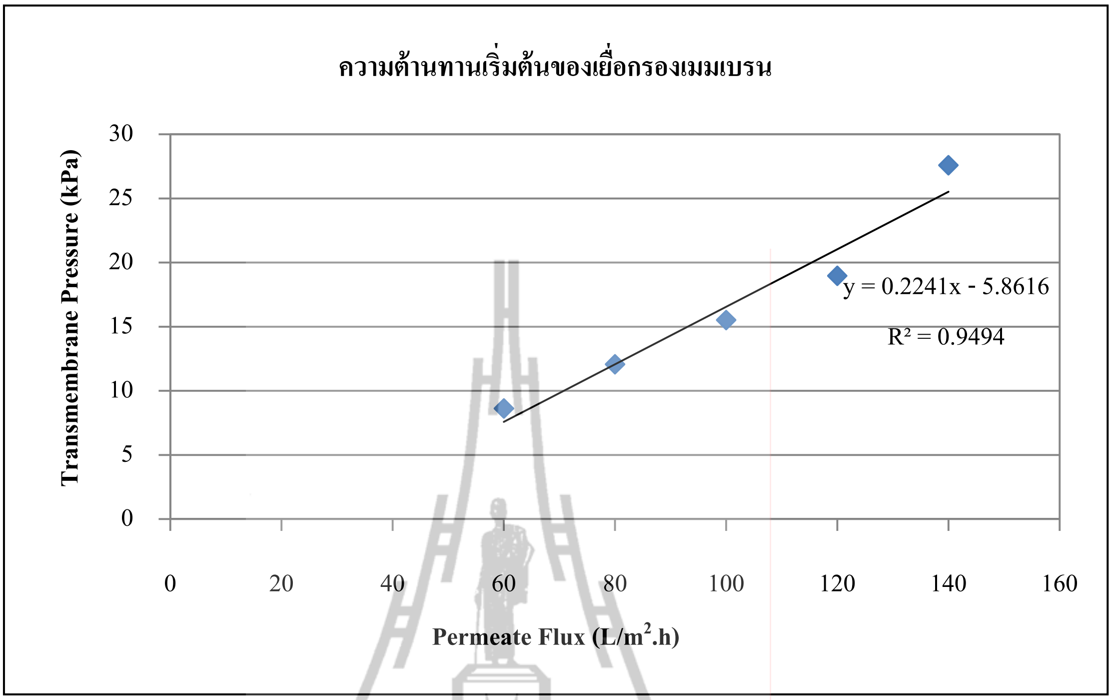
Permeate Flux	Transmembrane Pressure			
	kPa	kPa	kPa	kPa
L/m^2.h	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
60	48.27	41.38	41.38	41.38
80	58.62	55.17	48.27	51.72
100	82.75	75.86	68.96	72.41
120	96.54	103.44	96.54	99.99
140	148.26	124.13	137.92	131.02

ตารางที่ ค.5 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังจากล้างด้วย NaOH

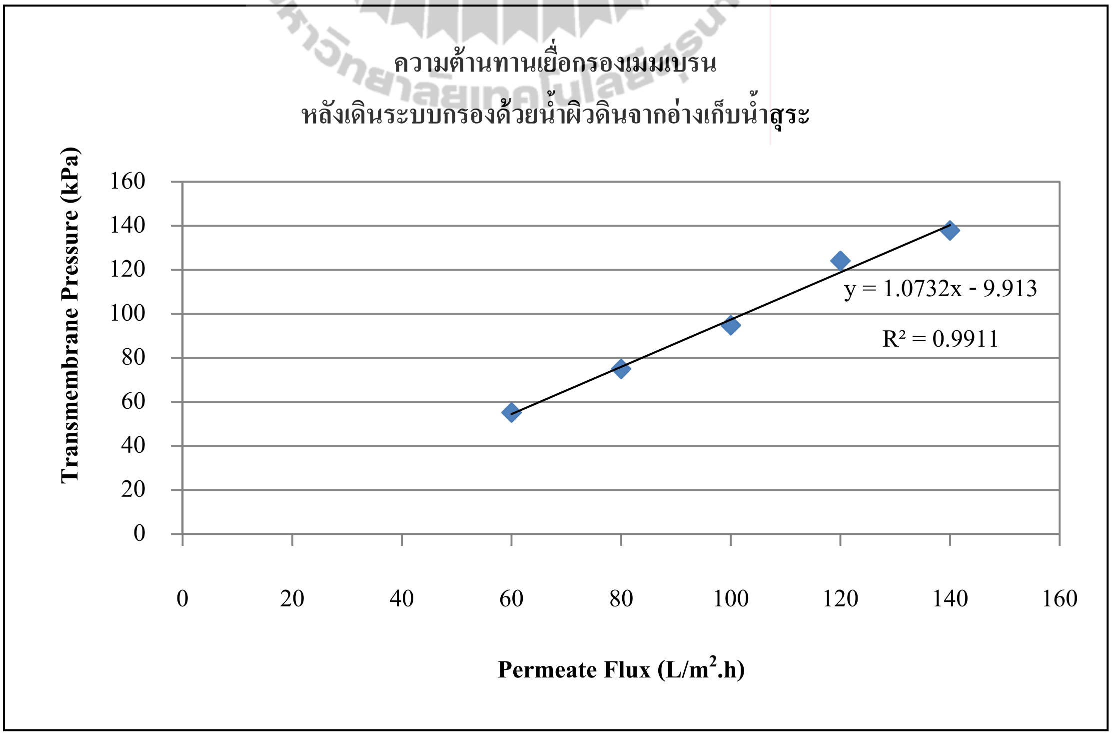
Permeate Flux	Transmembrane Pressure			
	kPa	kPa	kPa	kPa
L/m^2.h	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
60	48.27	48.27	48.27	48.27
80	78.61	78.61	78.61	78.61
100	115.85	115.85	115.85	115.85
120	136.20	136.20	136.20	136.20
140	162.75	162.75	162.75	162.75

ตารางที่ ค.6 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังจากล้างด้วย NaOCl

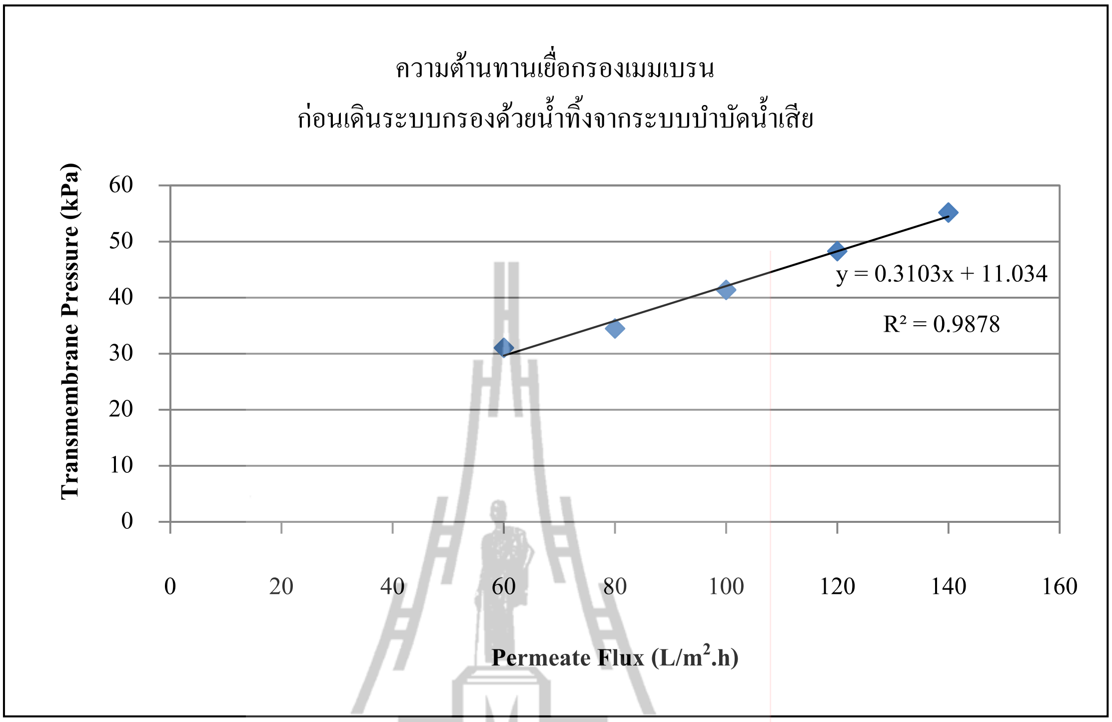
Permeate Flux	Transmembrane Pressure			
	kPa	kPa	kPa	kPa
L/m^2.h	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
60	31.03	31.03	31.03	31.03
80	34.48	34.48	34.48	34.48
100	41.38	41.38	41.38	41.38
120	48.27	48.27	48.27	48.27
140	55.17	55.17	55.17	55.17



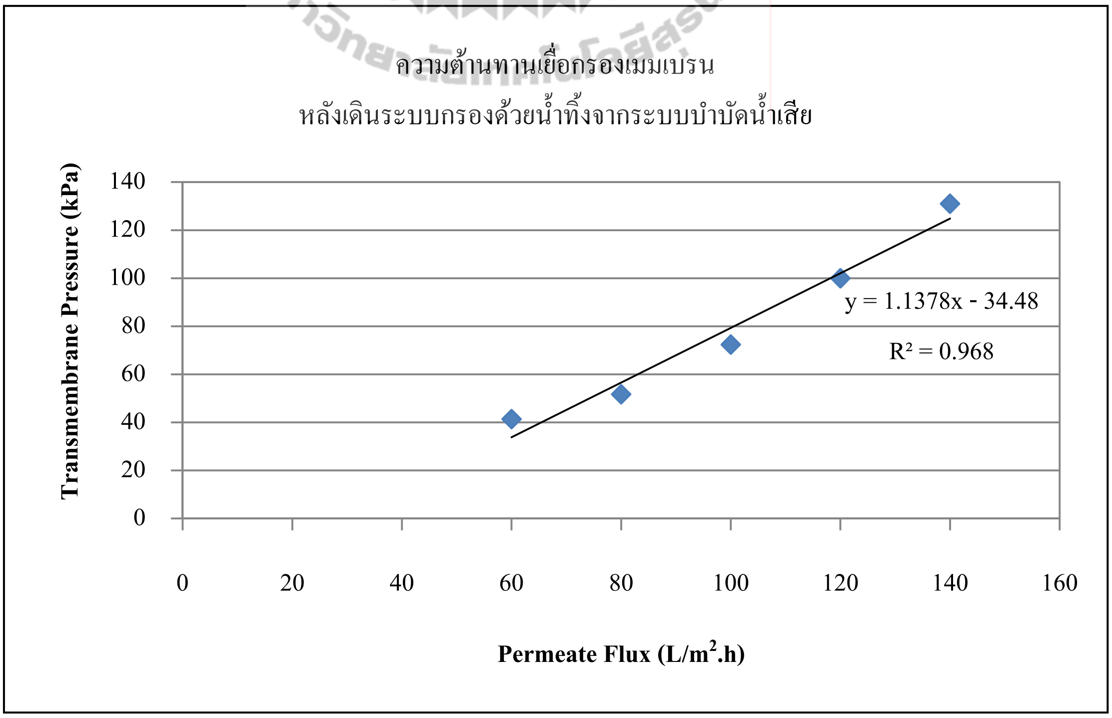
รูปที่ ค.1 ความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน



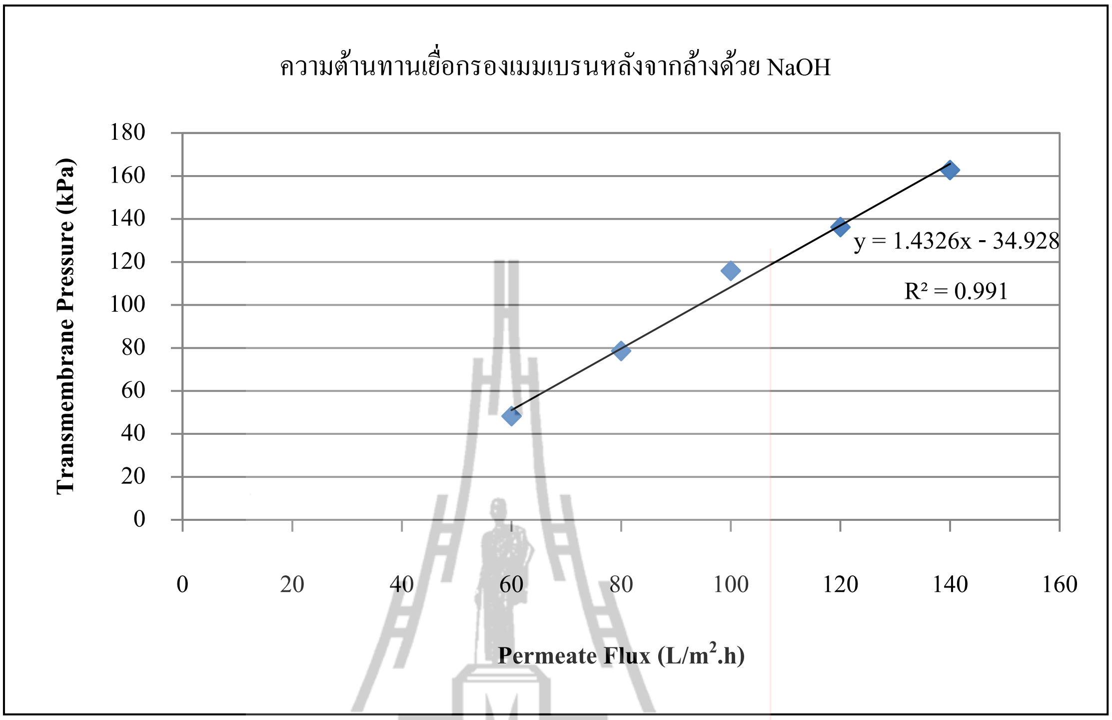
รูปที่ ค.2 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังเดินระบบกรองด้วยน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ



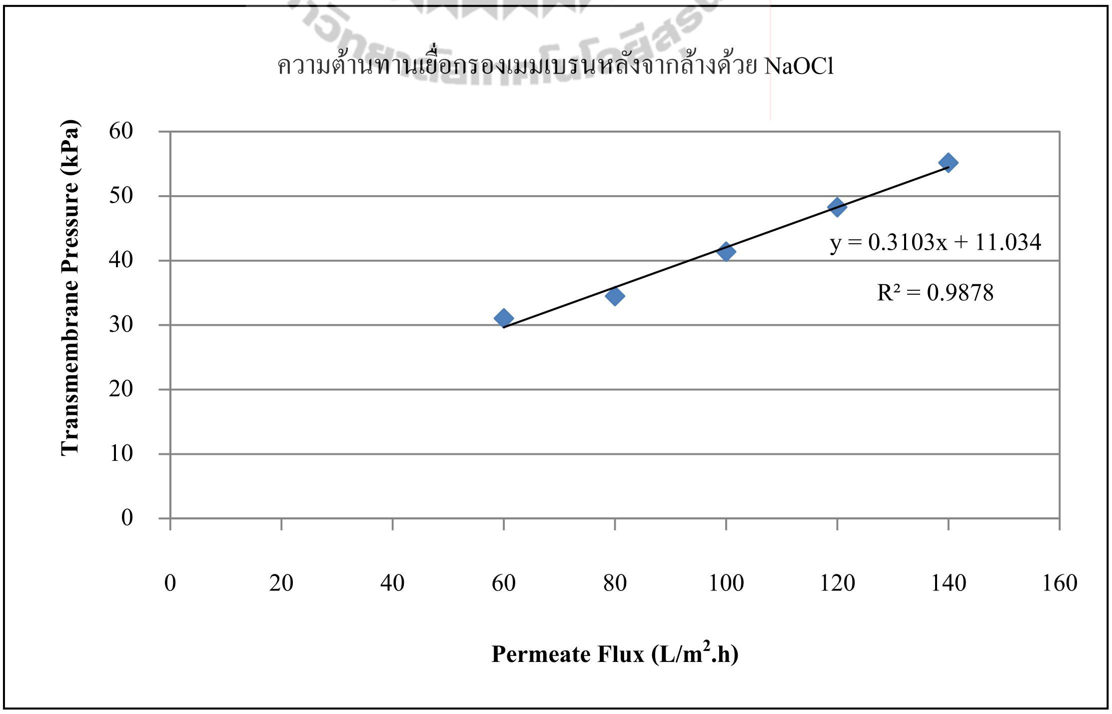
รูปที่ ค.3 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนก่อนเดินระบบกรองด้วยน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย



รูปที่ ค.4 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังเดินระบบกรองด้วยน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย



รูปที่ ค.5 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังจากล้างด้วย NaOH



รูปที่ ค.6 ความต้านทานเยื่อกรองเมมเบรนหลังจากล้างด้วย NaOCl

ภาคผนวก ง

รายการคำนวณด้านการเดินระบบและการบำรุงรักษา

<u>รายการคำนวณ</u>

<u>การประมาณค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบและการควบคุมระบบ</u>

อุปกรณ์และการควบคุม	=	42,100	บาท
1.ค่าติดตั้งระบบ	=	ร้อยละ 25 ของราคาอุปกรณ์	
	=	0.25×42,100	
	=	10,525	บาท
2. ค่าท่อและวาลว์	=	ร้อยละ 35 ของราคาอุปกรณ์	
	=	0.35×42,100	
	=	14,735	บาท
∴ รวมค่าก่อสร้างทั้งหมด	=	42,100+10,525+14,735	บาท
	=	67,360	บาท
3. ค่าออกแบบ	=	ร้อยละ 15 ของค่าก่อสร้าง	
	=	0.15×67,360	
	=	10,104	บาท
4. ค่าอื่น ๆ	=	ร้อยละ 15 ของค่าก่อสร้าง	
	=	0.15×67,360	
	=	10,104	บาท
∴ รวมราคาต้นทุนทั้งหมด	=	ค่าก่อสร้างทั้งหมด+ค่าออกแบบ+ค่าอื่น ๆ	
	=	67,360+10,104+10,104	
	=	87,568	บาท

<u>การเดินระบบและการบำรุงรักษา</u>

จากการคำนวณหาค่าการติดตั้งระบบและค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน จะคิดจากปริมาณน้ำที่ได้ใน 1 วันของการเดินระบบเท่ากับ 2.88 m^3 และในการประมาณราคาจะอ้างอิงแฟคเตอร์จาก US.EPA

1. ค่าบำรุงรักษา = ร้อยละ 4 ของค่าติดตั้งระบบทั้งหมด
   = 0.04×70,928
   = 2,837 บาท

ในการสูบน้ำเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน ปั๊มที่ใช้ในการเดินระบบมีกำลังของปั๊มเท่ากับ 480 วัตต์ และคิดค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 3 บาท และเวลาในการเดินระบบ 30 ชั่วโมง ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่อัตราการไหลเข้าระบบกรองเท่ากับ 480 ลิตรต่อชั่วโมง คิดเป็นปริมาตรน้ำที่ได้เท่ากับ 14.4 ลูกบาศก์เมตร

2. ค่าไฟฟ้า = จำนวนวัตต์ × ชั่วโมง
   = (480 วัตต์) × (30 ชั่วโมง)
   = 14,400 วัตต์.ชั่วโมง
   = 14.4 กิโลวัตต์ชั่วโมง

คิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท

∴ ค่าไฟฟ้าทั้งหมด = (14.4 กิโลวัตต์ชั่วโมง) × (3 บาทต่อหน่วย)
   = 43.2 บาท

ดังนั้นค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปริมาตร
   = (43.2 บาท) / (14.4 ลูกบาศก์เมตร)
   = 3 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

ในการคำนวณหาค่าใช้จ่ายด้านการเดินระบบและการบำรุงรักษา จะเลือกใช้สภาวะที่เหมาะสมต่อการเดินระบบที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 และเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$

- ที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ มีพื้นที่เมมเบรนเท่ากับ 6 m^2

= (80 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง) × (6 ตารางเมตร) × (60 ต่อนาที)

= 8 ลิตรต่อนาที

∴ อัตราการไหลน้ำ = (8 ลิตรต่อนาที) × (24 ชั่วโมงต่อวัน)

= 11.52 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน คือโพลีอลูมินัมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร

- Optimum Dose ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังจากทดสอบ Jar test ปริมาณโพลีอลูมินัมคลอไรด์ที่ใช้ในการตกตะกอน 4 มิลลิลิตร

∴ ปริมาณโพลีอลูมินัมคลอไรด์ที่ใช้

= (10 กรัม/ลิตร) × (4 มิลลิลิตร) / (1,000 มิลลิลิตร)

= 0.04 กรัมต่อลิตร

= 40 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

- ราคาโพลีอลูมินัมคลอไรด์ 15 บาทต่อกิโลกรัม

= (40 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร) × (15 บาทต่อกิโลกรัม)

= 0.60 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

- Optimum Dose ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหลังจากทดสอบ Jar test ปริมาณโพลีอลูมินัมคลอไรด์ที่ใช้ในการตกตะกอน 6 มิลลิลิตร

∴ ปริมาณโพลีอลูมินัมคลอไรด์ที่ใช้

= (10 กรัม/ลิตร) × (6 มิลลิลิตร) / (1,000 มิลลิลิตร)

= 0.06 กรัมต่อลิตร

= 60 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

- ราคาโพลีอลูมินัมคลอไรด์ 15 บาทต่อกิโลกรัม

= (60 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร) × (15 บาทต่อกิโลกรัม)

= 0.90 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

3. ค่าสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนของน้ำ

น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ

= อัตราการไหล × ปริมาณสารเคมีที่ใช้

= (11.52 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) × (0.60 บาทต่อลูกบาศก์เมตร)

= 2,523 บาทต่อปี

น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย

= อัตราการไหล × ปริมาณสารเคมีที่ใช้

= (11.52 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) × (0.90 บาทต่อลูกบาศก์เมตร)

= 3,784 บาทต่อปี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก จ

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Tab-urai, S., Racho, P., and Wichitsathian, B. (2011). **Evaluation of Chemical Coagulation and Ultrafiltration for Natural Organic Matter (NOM) Removal**. International Journal of Civil Engineering and Building Materials. 30 July. 1(1) pp. 1-8.

International Journal of Civil Engineering and Building Materials (ISSN 2223-487X) Vol. 1 No.1 2011
© 2011 International Science and Engineering Research Center

Evaluation of Chemical Coagulation and Ultrafiltration for Natural Organic Matter (NOM) Removal

Sukulya Tab-urai[1], Patcharin Racho[2,a] and Boonchai Wichitsathian[3,b]

[1,2,3]School of Environmental Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology 111 University Avenue, Muang District, NakhonRatchasima 30000 Thailand

[a]patcha@sut.ac.th, [b]boonchai@sut.ac.th

KEYWORDS: Ultrafiltration (UF); Natural Organic Matter (NOM); Dissolved organic carbon (DOC); Disinfection Precursors

ABSTRACT: Removal of NOM is important since they act as the precursors to disinfection by-products (DBPs) which, in turn, have recently received attention in drinking water and water supply regulations. Previous studies have shown that NOM can be effective rejected during filtration by low and medium pressure membranes, including nanofiltration (NF) and, to a lesser extent, ultrafiltration (UF). However, several large scale water treatment plants already employ coagulation pretreatment, mechanisms applicable to the initial stages of MF or UF fouling are still not fully understood. The main objectives are evaluated influencing of permeate flux and recovery ratios on the coagulation-ultrafiltration efficiencies including transmembrane pressure, color, turbidity, UV_{254} and dissolved organic carbon (DOC). The optimized permeate flux were selected with the values of 80 L/m^2.h for continuous ultrafiltration runs. The overall highest removal efficiencies were found in the 25:75 ratios. 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 WWTP in terms of color, turbidity, NOM and DOC were 32, 57, 17 and 16% respectively. The overall removal were decreased when the permeate flow increase.

INTRODUCTION

The quality of surface water is determined by hydrodynamic, biological, chemical, physical and meteorological processes. Intensive rainfall and flood in catchments area can cause quite considerable degradation of the surface water quality. Surface waters contain inorganic and organic particulate substances. Inorganic particulate constituents are amongst others clays, silt and mineral. Organic particulate substances can include microorganism like viruses, bacteria and protozoan. One of the major problems of using surface water as source for drinking water is the high content of natural organic compounds (NOM). NOM can cause odor, can influence the taste and can increase corrosion and biofilm growth in distribution network. Furthermore, NOM could be a source for the formation of disinfections by-products when water disinfected [1,2,3].

Increasing population and improper industrialization practices have led to detrimental surface and underground water pollution. This phenomenon has raised concern in the public for stringent environmental legislation and alternative technology in water treatment. The presence of free chlorine content that is used as a disinfectant in conventional water supply treatment system is found to react with residual natural organic matter (NOM). NOM in raw water consists of hydrophobic fractions like humic acid and fulvic acid and hydrophilic fractions and comprised of organic molecules of various sizes ranging from 300 to 30,000 Dalton [1,2,3]. Some past of the study reported that the hydrophobic fractions accounted for more than 50% of DOC in natural waters. 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 [4,5]. Previous studies have shown that NOM can be effective rejected during filtration by low and medium pressure membranes, including nanofiltration (NF) and, to a lesser extent, ultrafiltration (UF). However, organic matter is often found to be a primary

International Journal of Civil Engineering and Building Materials (ISSN 2223-487X) Vol. 1 No.1 2011
© 2011 International Science and Engineering Research Center

source of flux decline due to fouling in RO and NF systems [4,6]. NOM rejection by membranes has been the nominal molecular weight cut off (MWCO). Microfiltration (MF) and ultrafiltration (UF) are highly effective for turbidity, bacteria and protozoa removal, also indirectly assisting in disinfection by-product (DBP) control by lowering chemical disinfection requirements for the filtered water. However, wider application of these technologies continues to be impeded by fouling. A common method to reduce fouling and simultaneously improve filtered water quality is to chemically coagulate the feed water using aluminum or iron salts prior to MF/UF [7].

Ultrafiltration membrane has become an attractive alternative to conventional clarification. No or less need of chemical agents, good quality of produced water independent of feed water quality, good removal efficiency towards microorganisms, less production of sludge, compact process, and easy automation are some of the advantages of ultrafiltration compared to conventional treatment. However, several large scale water treatment plants already employ coagulation pretreatment, mechanisms applicable to the initial stages of MF or UF fouling are still not fully understood. In recent years, coagulation is used for pre-treatment in the process combination with UF because it can best NOM removal efficiency and therefore reduce fouling. Thus, this study was investigation on coagulation pretreatment of ultrafiltration treatment for NOM removal. The main objectives are evaluated influencing of permeate flux and recovery ratios on the coagulation-ultrafiltration efficiencies including transmembrane pressure, pH, temperature, conductivity, total dissolved solid, color, turbidity, UV_{254} and dissolved organic carbon (DOC).

MATERIAL AND METHODS

Characteristics of raw water

The raw water collected from two difference sources. The first source collected from the Suranaree University of Technology's reservoir (SUT's reservoir) and the second one collected from final polishing pond effluent of Suranaree University of Technology's wastewater treatment plant (SUT's WWTP) during the period of July 2010 to February 2011. The characteristics of raw water are illustrated in Table 1.

Table 1 Characterization of raw water

Parameter	SUT's reservoir	Effluent of SUT's WWTP
pH	7.25±0.33	8.23±0.12
Temperature (°C)	25.55±2.42	30.89±3.31
Conductivity (μS/cm)	237.25±40.19	505.39±11.27
TDS (mg/l)	119.64±21.31	252.95±5.68
Color (mg/L .Pt.Co)	180.85±59.04	120.12±39.19
Turbidity (NTU)	11.67±3.49	10.74±4.38
UV_{254} (cm^{-1})	0.23±0.03	0.26±0.03
DOC (mg/L)	13.24±1.92	14.83±1.67

Feed water preparation

The raw water inflows to coagulation unit that were performed using poly aluminum chloride (PAC) concentration of 10 mg/L in raw water for 1 minute of rapid mixing and settling process. Then, the clear water was filtered by 100 μm filter before fed to ultrafiltration process.

International Journal of Civil Engineering and Building Materials (ISSN 2223-487X) Vol. 1 No.1 2011
© 2011 International Science and Engineering Research Center

Continuous crossflow ultrafiltration unit

A pilot scale of crossflow ultrafiltration membrane unit was a hallow fiber module. Our system is composed of the membrane module and the feed, permeate, and waste lines as details shown in Fig. 1. The characteristics of membrane were polysulfone (PS) material, molecular weight cutoff (MWCO) about 20 kDa and 6 m^2 of membrane area. The influencing of permeate flux ratios on the ultrafiltration efficiencies were investigated by varying effluent permeate flux of 60 L/m^2.h, 80 L/m^2.h and100 L/m^2.h. After that the optimized permeate to retentate ratios were evaluated by varying the values of 25:75, 50:50 and 75:25.

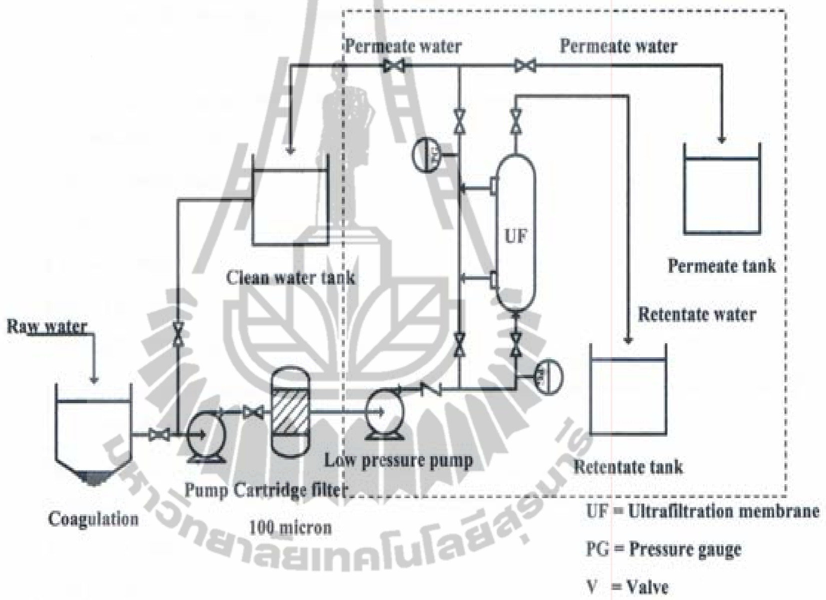


Fig. 1 Schematic of the ultrafiltration system

Analytical methods

Overall influent and effluent samples were analyzed following the Standard Methods for the examination of water and wastewater [8]. The UV_{254} absorbance was used for quantifying NOM content in water using Agilent 8453 UV/VIS spectrophotometer and dissolved organic carbon measurement by wet-oxidation.

RESULTS AND DISCUSSION

Feed water characteristics

The characteristics of raw water after coagulation and settling processes and 100 μm filter show in Table 2. Results showed that the coagulation process can be removed 88% of turbidity which values of the settling effluent were about 0.97-1.61 NTU. Also, the color removal was about 86% (15.00-25.22 mg/L-Pt in the settling effluent) and the natural organic matter (NOM) removal was about 75% (0.09-0.11cm^{-1} in the settling effluent). These results were showed higher NOM removal by coagulation process than the study of Korbutowicz et. al. [9] that using two iron coagulants containing $FeCl_3$ or $Fe_2(SO_4)_3$ as actives compounds. The result of that study showed 56% of NOM

International Journal of Civil Engineering and Building Materials (ISSN 2223-487X) Vol. 1 No.1 2011
© 2011 International Science and Engineering Research Center

removal. As well as, this study showed that higher dissolved organic carbon removal than Krystyna et al. [10] which value about 72%. However, the type and dosage of coagulant is important for an efficient pretreatment in hybrid process coagulation couple with UF such as the poly aluminum chloride and other coagulants were effect on conductivity and total dissolve solids.

After that, the clear water was filtered by 100 μm filter before fed to ultrafiltration process. Results showed that 40% of turbidity removal by ranges of 0.62-0.92 NTU. Meanwhile, the color removal efficiency was about 33% by ranges of 8.92-17.92 mg/L.Pt and NOM removal was about 11% by range of 0.08-0.10cm^{-1}. These can be concluded that the coagulation and 100 μm filter pretreatment have capable to reduce turbidity, microorganism removal (bacteria, viruses or protozoan) and NOM removal. That can be improved influent water quality and decreased fouling of membrane.

Table 2 Characterization of Ultrafiltration Influent

Parameter	Effluent	
	From settling	From 100 μm filter
pH	7.01±0.17	7.06±0.13
Temperature (°C)	28.77±1.66	28.41±1.76
Conductivity (μS/cm)	430.68±34.00	409.67±38.64
TDS (mg/l)	215.54±17.20	206.73±23.07
Color (mg/L .Pt.Co)	20.11±5.11	13.42±4.50
Turbidity (NTU)	1.29±0.32	0.77±0.15
UV_{254} (cm^{-1})	0.10±0.01	0.09±0.01
DOC (mg/L)	6.02±0.78	5.40±0.54

Influencing of permeate flux

At the initial conditions, a 25:75 of permeate to retentate ration was selected for evaluated influencing of permeate flux on the ultrafiltration efficiencies [11].The experimental results of three permeate flux runs were showed in Table 3. Results showed that transmembrane pressure increased from 14.77 kPa to 41.59 kPa and permeates flux increased from 60 L/m^2.h to 100 L/m^2.h. The transmembrane pressure were increased during increasing the permeate flux. That caused of effluent flow rates of the membrane were increased. Cristensen et al. [12] can explained by the flux decline depends on both feed concentration and specific cake resistance. For inorganic particles, specific cake resistance is a function of particle size and shape. For organic slurries, such as fermentation broths and activated sludge, it has been demonstrated that the presence of extracellular polymeric substances (EPS) increases the resistance. Moreover, the ultrafiltration membrane is more affected by fouling, and when limiting flux is attained, the pressure increase will not have a positive effect on permeates flux [13].

The DOC removal was not different in three experimental runs as same as the study. From statistical analysis (ANOVA test at 95% of confidence level), it was found the variance of DOC removal in three runs ware significant to equal. The overall results showed that average NOM and DOC removal efficiencies were about 22-25% during three permeate fluxes varying (Fig. 2). Meanwhile, the average color and turbidity removal were significant to equal in two permeate fluxes of 60 L/m^2.h and 80 L/m^2.h with the values about 64% and 67%, respectively. However, the turbidity and color removal were decrease during 100 L/m^2.h of permeate flux. This can explain by the increased permeate flux, the transmembrane pressure also increased because the particulate

International Journal of Civil Engineering and Building Materials (ISSN 2223-487X) Vol. 1 No.1 2011
© 2011 International Science and Engineering Research Center

accelerates the accumulation of the membrane surface fouling. It was difficult for the fouling to settle due to the high permeate flux [13]. Therefore, in practical operation, the raw water should be pretreated to decrease the concentration of raw water organics and retard membrane fouling, and then the membrane operational efficiency can be improved. Membrane surface cross-flow velocity has a close relation with membrane fouling. On the principle of no influence exerted on the transmembrane pressure, the increase of the membrane surface velocity can result in water permeation while cleaning the membrane.

Table 3 Characteristics of ultrafiltration effluent with varying permeate flux

Permeate flux	Transmembrane pressure (kPa)	Color (mg/L.Pt.Co)	Turbidity (NTU)	UV_{254} (cm^{-1})	DOC (mg/L)
60 L/m^2.h	14.77±1.56	5.06±3.04	0.21±0.05	0.04±0.01	2.64±0.34
80 L/m^2.h	25.92±4.03	5.03±2.08	0.22±0.05	0.04±0.01	2.76±0.48
100 L/m^2.h	41.59±4.65	5.84±2.51	0.25±0.06	0.04±0.01	2.71±0.38

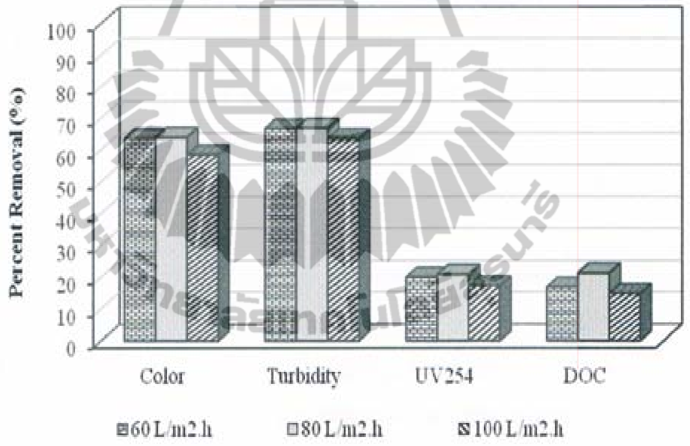


Fig. 2 permeate flux on the efficiency of treatment

Influencing of recovery ratios

At the second condition, the optimized permeate flux were selected with the values of 80 L/m^2.h for continuous ultrafiltration runs by varying permeate to retentate ratios. The results of this study were illustrated as shown in Fig.3. The overall highest removal efficiencies were found in the 25:75 ratios. The color, turbidity, NOM and DOC removal were about in 67%, 64%, 27% and 23% respectively in permeate to retentate ratio of 25:75 and it relation study to part found that efficiency removal of DOC with MWCO 10-50 kDa can removal about 25-32% [14]. The overall removals were decreased when permeate to retentate ratio increase. Because, permeate to retentate ratios 75:25 give permeate high water quantity but quality effluent from permeate than more 50:50 and 25:75 then the high ratio was effect to permeate membrane it can be the particulate to pass membranes so the fouling on the surface was peeled off by the flow perpendicular to permeate directly which called dead-end mode [11].

International Journal of Civil Engineering and Building Materials (ISSN 2223-487X) Vol. 1 No.1 2011
© 2011 International Science and Engineering Research Center

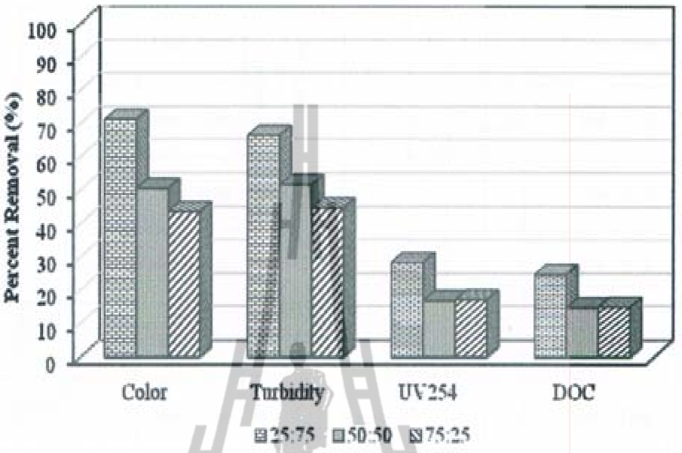


Fig.3 Ratio of permeate: retentate on the efficiency of treatment

The overall removals were decreased when permeate to retentate ratio increase. This causes of particulate matters can be passed through the membrane during high permeate to retentate ratio. That showed optimal condition color, turbidity, NOM and DOC removal was the 25:75 ratio. The fouling on the surface was peeled off by the flow perpendicular to permeate directly which called dead-ends of mode [9]. Membrane recovery is defined as the ratio of permeate flow to feed flow for that membrane. Recovery can be reduced by increasing the feed flow. Another way to reduce recovery is to decrease the operating pressure. Lower operating pressure produces a lower amount of permeate. If the feed flow can be maintained near the original value, then a lower recovery is obtained. The effect of lower recovery is to reduce the overall concentration of all substances in the reverse osmosis system.

Comparison of SUT's reservoir and Effluent of SUT's WWTP

In order to confirms application of hybrid process coagulation couple UF. The Suranaree University of Technology's wastewater treatment plant (SUT's WWTP) effluent was evaluated as results showed in Table 4. The optimum permeate flux was about 80 $L/m^2.h$ and permeate to retentate ratios was about 25:75 for treatment of SUT's WWTP effluent. Results had shown the influencing of water quality on hybrid process coagulation couple UF treatment efficiencies and membrane fouling.

The overall removal efficiencies of the treatment for SUT's reservoir were higher than the treatment for SUT's WWTP effluent. The value DOC effluent was higher than 4 mg/L for SUT's WWTP effluent. These data significance that high DOC level (> 4 mg/L) could be a source for the formation of disinfections by-products when water disinfected (THMs will likely exceed 50 μg/L) [15]. Moreover, the results of Effluent of SUT's WWTP were the removal efficiencies of the color, turbidity, NOM and DOC were about in 32, 57, 17 and 16% respectively as details shown in Fig. 3.

CONCLUSIONS

Results of this study showed that NOM and DOC values of raw water were about 0.23-0.30 cm^{-1} and 13-15 mg/L respectively. These can reduced in coagulation by polyaluminum chloride at concentration of 10 mg/L. The experimental results of three permeate flux runs were showed an optimized value was 80 $L/m^2.h$. The overall highest removal efficiencies were found in the 25:75 ratios. The color, turbidity, NOM and DOC removal were about in 67%, 64%, 27% and 23% respectively.

International Journal of Civil Engineering and Building Materials (ISSN 2223-487X) Vol. 1 No.1 2011
© 2011 International Science and Engineering Research Center

However, results had shown the influencing of water quality on hybrid process coagulation couple UF treatment efficiencies and membrane fouling.

Table 4 Characteristics of ultrafiltration effluent with permeate to retentate ratio.

Raw water	Transmembrane pressure (kPa)	Color (mg/L.Pt.Co)	Turbidity (NTU)	UV_{254} (cm^{-1})	DOC (mg/L)
SUT's reservoir	41.38±0.00	2.59±1.49	0.22±0.03	0.04±0.003	2.58±0.17
Effluent of SUT's WWTP	41.38±0.00	12.00±2.98	0.43±0.04	0.11±0.003	6.72±0.17

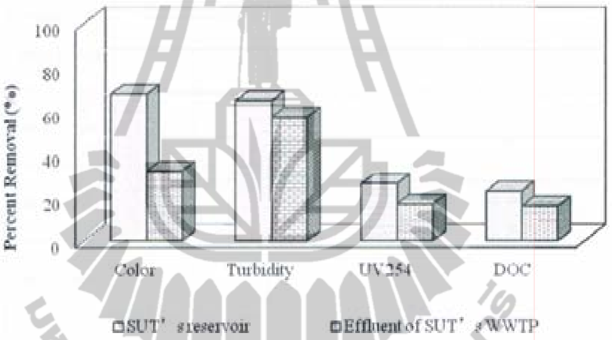


Fig.3 Ratio of permeate: retentate on the efficiency of treatment

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to express their sincere gratitude to the National Research Council of Thailand (NRCT) and Suranaree University of Technology for funding this research.

REFERENCES

[1] B. Martin, J. P. Croue, E. Lefebvre and B. Legube, Distribution and characterization of dissolved organic matter of surface waters.Water Research. Vol. **31** (1997), p.541-553.

[2] C. Pelekani, G. Newcombe, V. L. Snoeyink, C. Hepplewhite, S. Assemi and R. Beckett, Characterization of natural organic matter using high performance size exclusion chromatography. Environmental. Science. Technology. Vol. 33 (1999), p. 2807-2813

[3] T. K. Nissinen, I. T. Miettinen, P. J. Martikainen and T. Vartiainen. Molecular size distribution of natural organic matter in raw and drinking waters. Chemosphere. Vol. 45 (2001), p. 865-873.

[4] L. Tan and G.L. Amy. Comparing ozonation and membrane separation for colour removal and disinfection by-product control. J. AWWA. Vol. 83 (1991), p. 74-79.

[5] V. Uyak, I. Koyuncu, I. Oktem, M. Cakmakci, and I. Toroz. Removal of trihalomethanes from drinking water by nanofiltration membrane. J. Hazardous Materials Vol. 152 (2008), p. 789-794.

[6] K. Scott. "Membrane Separation Technology: industrial Applications and Markets" (1990)

International Journal of Civil Engineering and Building Materials (ISSN 2223-487X) Vol. 1 No.1 2011
© 2011 International Science and Engineering Research Center

[7] B.Ashima, C. Shankararaman, and C. A. Dennis. Evaluation of iron chemical coagulation and electro coagulation pretreatment for surface water microfiltration.Journal of Membrane Science. Vol. 309 (2008), p. 82-93.
[8] APHA, AWWA, WPCF. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". 20thed, 2005.
[9] M.K. Korbutowicz. Ultrafiltration as a method of seperation of natural organic matter from water. *Material Science-Poland.* 2008, 26(2): 459-467.
[10] K. Krystyna, S.Dorota, and B. Michał.Efficiency of the hybrid coagulation–ultrafiltration water treatment process with the use of immersed hollow-fiber membranes. Desalination.Vol. 198 (2006), p. 102-110.
[11] C. Pokchat, P. Wiboonluk, and P.Sorawit. Separation of microalgae from aquaculture system by cross-flow filtration. Thai environmental engineering journal. (2009), p. 1-9.
[12] M.L. Christensen, T.B. Nielsen, M.B.O. Andersen and K. Keiding. Effect of water-swollen organic materials on crossflow filtration performance. Journal of Membrane Science. Vol. 333 (2009), p. 94-99.
[13] W. Lei, W. Xudong, and F. Ken-ichi. Effect of operational conditions on ultrafiltration membrane fouling. Desalination. Vol. 229 (2008), p. 181-191.
[14] M. Siddiqui, G. Amy, J. Ryan, and W. Odem. Membranes for the control of natural organic matter from surface waters. Water research. Vol. 34 (2000), p 3355-3370.
[15] G. P. Hans, P.M. Joe, R. S. David, E. H. Spink and S. Joanne. Trihalomethanes in finished drinking water in relation to dissolved organic carbon and treatment process for Alberta surface waters. Environmental Technology. Vol. 14 (1993), p. 877-884.
[16] Y. Chen, B.Z. Dong, N.Y. Gao and J.C. Fan. Effect of coagulation pretreatment on fouling of an ultrafiltration membrane. Desalination. Vol. 204 (2007), p. 181-188.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสุกุลยา ทับอุไร เกิดเมื่อวันที่ 11 สิงหาคม 2527 ที่จังหวัดระยอง สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนระยองวิทยาคม จังหวัดระยอง และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2551 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ณ สถาบันการศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยในขณะศึกษาได้รับทุนในการทำวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

ในระหว่างที่ทำการศึกษาได้เผยแพร่บทความทางวิชาการเรื่อง **"Evaluation of Chemical Coagulation and Ultrafiltration for Natural Organic Matter (NOM) Removal"** ในงานสัมมนาวิชาการระดับนานาชาติ CEBM 2011 (2011 International Conference on Civil Engineering and Building Materials) ระหว่างวันที่ 29-31 กรกฎาคม พ.ศ. 2554 ณ ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนจีน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี