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

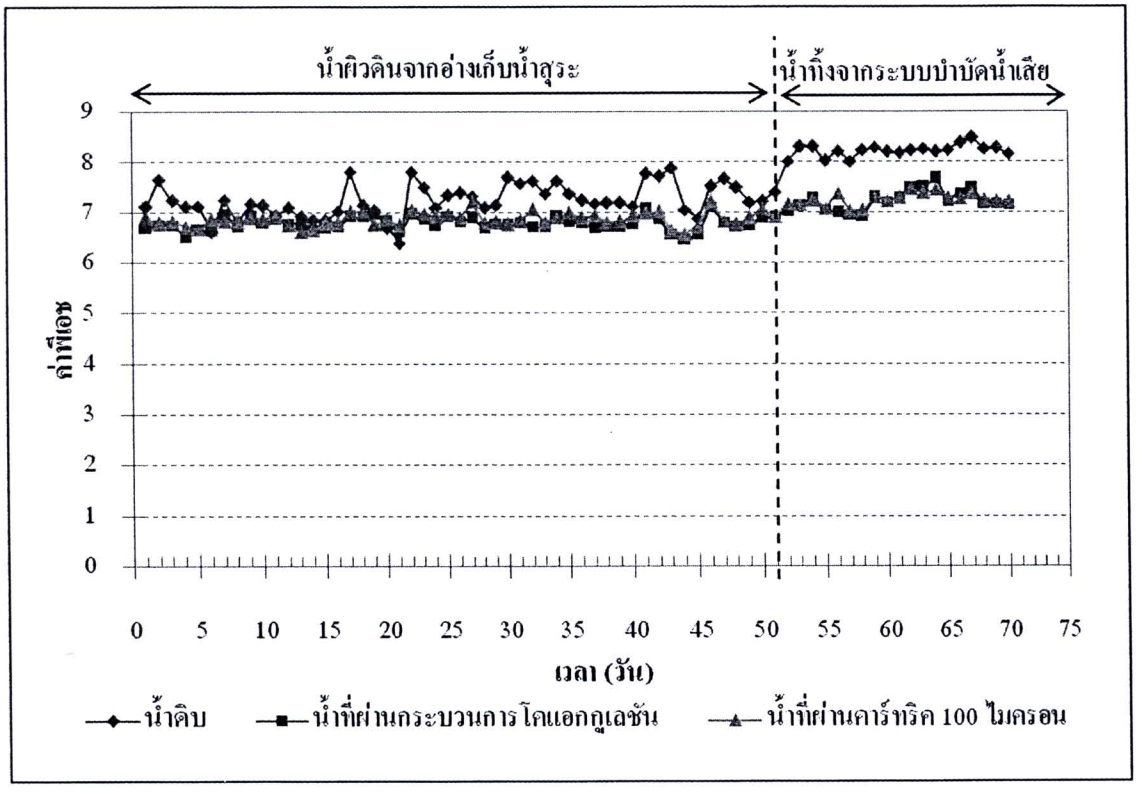
พารามิเตอร์	น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ		น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	6.78	0.13	7.23	0.21
อุณหภูมิ (°C)	25.70	2.49	31.84	0.83
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (µS/cm)	275.00	44.90	586.37	23.09
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/L)	137.46	22.53	293.63	11.86
สี (mg/L.Pt)	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 คุณลักษณะของน้ำดิบหลังผ่านคาร์ทริด 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

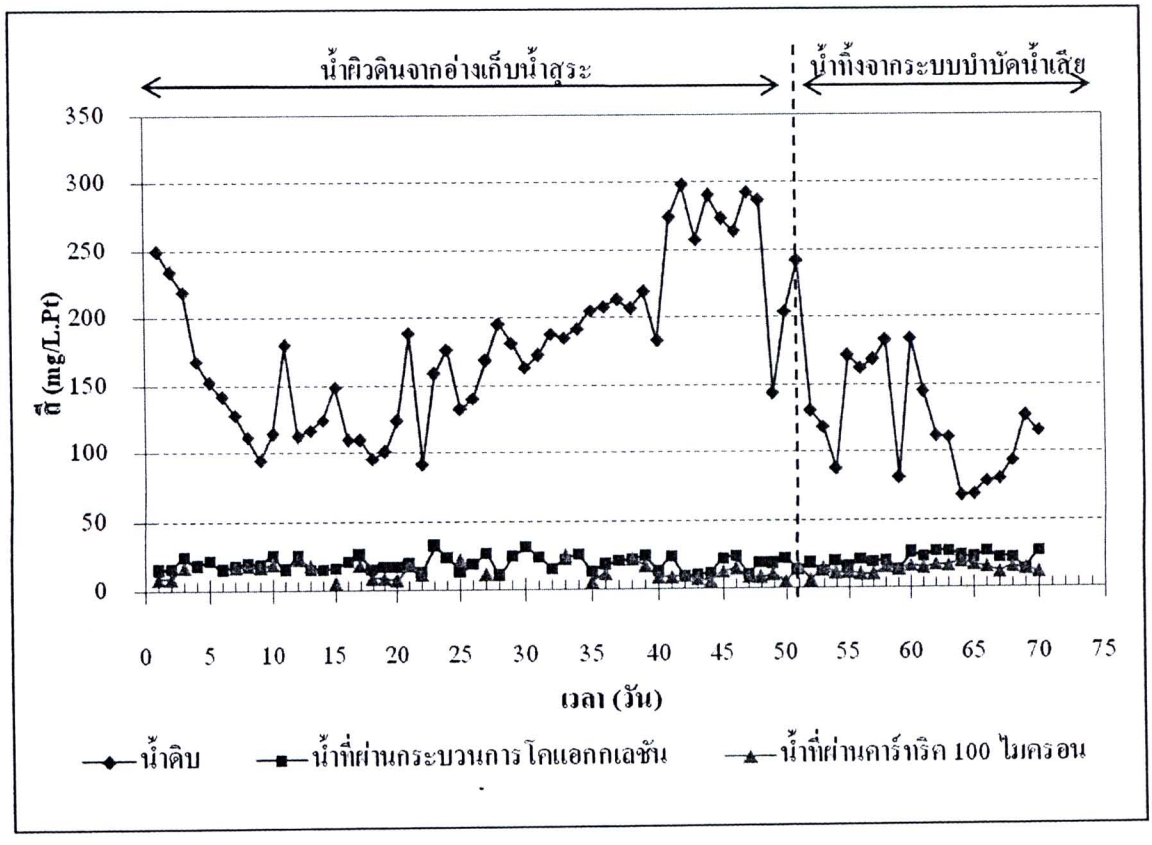
จากการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันจะเห็นว่าค่าสภาพการนำไฟฟ้าและค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันมีค่าสูงขึ้นเป็นผลมาจากการใช้โพลีอลูมินัมคลอไรด์เป็นสารตกตะกอน เมื่ออลูมินัมแตกตัวในน้ำจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนแตกตัวอยู่ในน้ำและมีประจุของอลูมินัมที่เหลืออยู่ได้หลายรูป เช่น Al^{+3} 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



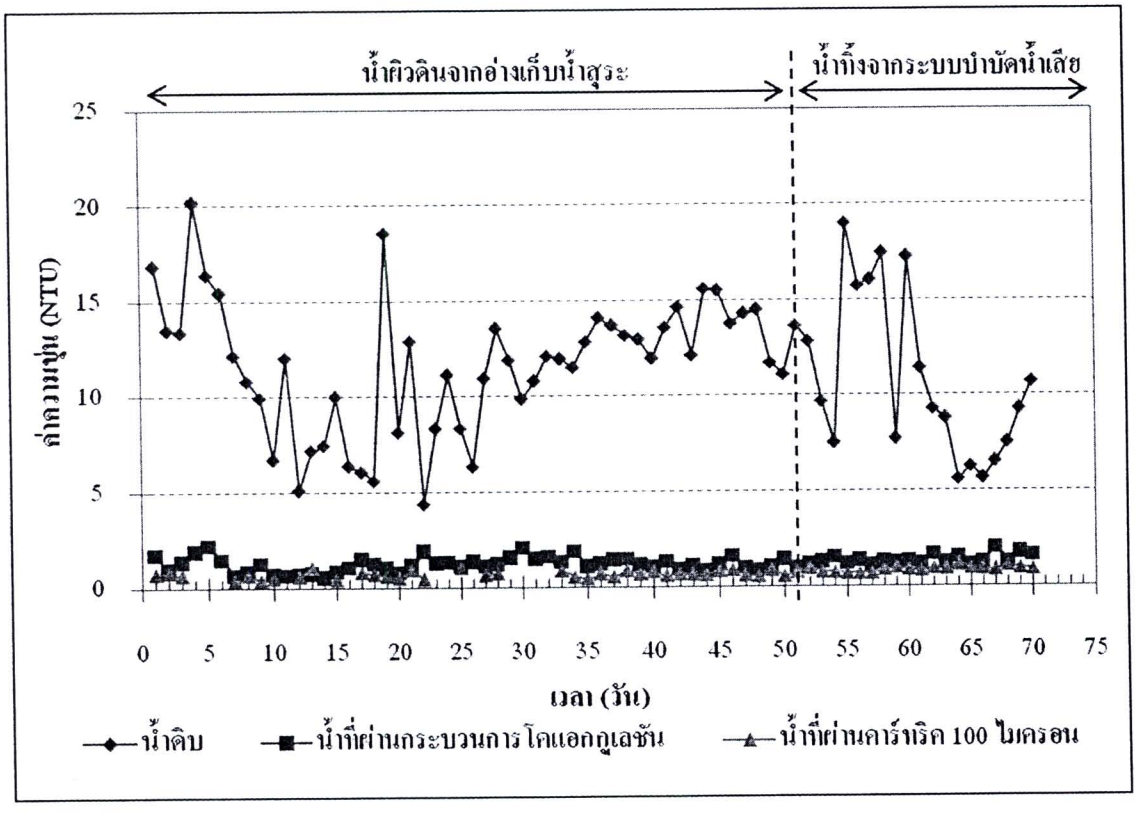
รูปที่ 4.1 ค่าพีเอชต่อระยะเวลาในการเดินระบบ

สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดสีและกลิ่น (Thurman et al., 1985) ในแหล่งน้ำผิวดินทั่วไปที่มีค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) สูงกว่า 5 mg/L จะทำเกิดสี ค่าสีของน้ำดิบจาก 2 แหล่งมีค่าสีที่สูงและเป็นสีเหลืองที่เกิดจากการย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์และสิ่งมีชีวิตที่มีอยู่ในน้ำ อีกทั้งในการวัดค่าสีของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียพบว่าค่าของสีที่วัดได้มีค่าสีอยู่ในช่วง 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



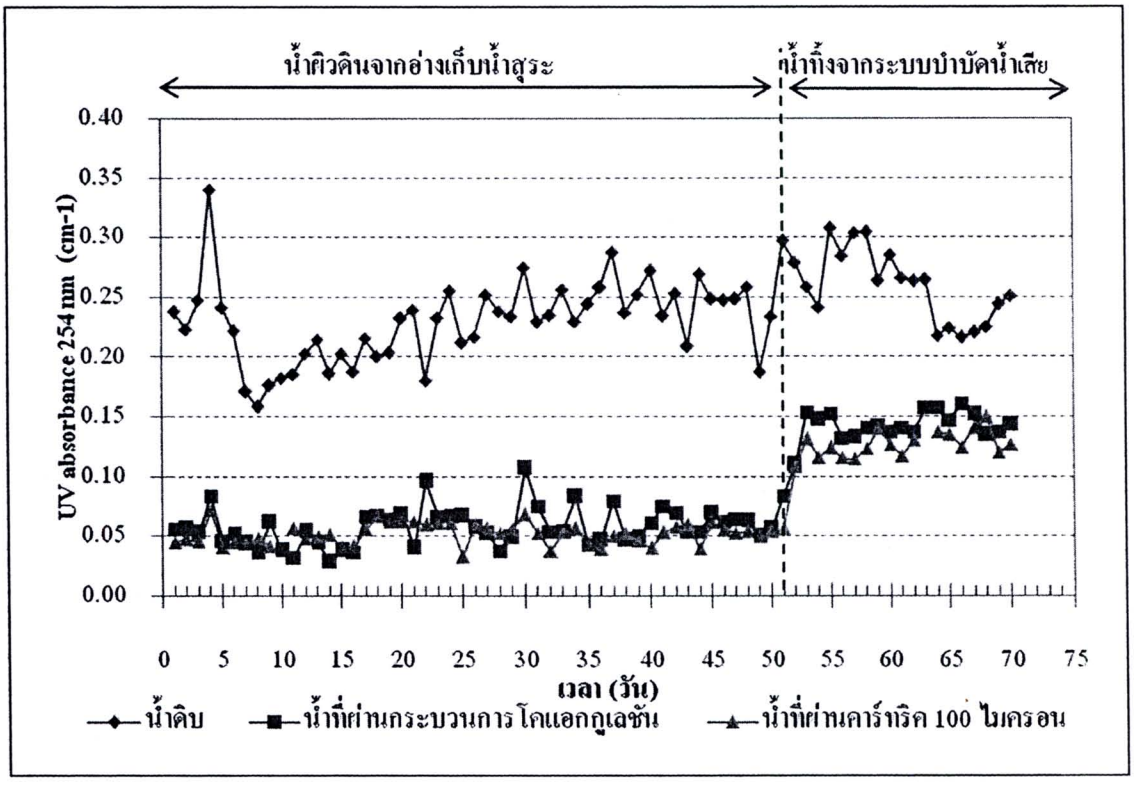
รูปที่ 4.2 ค่าสีต่อระยะเวลาในการเดินระบบ

ความขุ่นในน้ำมักเกิดจากสารแขวนลอยที่มีอนุภาคขนาดใหญ่และเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรน อนุภาคที่มีอยู่ในน้ำอาจเกิดจากแร่ธาตุหรือสารอินทรีย์ (ไวรัส แบคทีเรีย โปรโตซัว และสาหร่าย) อนุภาคเหล่านี้จะตกตะกอนได้ช้า ดังนั้นการตกตะกอนด้วยสารเคมีจะช่วยดักจับอนุภาคที่แขวนลอยและสามารถลดความขุ่นที่มีอยู่ในน้ำลงได้ (Edawald et al., 1999; Uyak et al., 2008) ค่าความขุ่นจึงเป็นดัชนีในการวัดคุณภาพน้ำหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันในขณะที่การกรองผ่านคาร์ทริด 100 ไมครอนจะช่วยดักจับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 100 ไมครอนก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน โดยพบว่าการกรองผ่านคาร์ทริด 100 ไมครอนจะสามารถลดค่าสีให้เหลือน้อยกว่า 15 mg/L.Pt และค่าของความขุ่นให้เหลือน้อยกว่า 2 NTU ดังนั้นการนำกระบวนการโคแอกกูเลชันและการกรองผ่านคาร์ทริด 100 ไมครอนมาเป็นกระบวนการบำบัดขั้นต้นจะสามารถควบคุมคุณลักษณะของน้ำจากทั้ง 2 แหล่ง ให้มีคุณลักษณะของน้ำที่ใกล้เคียงกันก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันได้



รูปที่ 4.3 ค่าความขุ่นต่อระยะเวลาในการเดินระบบ

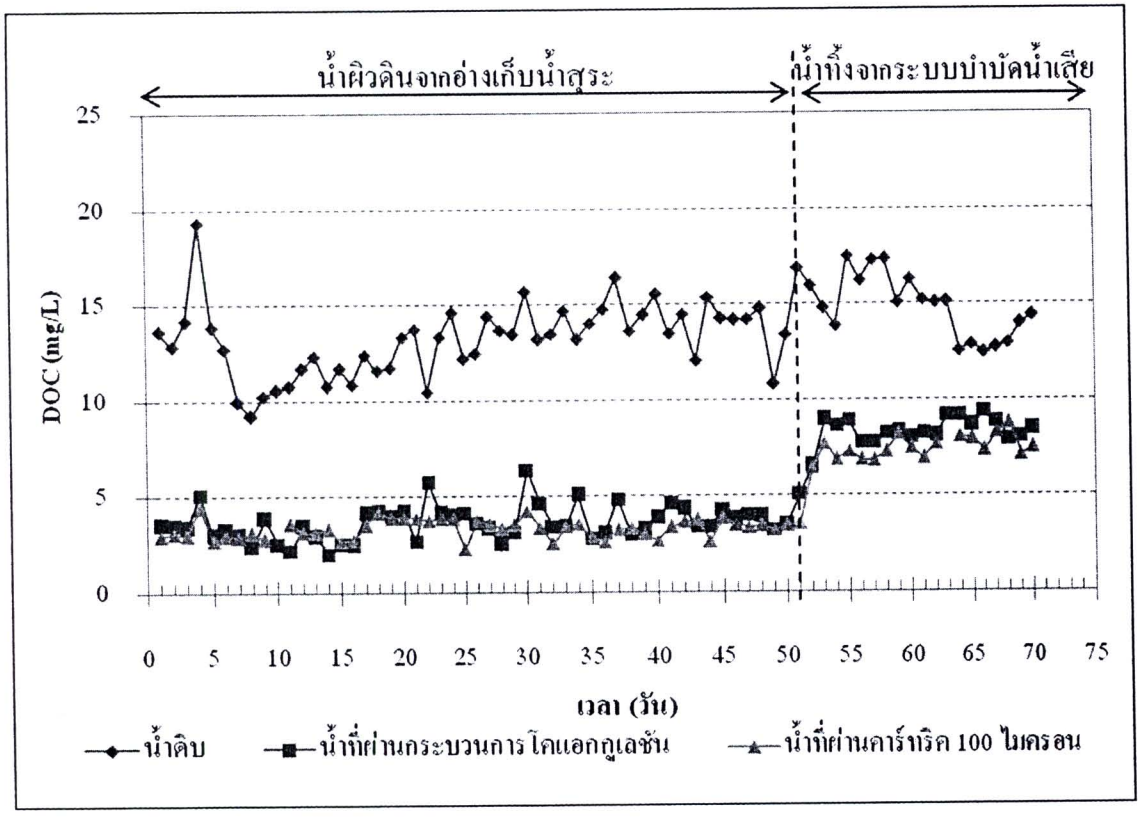
ค่า UV_{254} เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ซึ่งสามารถดูดซับรังสีอัลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร จากการทดลองได้ทำการหาค่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระมีค่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) อยู่ในช่วง 0.16-0.34 cm^{-1} และน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ (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) ในน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระได้มากกว่าน้ำทิ้งจากระบบบำบัด น้ำเสีย 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 สำหรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัด น้ำเสีย กระบวนการโคแอกกูเลชันสามารถลดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC)ได้ร้อยละ 83 87 45 และ 44 ตามลำดับ จะเห็นว่ากระบวนการดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียได้น้อยกว่าร้อยละ 50 น้ำดิบจากทั้ง 2 แหล่งหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน จะถูกนำมาผ่านคาร์ทริด 100 ไมครอน ก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าสามารถกำจัดสีและความขุ่นได้ร้อยละ 33 และ 45 ตามลำดับ ทั้งน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย แต่ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) น้อยกว่า ร้อยละ 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}

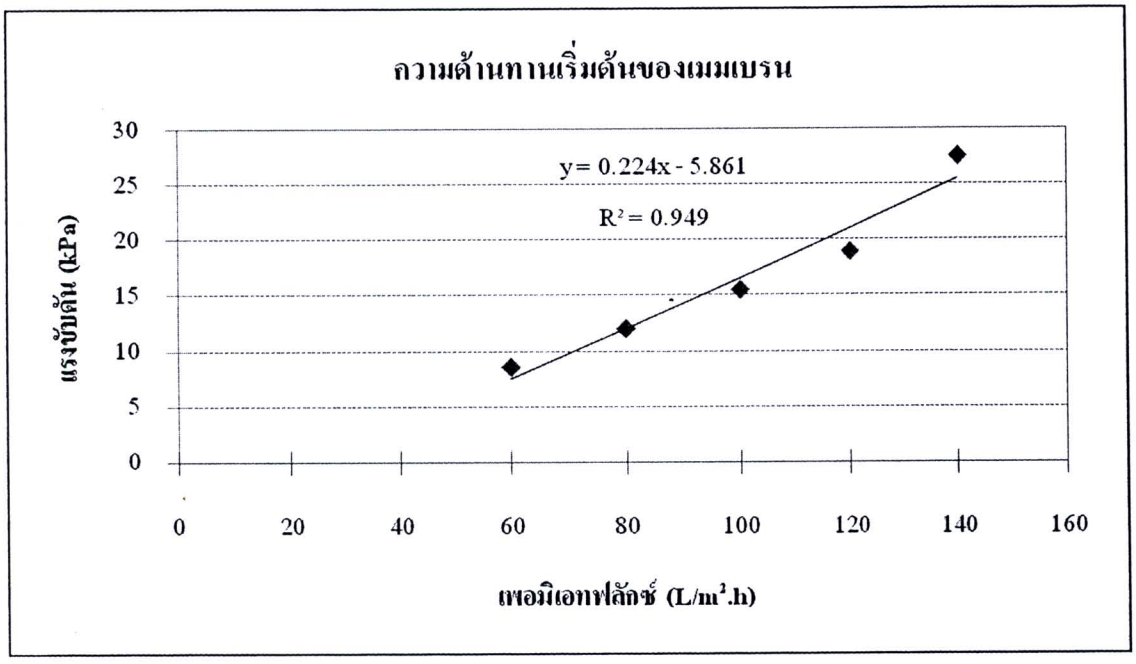
$$J = \frac{\Delta P}{\mu R_t} \qquad (4.1)$$

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

น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นจะป้อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันด้วยการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์และสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเพื่อหาสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC)

4.3.1 ศึกษาการนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน

1. ผลของเพอมิเอทฟลักซ์ต่อประสิทธิภาพการกำจัด

การแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 ในการกรองจุลสาหร่าย พบว่าสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 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 พบว่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่ใช้ในการกรองมีผลต่อค่าการกำจัดสี 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 และ

ประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ได้หลังผ่านการกรองที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 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

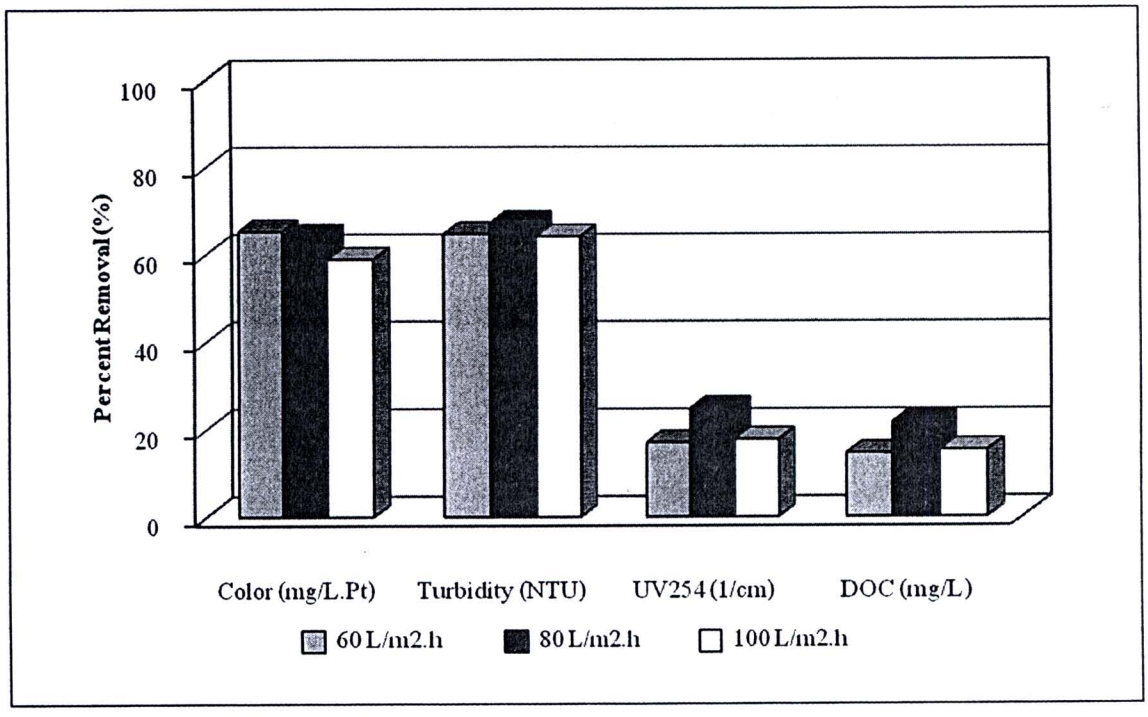
ค. ผลของเพอมิเอทฟลักซ์ต่อการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM)

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 เนื่องจากการกรองแบบไหลขวางต้องอาศัยกลไกการดูดซับสารอินทรีย์เมื่อเพิ่มเพอมิเอทฟลักซ์ที่สูงขึ้นจะสามารถผ่านรูพรุนของเยื่อกรองออกมาได้ (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) ที่ได้หลังผ่านการกรองที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ

80 L/m^2.h เท่ากับร้อยละ 22 และที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 และ 100 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 และแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 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 คุณลักษณะของน้ำที่เข้าและออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระด้วยการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท

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

ข. ผลของการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททในการกำจัดความขุ่น

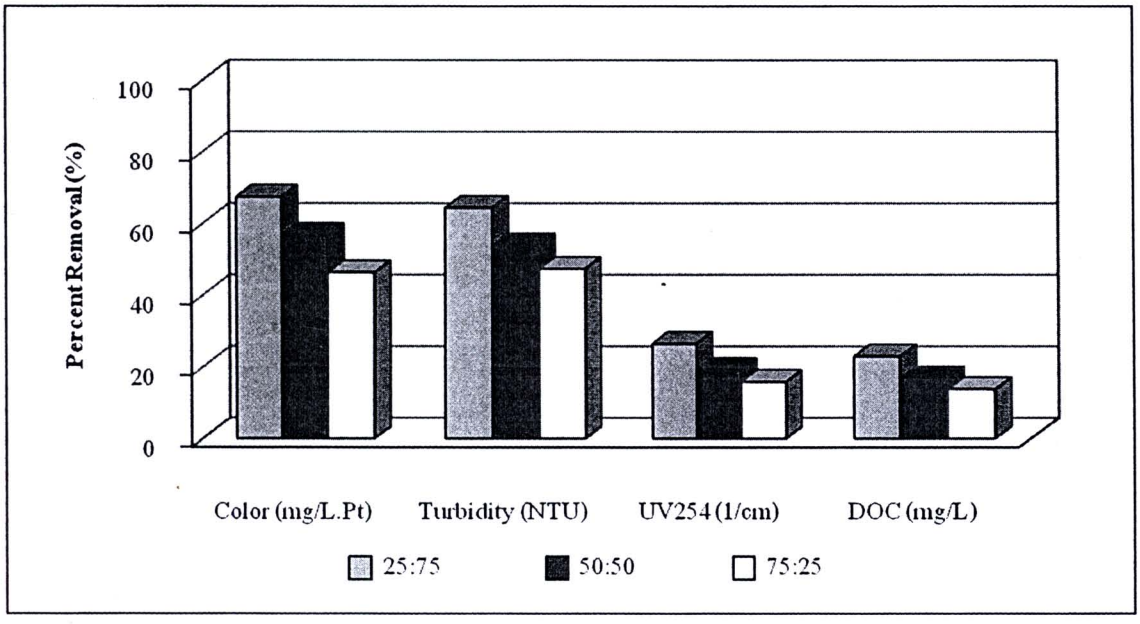
สำหรับน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระเมื่อนำมาผ่านการกรองที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 พบว่าค่าความขุ่นของน้ำที่วัดได้อยู่ในช่วง 0.19-0.31 NTU ที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 50:50 ค่าของความขุ่นอยู่ในช่วง 0.23-0.43 NTU และที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 75:25 ค่าของความขุ่นอยู่ในช่วง 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

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

4.3.2 ศึกษาการนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน

1. ผลของเพอมิเอทฟลักซ์ต่อประสิทธิภาพการกำจัด

ในการทดสอบน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน จะทำการทดลองเช่นเดียวกับการศึกษาน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ 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

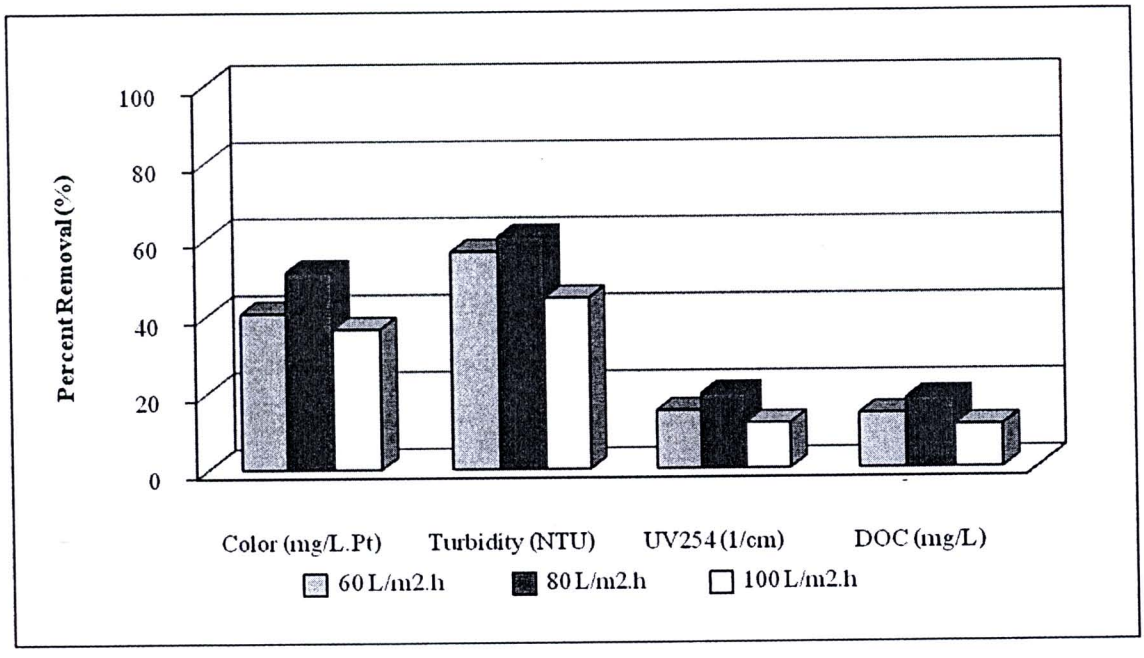
น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อผ่านการกรองพบว่าเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 L/m^2.h มีค่าของความขุ่นอยู่ในช่วง 0.26-0.43 NTU ที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 L/m^2.h ค่าของความขุ่นอยู่ในช่วง 0.24-0.37 NTU และที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 100 L/m^2.h ค่าของความขุ่นอยู่ในช่วง 0.41-0.60 NTU แสดงดังตารางที่ 4.9 และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ได้หลังผ่านการกรองที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 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

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุด

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

2. ผลของสัดส่วนเพอมิเอทต่ออีรีเทนเททต่อประสิทธิภาพการกำจัด

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

ตารางที่ 4.10 สภาวะการเดินระบบของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ด้วยการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่ออีรีเทนเทท

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

ตารางที่ 4.11 คุณลักษณะของน้ำที่เข้าและออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่ออีรีเทนเทท

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. ผลของการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททในการกำจัดสี

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

ข. ผลของการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททในการกำจัดความขุ่น

น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านการกรอง สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 พบว่าค่าความขุ่นของน้ำที่วัดได้อยู่ในช่วง 0.37-0.52 NTU ที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 50:50 พบว่าค่าความขุ่นของน้ำที่วัดได้อยู่ในช่วง 0.40-0.53 NTU และที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 75:25พบว่าค่าความขุ่นของน้ำที่วัดได้อยู่ในช่วง 0.39-0.50 NTU แสดงดังตารางที่ 4.11 และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ได้หลังผ่านการกรองที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 คิดเป็นร้อยละ 57 53 และ 52 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.10

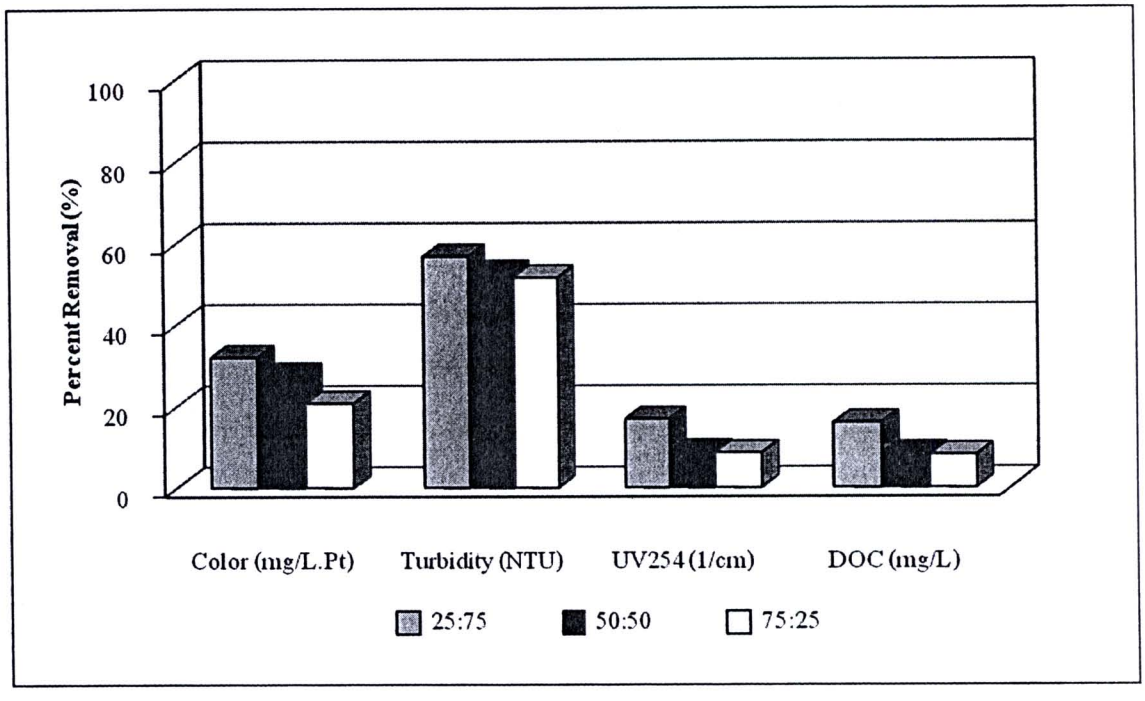
ค. ผลของการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท
ในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM)

สำหรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อผ่านระบบกรองพบว่าที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 และ 75:25 ค่าของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) หลังผ่านการกรองมีค่าสีอยู่ในช่วง 0.10-0.12 cm^{-1} แต่ที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 50:50 ค่าของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) อยู่ในช่วง 0.11-0.14 cm^{-1} ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ที่ได้หลังผ่านการกรองที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 คิดเป็นร้อยละ 17 9 และ 9 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 จะเห็นว่าสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 และ 75:25 ค่ากำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ได้มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันประสิทธิภาพการกำจัดต่างกันเป็นผลมาจากคุณภาพน้ำที่เข้าระบบกรองไม่เท่ากัน

ง. ผลของการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท
ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC)

น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองพบว่าที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 มีค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) อยู่ในช่วง 6.27-7.04 mg/L ที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 50:50 มีค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) อยู่ในช่วง 6.69-8.24 mg/L และที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 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

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

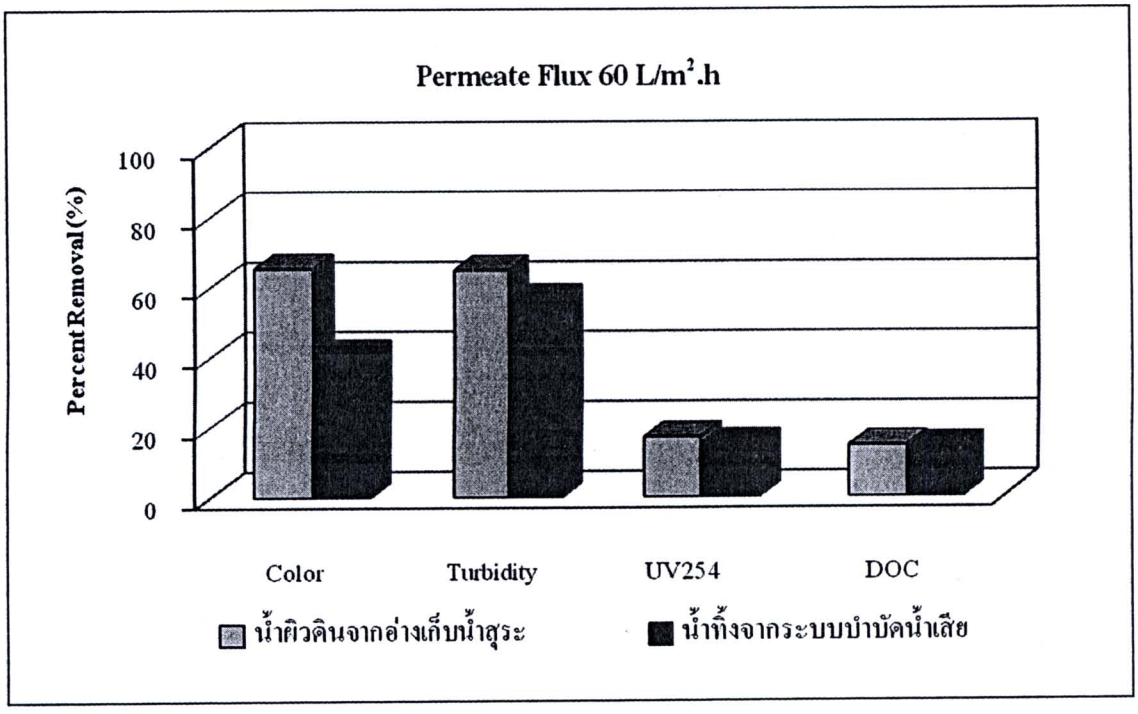
4.4 ประสิทธิภาพการกำจัด

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

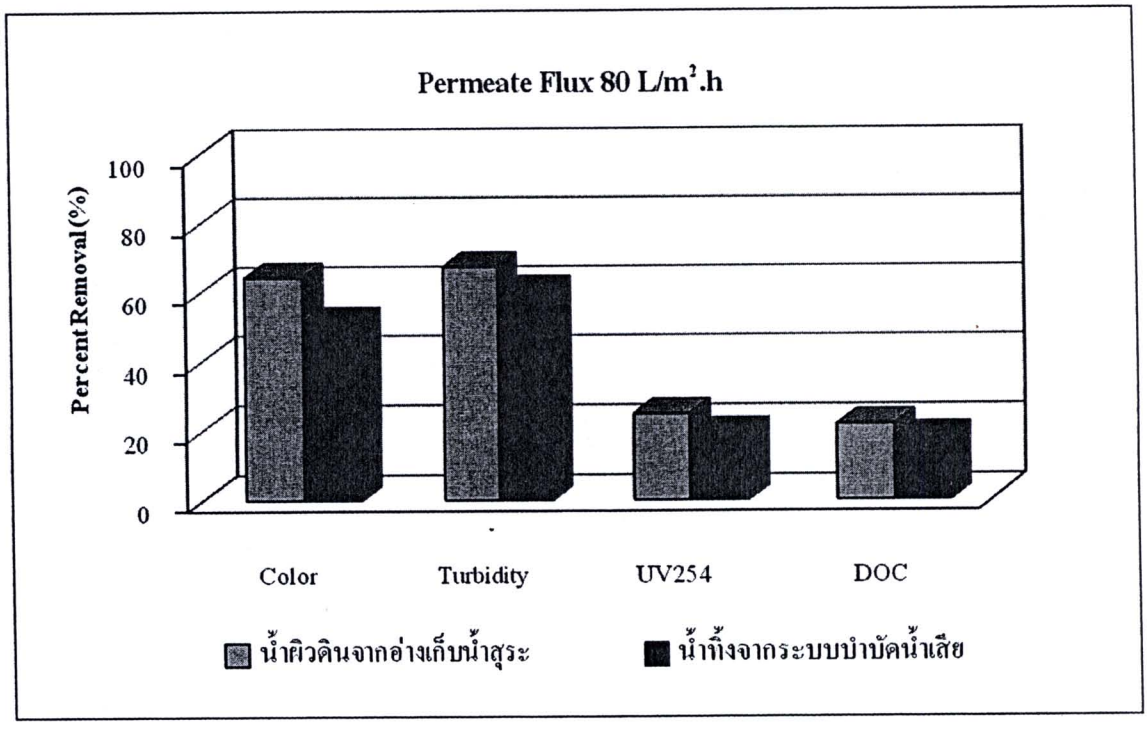
4.4.1 ผลของเพอมิเอทฟลักซ์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย

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

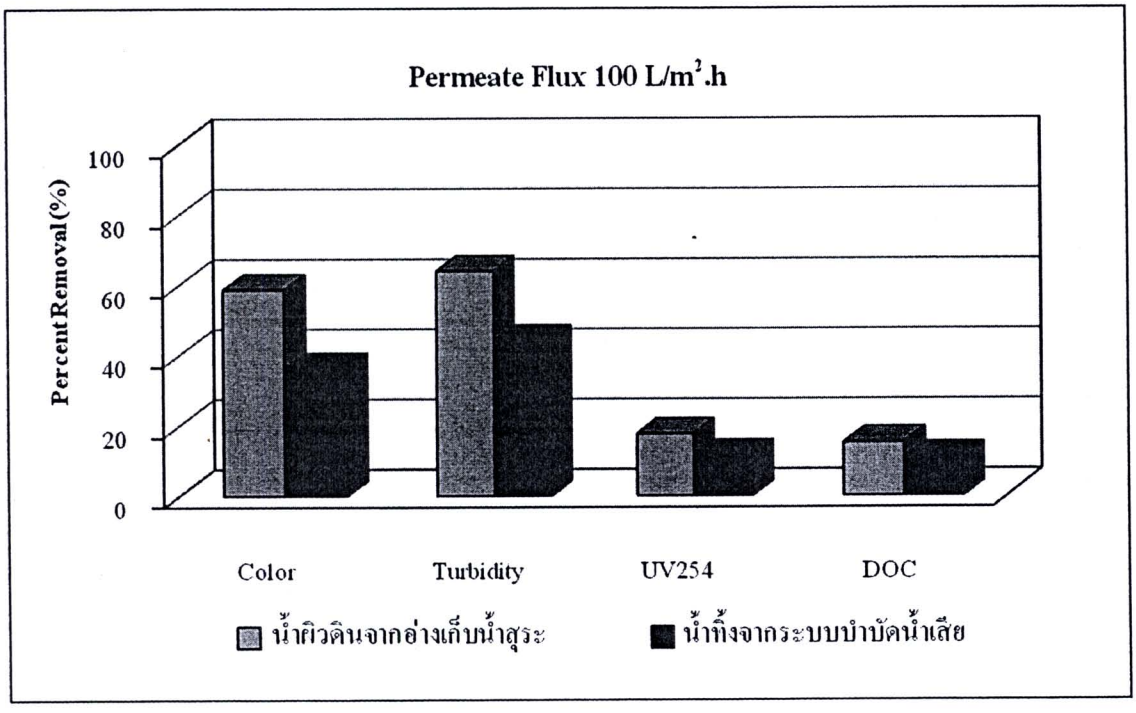
เมื่อทดสอบนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ไม่แตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะที่ทำการเดินระบบ เมื่อแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์ที่เพอมิเอท ฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) 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 นอกจากนี้ยังพบว่าเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่ทำจากโพลีซัลโฟนขนาด 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



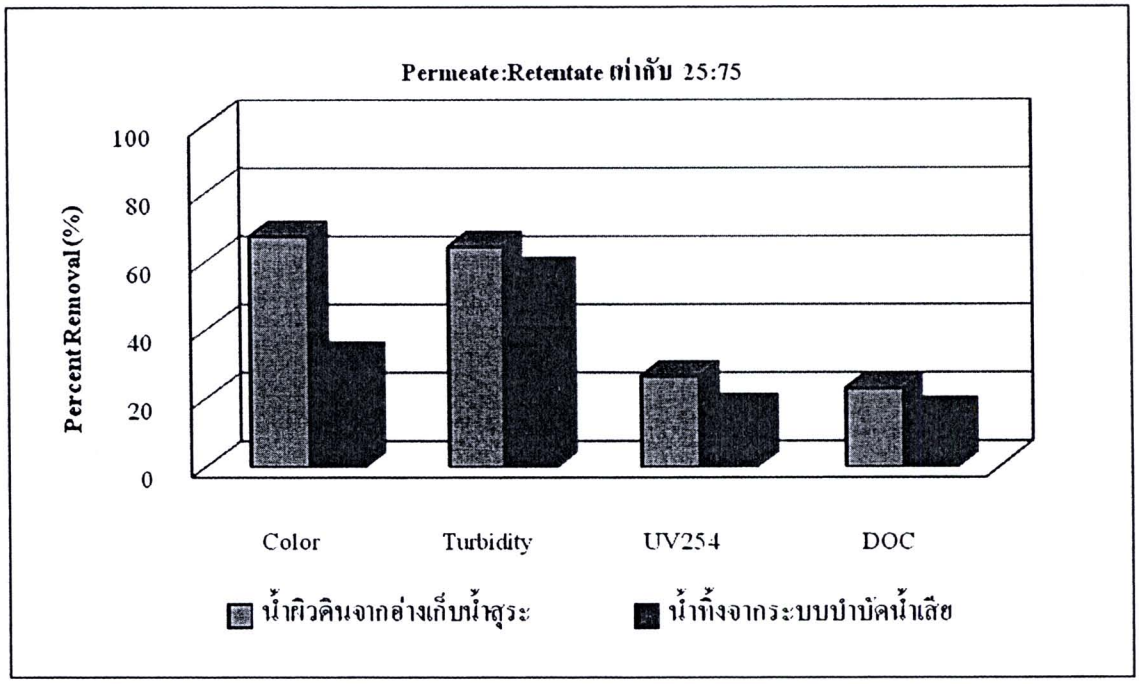
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดที่เพอมิเอทฟลักซ์ 100 L/m^2.h

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)

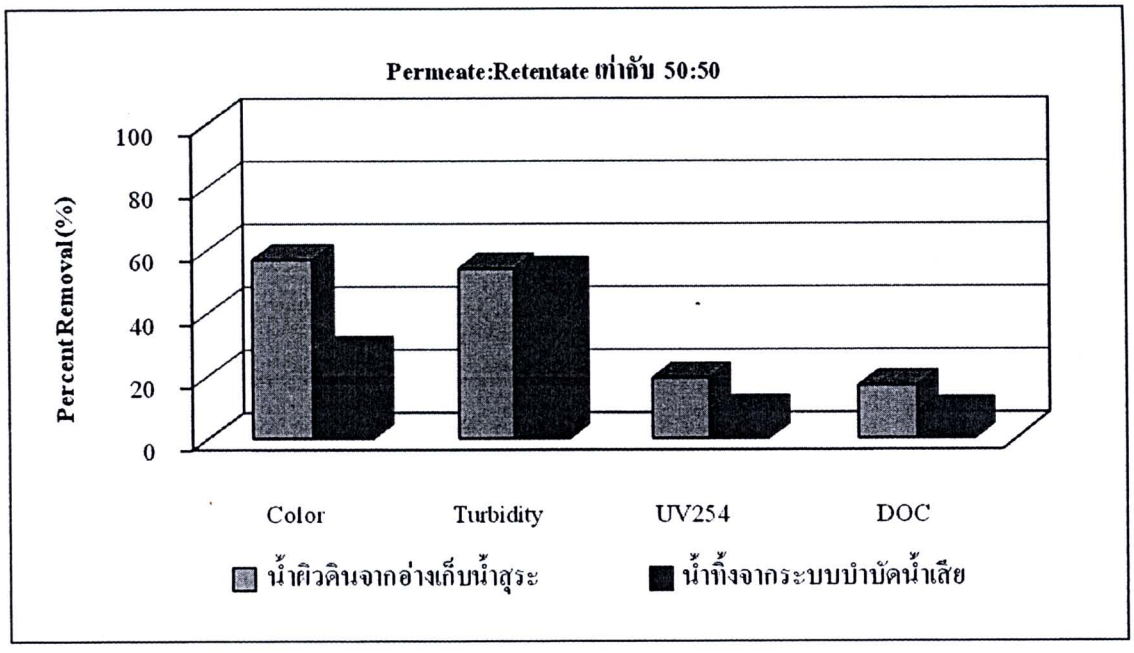
4.4.2 ผลของสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททต่อประสิทธิภาพการกำจัดของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย

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

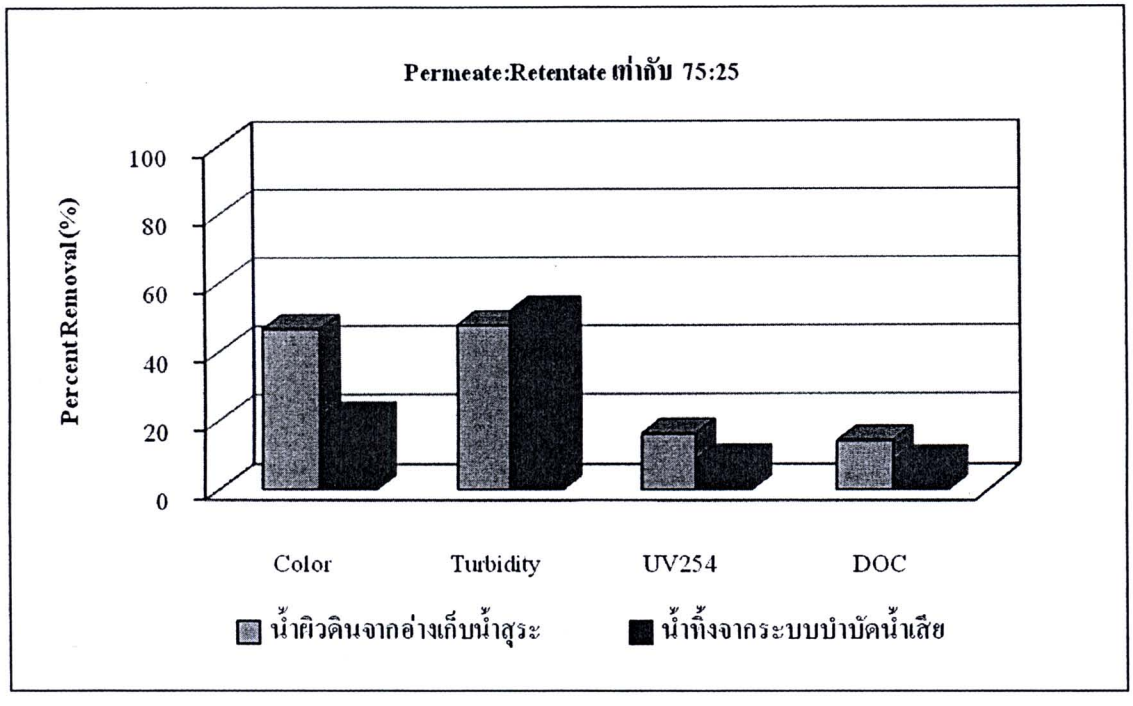
การหาเพอมิเอทฟลักซ์ที่เหมาะสมพบว่าเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดสี ความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ดังนั้นจึงนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันด้วยการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 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 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

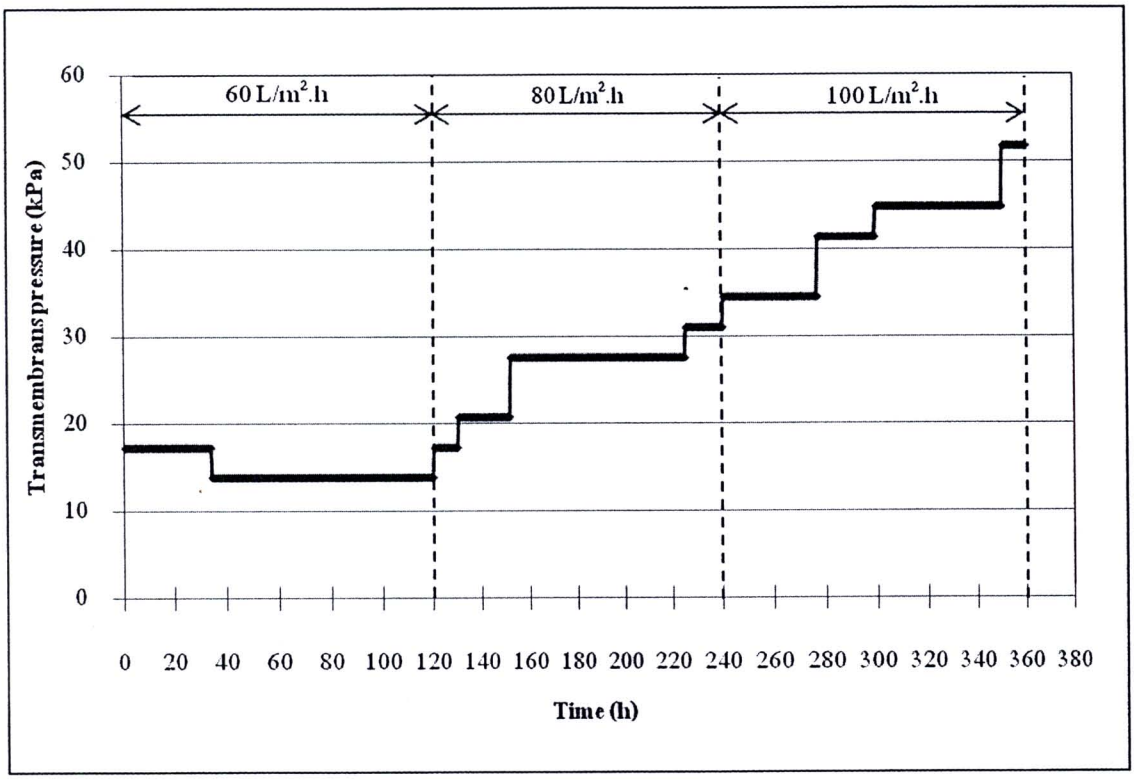
4.5 ผลของความดันในการเดินระบบ

ในการเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียโดยแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์และแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท ได้แสดงให้เห็นถึงความดันที่เกิดขึ้นจากการเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันเทียบกับระยะเวลาในการเดินระบบ

น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันด้วยสภาวะการเดินระบบดังแสดงในตารางที่ 4.12 ที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 และแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 80 และ 100 $L/m^2.h$ ซึ่งการเดินระบบในแต่ละเพอมิเอทฟลักซ์จะใช้เวลา 120 ชั่วโมง โดยการเดินระบบอย่างต่อเนื่องรวมเป็นระยะเวลา 360 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าแรงดันที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากความเข้มข้นของน้ำที่เข้าระบบกรองเกิดการอุดตันที่ผิวหน้าของเยื่อกรองเมมเบรนและความต้านทานของชั้นเค้กที่สะสมอยู่ในเยื่อกรองเมมเบรน (McCarthy et al., 2002; Cristensen et al., 2009) การแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์จะแปรผันตรงกับความดันที่เกิดขึ้น และยังส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด โดยแรงดันเพิ่มขึ้นจาก 14.77-41.59 kPa เมื่อเพอมิเอทฟลักซ์เพิ่มขึ้นจาก 60-100 $L/m^2.h$ ดังแสดงในรูปที่ 4.17

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

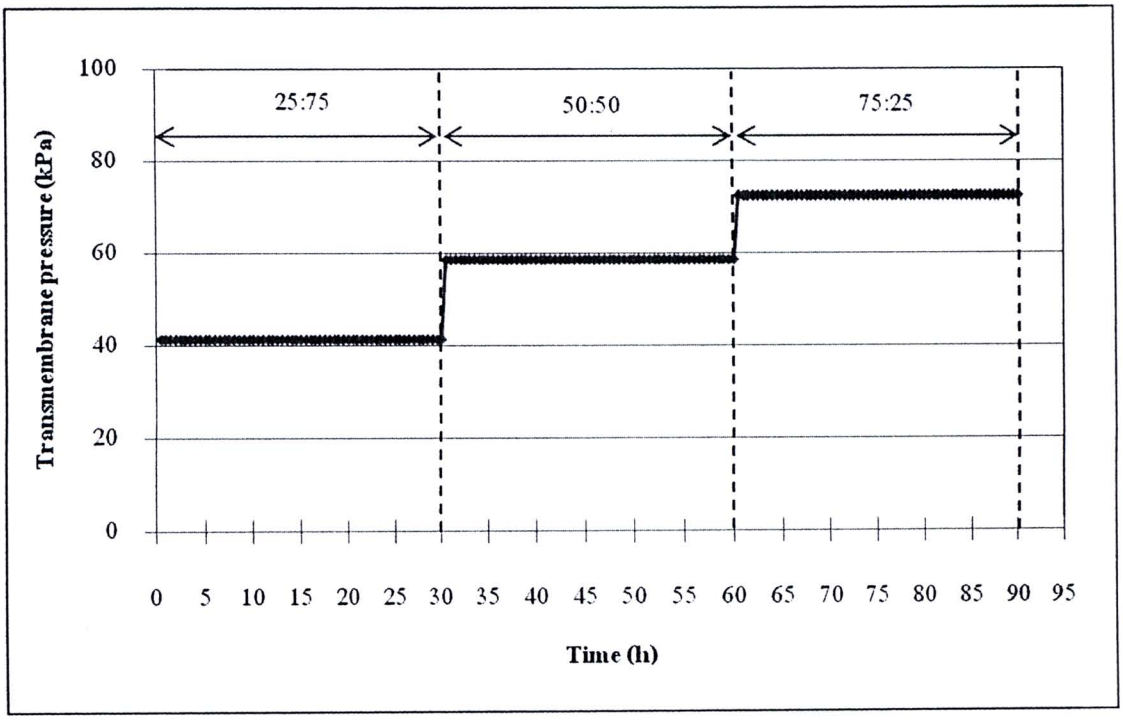


รูปที่ 4.17 ผลของเพอมิเอทฟลักซ์เทียบกับระยะเวลาในการเดินระบบของน้ำผิวดิน
จากอ่างเก็บน้ำสุระที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75

เนื่องจากในการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์พบว่า เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 L/m^2.h มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัด เมื่อต้องการหาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดจึงเดินระบบที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 L/m^2.h และแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ โดยใช้ระยะเวลาในการเดินระบบที่สัดส่วนละ 30 ชั่วโมง พบว่าแรงดันเพิ่มขึ้นจาก 41.38-72.41 kPa จากตารางที่ 4.13 จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 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 ผลของความดันต่อการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททของน้ำผิวดิน จากอ่างเก็บน้ำสุระที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 L/m^2.h

เพอมิเอท ต่อรีเทนเทท	แรงดัน (kPa)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			
		สี	ความขุ่น	สารอินทรีย์ ธรรมชาติ (NOM)	สารอินทรีย์ ละลายน้ำ (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



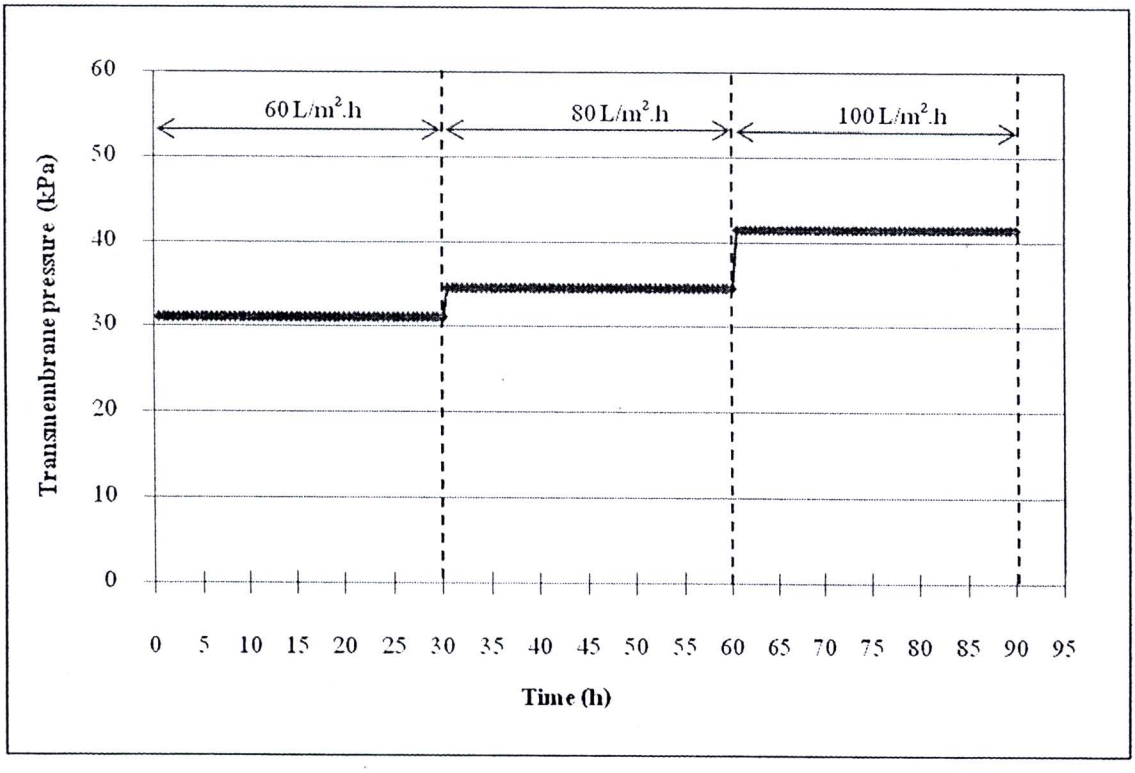
รูปที่ 4.18 ผลของสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเทียบกับระยะเวลาในการเดินระบบของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 L/m^2.h

จากการเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันด้วยน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระที่ระยะเวลา 120 ชั่วโมงในแต่ละเพอมิเอทฟลักซ์และระยะเวลา 30 ชั่วโมงในแต่ละสัดส่วน พบว่าค่าความแปรปรวนที่ระยะเวลา 120 ชั่วโมง และ 30 ชั่วโมง มีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการทดสอบเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันสำหรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียจึงเลือกใช้ระยะเวลาในการเดินระบบเท่ากับ 30 ชั่วโมง

ในการทดสอบน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียโดยการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 80 และ 100 $L/m^2.h$ พบว่าแรงดันเพิ่มขึ้นจาก 31.03-41.38 kPa ดังแสดงในรูปที่ 4.19 และพบว่าที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$ มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติและสารอินทรีย์ละลายน้ำสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลของความดันต่อการแปรผันเพอมิเอทฟลักซ์ของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 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

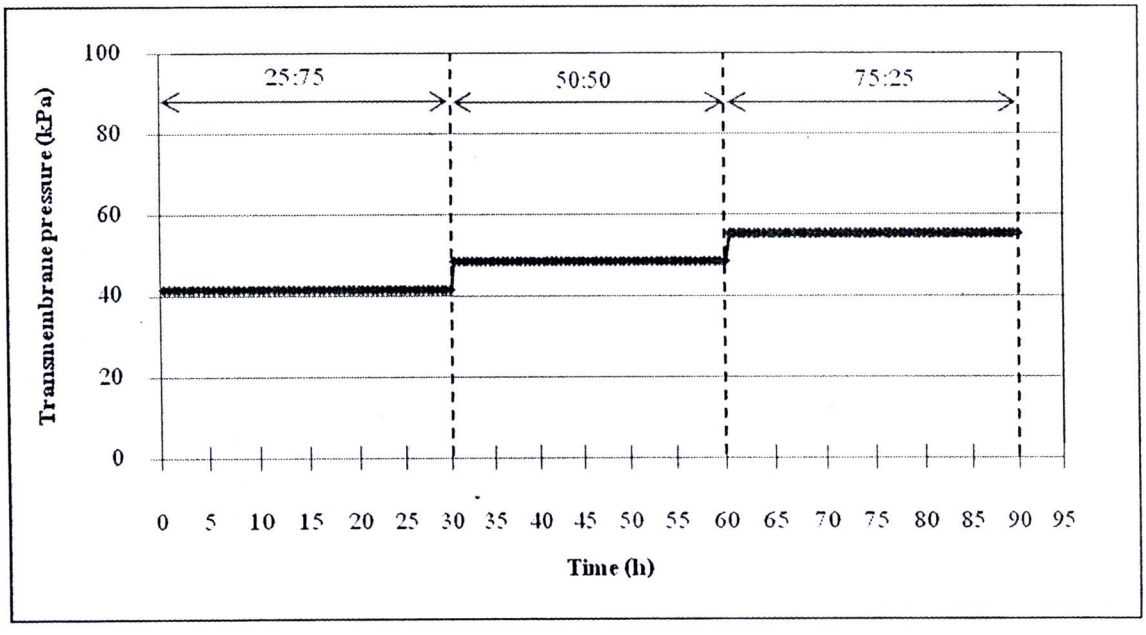


รูปที่ 4.19 ผลของเพอมิเอทฟลักซ์เทียบกับระยะเวลาในการเดินระบบของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75

จากสภาวะเพอมิเอทฟลักซ์ที่เหมาะสมข้างต้น ได้นำมาแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ พบว่าเมื่อสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเพิ่มขึ้น ทำให้ผลต่างแรงดันเพิ่มขึ้นจาก 41.38-55.17 kPa ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4.20 นอกจากนี้ที่สัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติและสารอินทรีย์ละลายน้ำ และเป็นไปในทิศทางเดียวกับการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเทท ของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ ดังแสดงในตาราง ที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลของความดันต่อการแปรผันสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$

เพอมิเอท ต่อรีเทนเทท	แรงดัน (kPa)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			
		สี	ความขุ่น	สารอินทรีย์ ธรรมชาติ (NOM)	สารอินทรีย์ ละลายน้ำ (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 ผลของสัดส่วนเพอมิเอทต่อรีเทนเททเทียบกับระยะเวลาในการเดินระบบของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่เพอมิเอทฟลักซ์เท่ากับ 80 $L/m^2.h$

4.6 การล้างทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน

การอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรนเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลให้ค่าเพอมิเอทฟลักซ์และแรงดันที่เพิ่มขึ้น โดยการล้างทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนนั้นจะประกอบไปด้วยวิธีทางกายภาพเพื่อกำจัดชั้นเค้กที่สะสมบนผิวเยื่อกรองด้วยการล้างกลับทางหรือล้างย้อน (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 ในระยะแรกเป็นการนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระมาทดสอบเพื่อหาสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสม และในระยะที่สองเป็นการนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน ก่อนเดินระบบกรองจะวัดความต้านทานเริ่มต้นของเยื่องกรองเมมเบรนไว้เพื่อเปรียบเทียบกับความต้านทานหลังจากเดินระบบ โดยมีค่าความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองเมมเบรนเท่ากับ 0.988×10^{12} m^{-1} เมื่อเดินระบบกรองด้วยน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระพบว่าความต้านทานของเยื่อกรองเมมเบรนเพิ่มขึ้นจึงทำการล้างทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนด้วย NaOH 0.02 N ดังแสดงในตารางที่ 4.16 ก่อนนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาทดสอบเดินระบบกรองต่อไป

ตารางที่ 4.16 ผลของความต้านทานที่เกิดขึ้นในการเดินระบบด้วยน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ

รายการ	Temperature (^{o}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 แบคทีเรีย และสาหร่าย การล้างล้างทำความสะอาดเยื่อกรองด้วย NaOH 0.02 N และ NaOCl 100 mg/L ลดการอุดตันที่เกิดขึ้นได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.17 ดังนั้นการล้างทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนด้วยสารเคมีจะสามารถลดความต้านทานของเยื่อกรองเมมเบรนและลดการอุดตันที่เกิดขึ้นให้สามารถนำเยื่อกรองกลับมาเดินระบบกรองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.17 ผลของความต้านทานที่เกิดขึ้นในการเดินระบบด้วยน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย

รายการ	Temperature (^{o}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 ผลจากการศึกษาพบว่าน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระเมื่อนำมาผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันสามารถลดค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ให้เหลือน้อยกว่า 4 mg/L และเหมาะสมต่อการนำมาผลิตน้ำประปา ในขณะที่การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันพบว่าไม่สามารถลดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ให้เหลือน้อยกว่า 4 mg/L ซึ่งจะก่อให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทนได้มากกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลิตร (Hans et al., 1993) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องผ่านระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไป โดยคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของแหล่งน้ำทั้ง 2 แหล่ง แสดงในตารางที่ 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) ให้มีค่าลงอีกหลังผ่านกระบวนการ โคแอกกูเลชัน สำหรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อผ่านระบบกรองพบว่าไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ให้เหลือน้อยกว่า 4 mg/L เมื่อเติมคลอรีนลงไปในน้ำอาจส่งผลต่อการเกิดสาร ไตรฮาโลมีเทนได้มากกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลิตร (Hans et al., 1993) ดังนั้นถ้าต้องการนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาใช้เพื่อการผลิตน้ำประปาจะต้องนำเยื่อกรองเมมเบรนที่มีขนาด MWCO น้อยกว่านี้มาใช้ในการกรองเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ต่อไป อย่างไรก็ตามคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันมีคุณภาพที่สูงกว่ากระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไป ซึ่งสามารนำกลับมาใหม่ได้ทั้งในการอุปโภคและบริโภคตลอดจนการนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมดังแสดงในตารางที่ 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 สำหรับนำกลับมาใช้ควบคู่หรือทดแทนกระบวนการผลิตน้ำประปา

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	ลูกบาศ์กเมตร	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

จากการนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาของน้ำดิบจากทั้ง 2 แหล่ง เท่ากับ 0.83 บาทต่อลูกบาศก์เมตร โดยไม่รวมค่าใช้จ่ายการใช้สารเคมีในการล้างทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรน เนื่องจากน้ำดิบจากทั้ง 2 แหล่งก่อนเข้าระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันจะผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและการกรองผ่านคาร์ทริด 100 ไมครอน จึงสามารถดักอนุภาคสารแขวนลอยและคอลลอยด์ที่มีขนาดใหญ่ 100 ไมครอน ก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน เพื่อลดการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรน ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและการบำรุงรักษาของการนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระมาผ่านระบบกรองเท่ากับ 1.43 บาทต่อลูกบาศก์เมตร และน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียเท่ากับ 1.73 บาทต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเปรียบเทียบค่าเดินระบบและค่าการบำรุงรักษาของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่าในการเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่สภาวะการเดินระบบเดียวกัน ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ทั้งทางด้านการบำรุงรักษาและการเดินระบบไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.23 แต่มีแตกต่างกันในขั้นตอนการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ต้องใช้สารเคมีในการตกตะกอนที่มากกว่าเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำที่เข้าระบบกรองให้มีความใกล้เคียงกับน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ โดยแสดงรายการคำนวณไว้ในภาคผนวก ง

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

ตารางที่ 4.24 ค่าใช้จ่ายของการผลิตน้ำสะอาดที่ได้จากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน

รายการ	น้ำผิวดิน จากอ่างเก็บน้ำสุระ	น้ำทิ้ง จากระบบบำบัดน้ำเสีย
การบำรุงรักษา	0.83	0.83
ค่าเดินระบบ	0.60	0.90
รวมค่าเดินระบบและค่าการบำรุงรักษา	1.43	1.73

หมายเหตุ : หน่วยของค่าการผลิตน้ำเท่ากับบาทต่อลูกบาศก์เมตร