



ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำดิบที่ใช้ในงานวิจัย

4.1.1 น้ำดิบจากคลองประปาสามเสน

จากผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของน้ำดิบในคลองประปาบริเวณโรงกรองน้ำสามเสนของฝ่ายโรงงานผลิตน้ำสามเสน-ธนบุรี ประจำเดือนมกราคม-ธันวาคม 2543 ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์ควบคุมคุณภาพน้ำดิบของการประปานครหลวง และจากรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงค่าพารามิเตอร์บางพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการทำงานของกระบวนการ NF ในการกำจัด NOM ออกจากน้ำ โดยจะเห็นได้ว่าน้ำดิบมีค่าพีเอช และอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ตลอดปี โดยจะมีค่าประมาณ 7.54 และ 28.9°C ตามลำดับ แต่จะมีค่าความขุ่นและค่าความนำไฟฟ้าที่แปรผันไปตามฤดูกาล โดยในเดือนพฤษภาคมและมิถุนายน ซึ่งเป็นเดือนที่ทำการเก็บตัวอย่างนำมาใช้ในงานวิจัย ค่าความขุ่นจะมีค่าสูงที่สุดในรอบปี พ.ศ 2543 คือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 116 และ 118 NTU. ตามลำดับ ซึ่งจากการที่ NOM ที่อยู่ในแหล่งน้ำผิวดินส่วนใหญ่จะถูกชะจากดินลงสู่แหล่งน้ำ และเป็นตัวการที่ก่อให้เกิดความขุ่น และสารแขวนลอยต่าง ๆ ในน้ำ รวมถึงทำให้สีของน้ำดิบเป็นสีเหลืองถึงน้ำตาล ทำให้สามารถคาดได้ว่า ประมวลของ NOM ในน้ำช่วงเดือนที่ทำการเก็บตัวอย่างน่าจะมีค่าสูงที่สุดในปี 2543 ด้วย ส่วนค่าความนำไฟฟ้าในช่วงเดือนพฤษภาคม และมิถุนายนจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 234 และ 223 $\mu S/cm$ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยตลอดปี คือ 241 $\mu S/cm$

4.1.2 น้ำดิบจากเขื่อนวชิราลงกรณ์

ตารางแสดงคุณภาพน้ำดิบในเขื่อนวชิราลงกรณ์ ที่ระดับความลึก 3 เมตร ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยการประปานครหลวง ระหว่างเดือน ตุลาคม 2542 ถึง กันยายน 2543 แสดงในตารางที่ 4.2 และจากรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงค่าพารามิเตอร์บางพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการทำงานของกระบวนการ NF ในการกำจัด NOM จะเห็นว่าค่าพีเอช และอุณหภูมิของน้ำมีค่าค่อนข้างคงที่เช่นเดียวกับน้ำในคลองประปาสามเสน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.68 และ 25.4 °C ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความนำไฟฟ้า

ตารางที่ 4.1 คุณภาพน้ำดิบคลองประปาบริเวณหน้าโรงกรองน้ำสามเสน ตลอดปี 2543

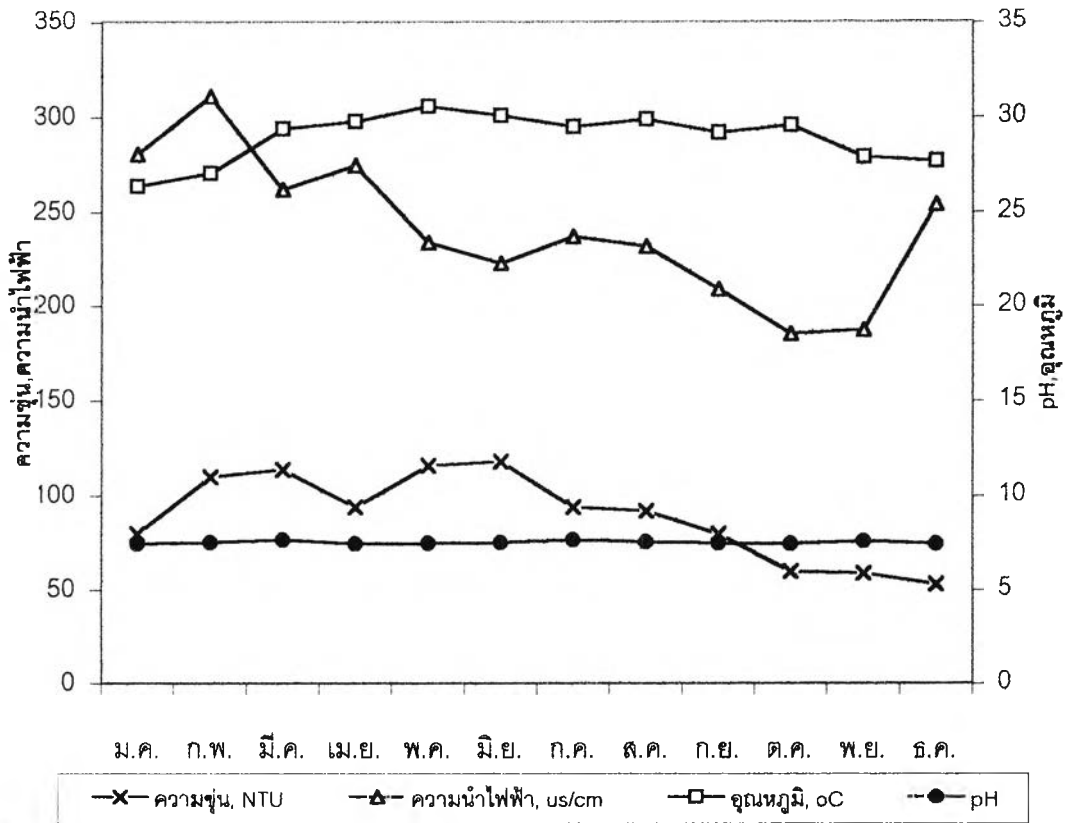
พารามิเตอร์	เกณฑ์ควบคุม	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ความขุ่น (NTU.)	80 ถึง 120	80	110	114	94	116	118	94	92	80	60	59	53
ความเป็นค่าंग (mg/L)	-	95	100	95	84	78	72	87	82	80	77	78	97
พีเอช	5 ถึง 9	7.47	7.55	7.69	7.46	7.49	7.55	7.66	7.58	7.50	7.45	7.59	7.45
อุณหภูมิ (oC)	ธรรมชาติ+3	26.4	27.1	29.4	29.8	30.6	30.1	29.5	29.9	29.2	29.6	27.9	27.7
ความนำไฟฟ้า (us/cm)	-	281	311	262	275	234	223	237	232	209	185	187	254
ของแข็งแขวนลอย (mg/L)	-	56	80	83	63	69	67	64	66	53	35	39	37
ของแข็งทั้งหมด (mg/L)	-	284	279	273	304	258	280	239	245	228	160	159	244
ออกซิเจนคอนซุม (mg/L)	-	5.50	5.06	3.16	3.71	4.08	4.35	4.16	4.09	4.09	4.13	4.47	4.94
ดี.ไอ. (mg/L)	ไม่ต่ำกว่า 4.0	4.8	4.9	5.5	5.0	4.7	5.1	5.3	5.2	5.3	4.9	5.2	4.6

หมายเหตุ : ข้อมูลจากรายงานการผลิต-การจ่ายน้ำ การใช้สารเคมี การใช้กระแสไฟฟ้า และคุณภาพน้ำประปา ประจำเดือน มกราคม-ธันวาคม (2543) โดย ฝ่ายโรงงานผลิตน้ำสามเสน-ธนบุรี , ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ในแต่ละเดือน

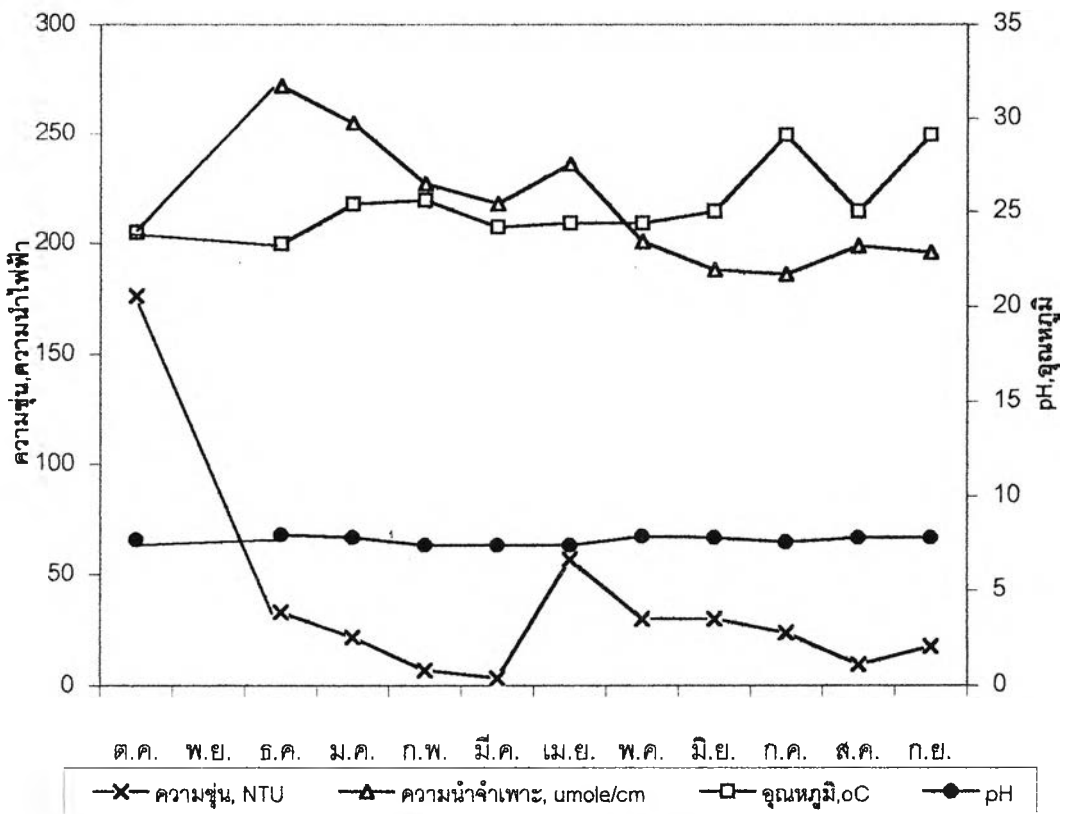
ตารางที่ 4.2 คุณภาพน้ำดิบเขื่อนวชิราลงกรณ์ ที่ระดับ 3 เมตร

พารามิเตอร์	หน่วย	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ต.ค.	ก.ย.	สูงสุด	ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	มาตรฐานน้ำผิวดิน ประเภท 3
		2542	2542	2542	2543	2543	2543	2543	2543	2543	2543	2543	2543				
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	23.9	-	23.3	25.4	25.6	24.2	24.4	24.4	25.0	29.1	25.0	29.1	29.1	23.3	25.4	-
เวลา กลับ	น.	10.55	-	11.09	11.35	12.10	12.51	12.20	12.15	12.45	13.45	12.18	12.00	-	-	-	-
ความขุ่น	NTU.	176	-	33	22	7	3.6	57	30	30	24	9.6	17.8	176	3.6	36	-
ความเป็นกรด-ด่าง		7.67	-	7.95	7.82	7.40	7.41	7.41	7.86	7.79	7.55	7.82	7.82	7.95	7.40	7.68	5.0 ถึง 9.0
ความนำไฟฟ้า	umole/cm	205	-	272	255	227	218	236	201	188	186	199	196	272	186	217	-
ความเป็นด่างทั้งหมด	mg/L	90	-	124	118	110	102	106	90	82	-	90	92	124	82	100	-
ความเป็นด่างฟีนอลทาลีน	mg/L	0	-	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	-
สารละลาย	mg/L	123	-	163	153	136	131	142	121	113	-	120	118	163	113	132	-
ความกระด้างทั้งหมด	mg/L	98	-	144	136	110	102	104	89	86	-	100	90	144	86	106	-
ความกระด้างชั่วคราว	mg/L	90	-	124	118	110	102	104	89	82	-	90	92	124	82	100	-
ความกระด้างถาวร	mg/L	8	-	20	18	0	0	0	0	4	-	10	10	20	0	7	-
ออกซิเจนคอนจุ่ม	mg/L	3.84	1.04	0.48	1.76	1.48	2.08	2.32	2.32	1.44	-	1.07	0.91	3.84	0.48	1.70	-
เหล็ก	mg/L	0.24	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.07	0.02	0.00	-	0.02	0.00	0.24	0	0.04	-
แมงกานีส	mg/L	0.02	0.00	0.01	0.01	0.04	0.01	0.00	0.01	0.00	-	0.00	0.00	0.04	0	0.01	1.0
ไนโตรเจน	mg/L	-	-	0.745	0.652	0.556	0.510	0.698	0.412	0.416	-	0.408	0.423	0.745	0.408	0.536	-
ฟอสฟอรัส	mg/L	-	-	0.000	0.011	0.020	0.014	0.062	0.024	0.032	-	0.009	0.019	0.062	0.000	0.021	-
แคลเซียม	mg/L	26.4	-	34.4	35.2	28.8	28.0	28.0	24.8	20.8	-	28.2	28.0	35.2	20.8	28.3	-
แมกนีเซียม	mg/L	7.70	-	13.90	10.08	9.12	7.68	8.16	6.48	8.16	-	6.72	7.68	13.9	6.48	8.57	-
ดี.โอ. (ภาคสนาม)	mg/L	5.80	5.85	6.44	6.49	5.26	4.63	3.54	5.70	6.62	5.95	6.27	6.69	6.69	3.54	5.77	4.0
CO ₂ อิสระ (ภาคสนาม)	mg/L	4.70	200	4.66	4.66	3.73	4.66	8.40	5.60	5.60	5.60	9.3	8.4	9.33	2.00	5.61	-
สาหร่าย	unit/100mL	400	480	1160	880	1440	1400	880	320	105	-	140	-	1440	105	721	-

หมายเหตุ : ข้อมูลได้จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในเขื่อนวชิราลงกรณ์ของการประปานครหลวง



รูปที่ 4.1 พารามิเตอร์แสดงคุณภาพน้ำคลองประปาตามเสนบางพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการกำจัด NOM โดย NF เมมเบรน (ตั้งแต่เดือน ม.ค.43-ธ.ค.43)



รูปที่ 4.2 พารามิเตอร์แสดงคุณภาพน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์บางพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการกำจัด NOM โดย NF เมมเบรน (ตั้งแต่เดือน ต.ค.42-ก.ย.43)

และค่าความขุ่นมีค่าแปรผันไปตามฤดูกาล โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $217 \mu\text{mol}/\text{cm}$ และ 36 NTU. ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าความขุ่นกับน้ำในคลองประปาสามเสนจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีค่าน้อยกว่ามาก ทำให้น้ำในเขื่อนวชิราลงกรณมีปริมาณ NOM น้อยกว่าน้ำในคลองประปาสามเสน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ในรูปของค่า UV260 และค่า TOC

ตารางที่ 4.3 คุณภาพของน้ำดิบที่ใช้ในงานวิจัย

แหล่งน้ำ	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	ความนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	UV260 (cm^{-1})	TOC (mg/L)
คลองประปาสามเสน	8.11	27.9	219	0.2738	4.87
เขื่อนวชิราลงกรณ	8.08	28.2	194	0.0295	2.23

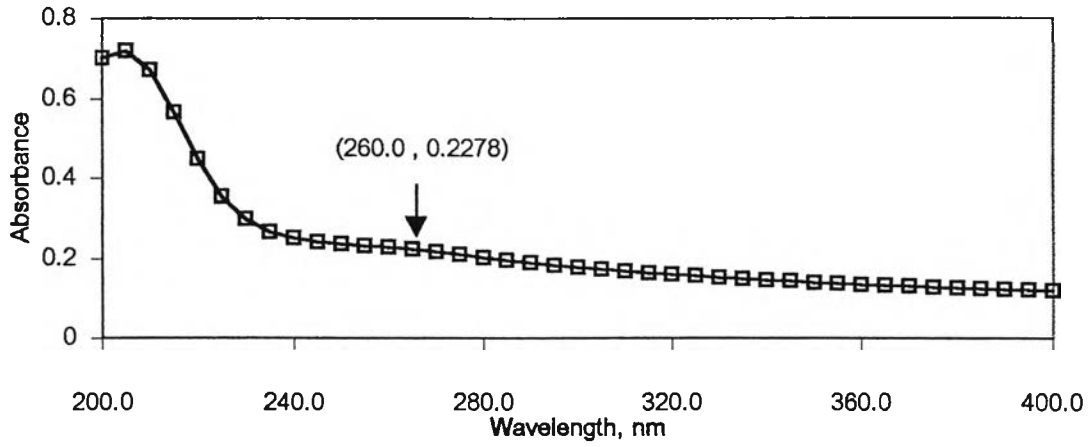
หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ทำการวัดจำนวน 15 ข้อมูล

ผลการตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสง UV ในช่วงความยาวคลื่น 200-400 nm ของน้ำจากคลองประปาสามเสน ในการเก็บน้ำตัวอย่าง 2 ครั้ง และน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้ตรวจสอบหาสารบิกวน (APHA, AWWA, WPCF (1995)) แสดงในรูปที่ 4.3 จากรูปจะเห็นว่า ค่าการดูดกลืนแสง UV ของน้ำตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวคลื่นมีค่าลดลง โดยไม่มีค่าความยาวคลื่นใดที่ค่าการดูดกลืนแสง UV มีแนวโน้มผิดปกติไปจากนี้ แสดงให้เห็นว่าในน้ำดิบจากทั้งสองแหล่ง ไม่มีสารที่เป็นตัวรบกวนการดูดกลืนแสง UV260 ของ NOM ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่า UV 260 เป็นตัวแทนปริมาณของ NOM ในแหล่งน้ำทั้งสองได้อย่างเหมาะสม

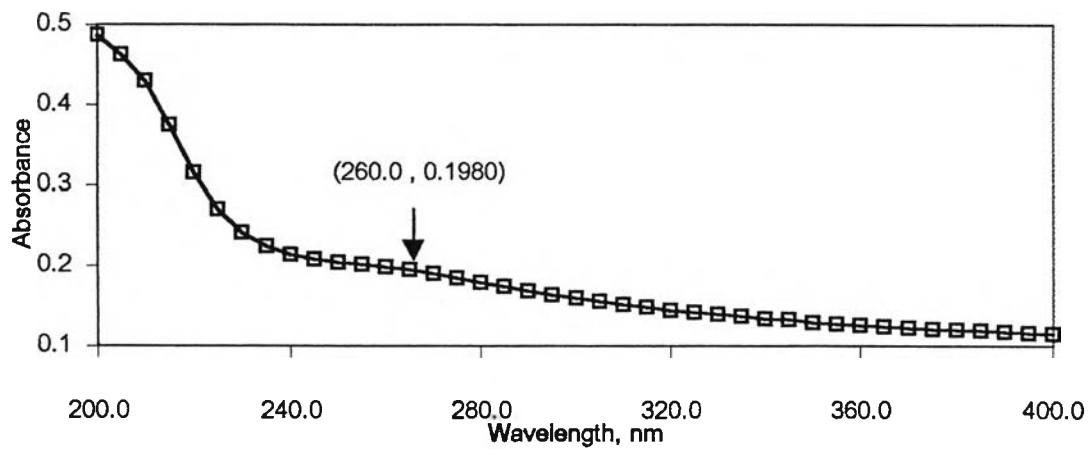
4.2 ผลของค่าความดันที่ใช้

4.2.1 ผลของค่าความดันต่อค่าฟลักซ์

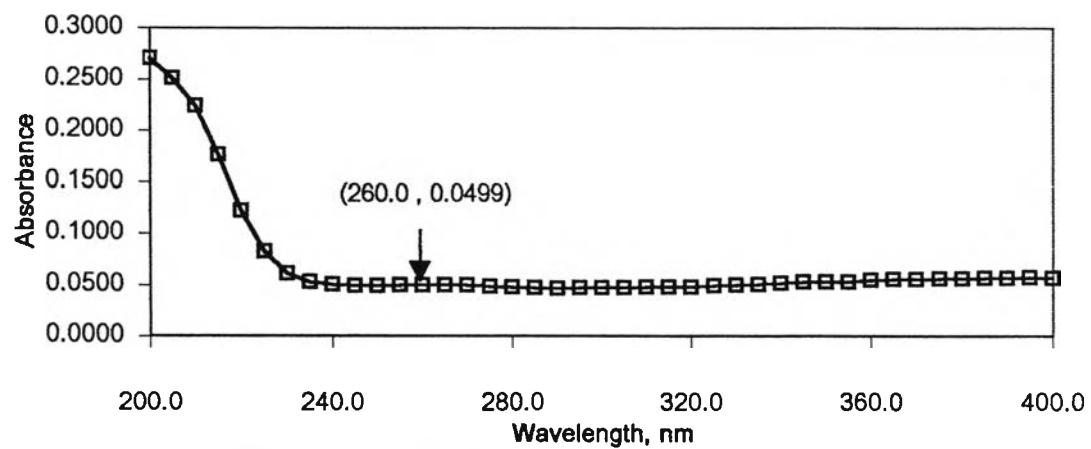
ผลของค่าความดันที่ใช้ต่อค่า Permeate ฟลักซ์ สำหรับการทดลองกับน้ำจากคลองประปาสามเสน และน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ ของเมมเบรนทั้ง 3 ชนิด แสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ โดยในช่วงของค่าความดันที่ใช้ คือ 1-5 bar และค่า Crossflow Velocity 0.7 m/s สำหรับน้ำจากคลองประปาสามเสน เมมเบรนชนิด NTR-7410 ให้ค่าฟลักซ์มากที่สุด เท่ากับ $50.66-309.52 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ ส่วนเมมเบรนชนิด NTR-729HF ให้ค่าฟลักซ์ $4.75-29.19 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ และเมมเบรนชนิด ES-10 ให้ค่าฟลักซ์น้อยที่สุด คือ $1.62-9.94 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ สอดคล้องกับผลของการดำเนินระบบกับน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ โดยค่าฟลักซ์ของเมมเบรนทั้ง 3 ชนิด คือ NTR-7410 NTR-729HF และ ES-



รูปที่ 4.3 ก. น้ำคลองประปาสามเสนที่ทำการเก็บครั้งที่ 1

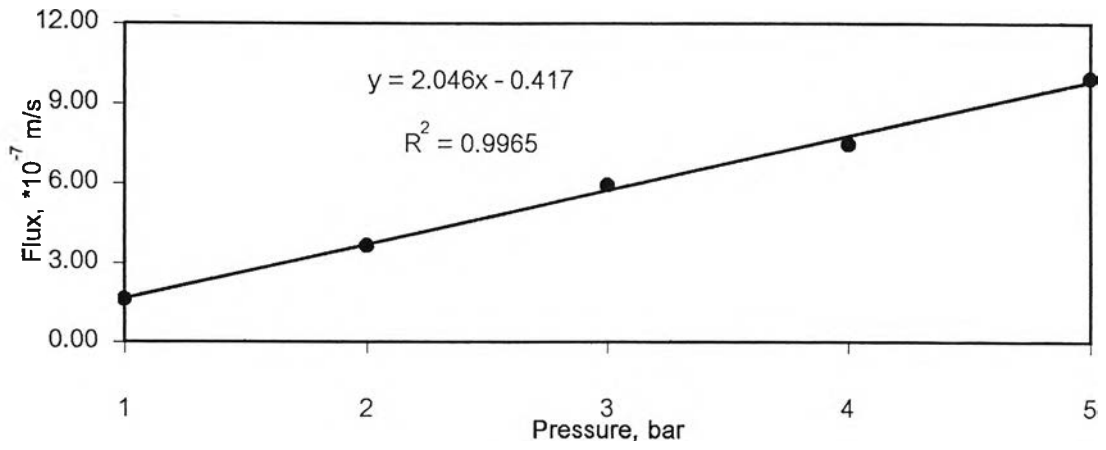


รูปที่ 4.3 ข. น้ำคลองประปาสามเสนที่ทำการเก็บครั้งที่ 2

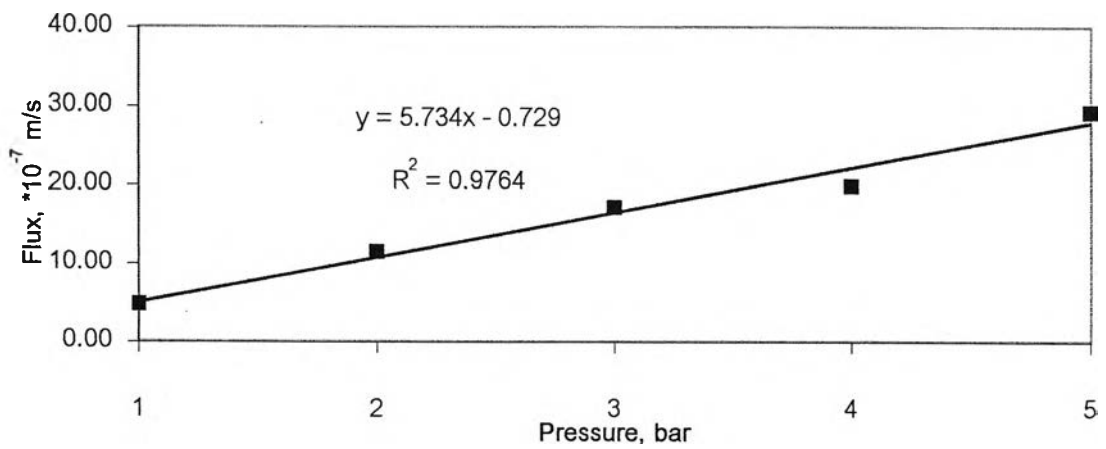


รูปที่ 4.3 ค. น้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์

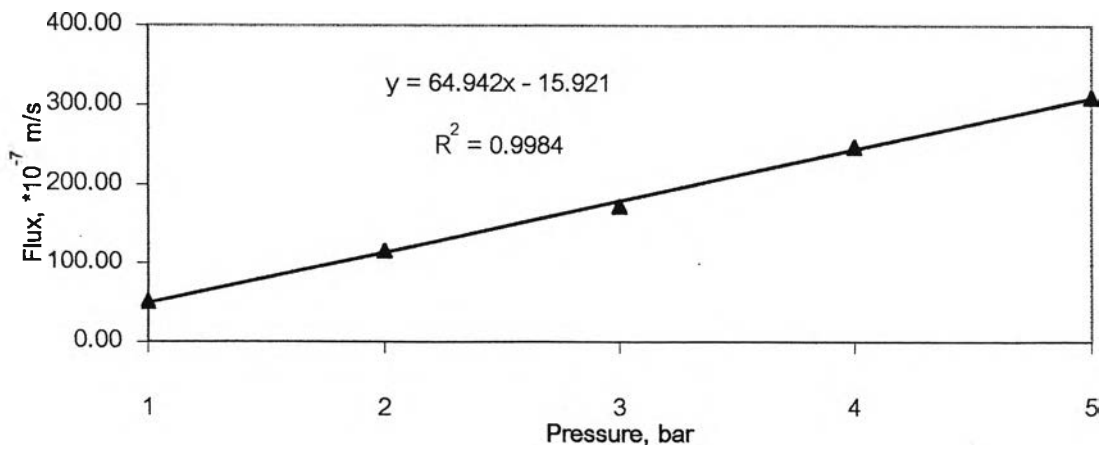
รูปที่ 4.3 ค่าการดูดกลืนแสง UV ในช่วงความยาวคลื่น 200-400 nm



รูปที่ 4.4 ก. เมมเบรนชนิด ES-10

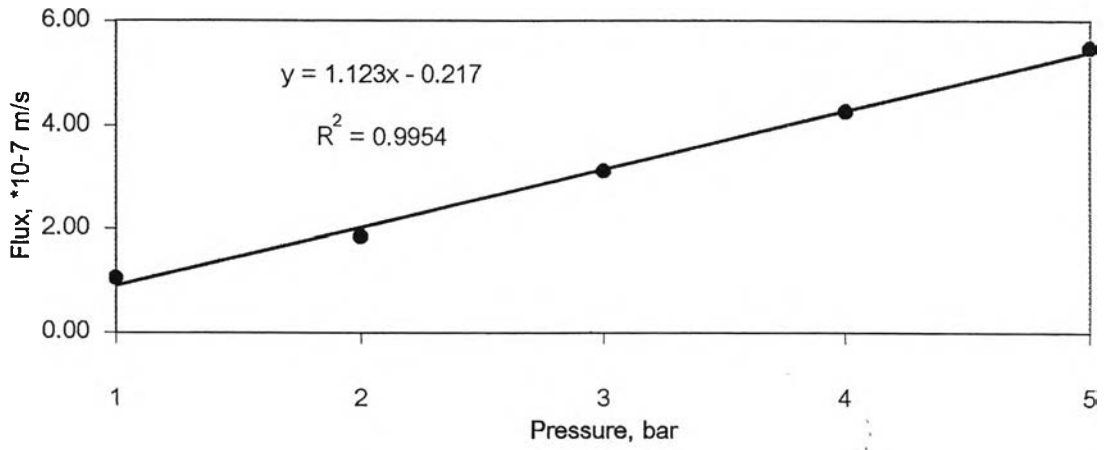


รูปที่ 4.4 ข. เมมเบรนชนิด NTR-729HF

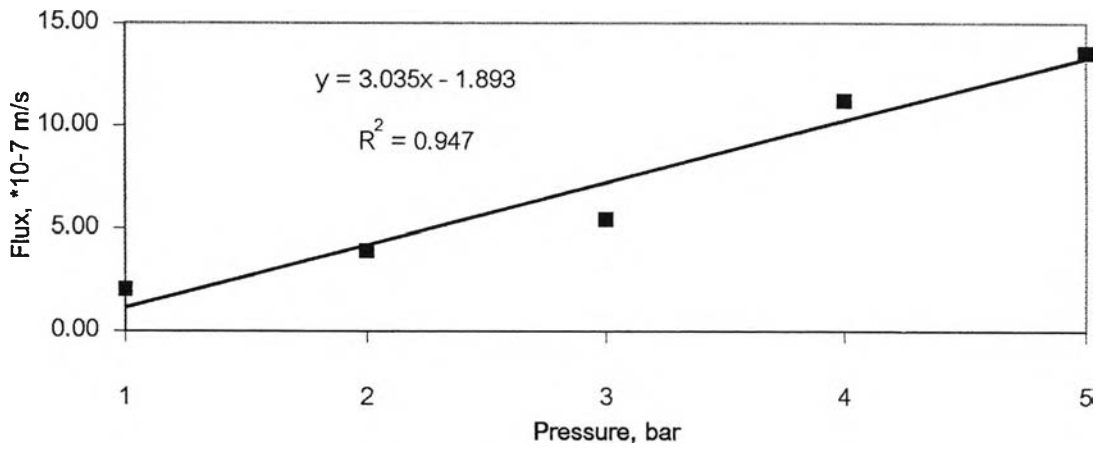


รูปที่ 4.4 ค. เมมเบรนชนิด NTR-7410

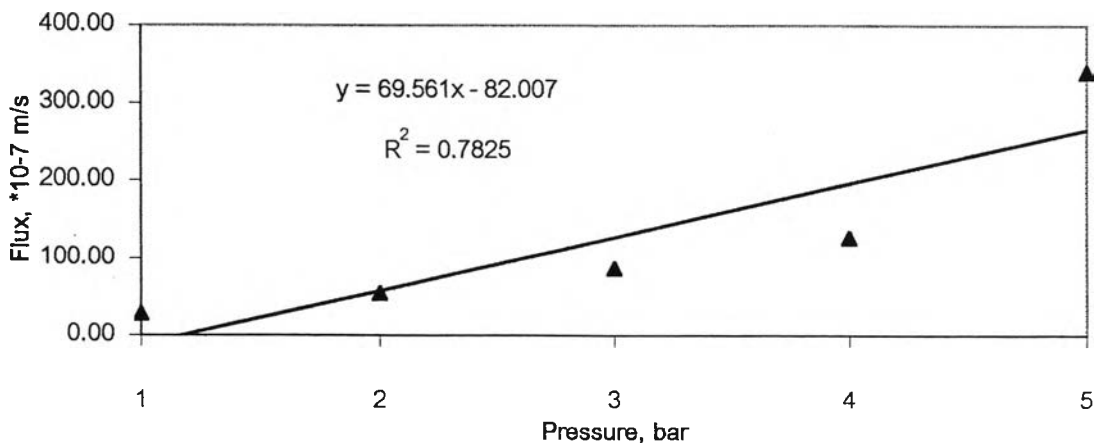
รูปที่ 4.4 ผลของความดันต่อค่าฟลักซ์ในการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสน



รูปที่ 4.5 ก. เมมเบรนชนิด ES-10



รูปที่ 4.5 ข. เมมเบรนชนิด NTR-729HF



รูปที่ 4.5 ค. เมมเบรนชนิด NTR-7410

รูปที่ 4.5 ผลของความดันต่อค่าฟลักซ์ในการดำเนินระบบกับน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์

10 มีค่าเท่ากับ $27.42-339.03 \cdot 10^{-7}$ m/s $2.03-13.54 \cdot 10^{-7}$ m/s และ $1.06-5.47 \cdot 10^{-7}$ m/s ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าฟลักซ์ของเมมเบรนทั้ง 3 ชนิด มีค่าเพิ่มขึ้นตามความดันที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการ NF เป็นกระบวนการเมมเบรนที่ใช้ความดันระหว่างเยื่อแผ่นเป็นแรงขับเคลื่อน จึงทำให้ค่าฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้น ตามความดันที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการของแบบจำลองการละลายการแพร่ ซึ่งเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์กับความดันที่ใช้ ดังที่แสดงในสมการที่ 4.1 คือ

$$F_w = K_w[\Delta P - \Delta \pi] \quad (4.1)$$

จากสมการจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มค่าความดัน (ΔP) จะทำให้ค่า Permeate ฟลักซ์ (F_w) มีค่าเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของค่าฟลักซ์ นี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความดันที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับผลที่ได้จากงานวิจัยของ Schirg และ Widmer (1992) และ Visvanathan และคณะ (1998) และจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่เพิ่มขึ้นกับค่าฟลักซ์ (รูปที่ 4.4 และ 4.5) จะสามารถหาค่า K_w ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{-s-bar}$) ได้จากการหาค่าความชันของกราฟ โดยค่า K_w ของเมมเบรนชนิด NTR-7410 NTR-729HF และ ES-10 ของน้ำจากคลองประปาสามเสนมีค่าเท่ากับ $64.942 \cdot 10^{-7}$ $5.734 \cdot 10^{-7}$ และ $2.046 \cdot 10^{-7}$ $\text{m}^3/\text{m}^2\text{-s-bar}$ ตามลำดับ และของน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์มีค่าเท่ากับ $69.561 \cdot 10^{-7}$ $3.035 \cdot 10^{-7}$ และ $1.123 \cdot 10^{-7}$ $\text{m}^3/\text{m}^2\text{-s-bar}$ ตามลำดับ โดยจากค่า K_w ที่ได้สามารถเขียนเป็นสมการของค่าฟลักซ์ของแบบจำลองการละลาย-การแพร่ ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.4

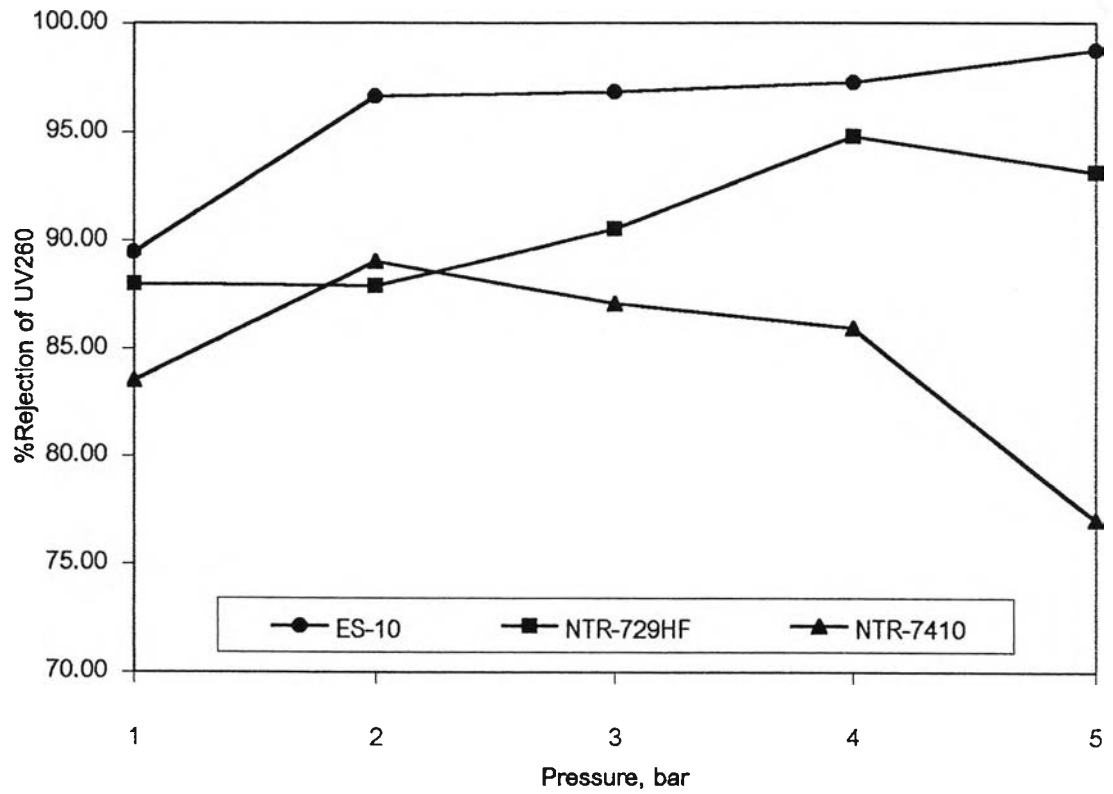
ตารางที่ 4.4 สมการของแบบจำลองการละลาย-การแพร่ ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์และความดันที่ใช้

แหล่งน้ำ	ชนิดเมมเบรน	สมการ	R ²
คลองประปาสามเสน	ES-10	$F_w = 2.046 \cdot 10^{-7}[\Delta P - \Delta \pi]$	0.9965
	NTR-729HF	$F_w = 5.734 \cdot 10^{-7}[\Delta P - \Delta \pi]$	0.9764
	NTR-7410	$F_w = 64.942 \cdot 10^{-7}[\Delta P - \Delta \pi]$	0.9984
เขื่อนวชิราลงกรณ์	ES-10	$F_w = 1.123 \cdot 10^{-7}[\Delta P - \Delta \pi]$	0.9954
	NTR-729HF	$F_w = 3.035 \cdot 10^{-7}[\Delta P - \Delta \pi]$	0.9470
	NTR-7410	$F_w = 69.56 \cdot 10^{-7}[\Delta P - \Delta \pi]$	0.7825

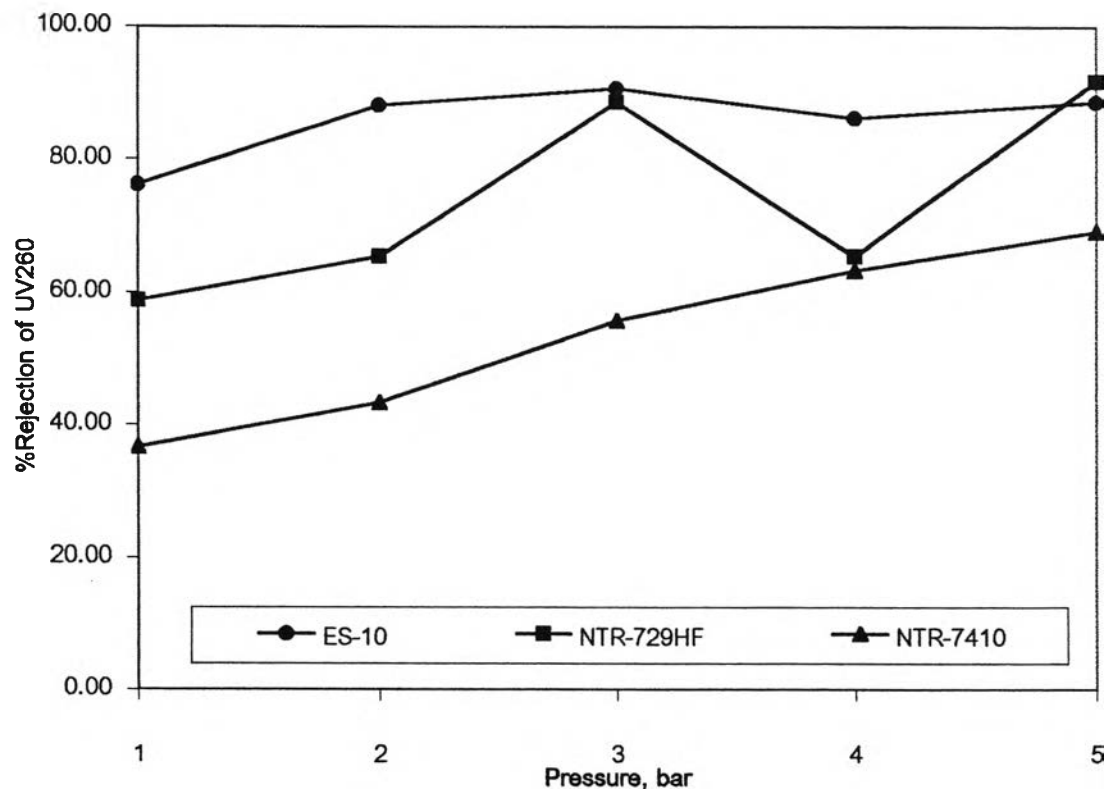
เมื่อเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ และค่า K_{w} ของเมมเบรนทั้ง 3 ชนิด จะพบว่าเมมเบรนชนิด NTR-7410 มีค่าฟลักซ์ และค่า K_{w} ที่สูงกว่าเมมเบรนชนิด NTR-729HF และ ES-10 มาก ทั้งนี้เนื่องมาจากลักษณะสมบัติของเมมเบรนชนิด NTR-7410 ที่มีขนาดรูพรุนที่ใหญ่กว่า เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดรูพรุนของเมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF โดยจากการคำนวณหาค่าขนาดโดยประมาณของรูพรุน โดยใช้ผลจากการทดลองกำจัดอออนในน้ำสังเคราะห์ พบว่าเมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF มีขนาดรูพรุนประมาณ 1 nm ส่วนเมมเบรนชนิด NTR-7410 มีขนาดรูพรุนประมาณ 4 nm (ชวลิต รัตนธรรมสกุล, personal communication, 4 กันยายน 2544) ซึ่งสมรรถนะของเมมเบรนทั้งสามชนิด จะเห็นได้ชัดเจนจากประสิทธิภาพในการกำจัด NaCl ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้โดยผู้ผลิตเมมเบรนดังแสดงในตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าเมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF สามารถกำจัด NaCl ได้มากถึง 99.6% และ 93% ตามลำดับ ที่ความดัน 15 bar และความเข้มข้นของ NaCl เท่ากับ 0.15% ในขณะที่เมมเบรนชนิด NTR-7410 กำจัด NaCl ได้เพียง 15% เท่านั้นในสถานะการดำเนินระบบเดียวกัน และจากผลการทดลองยังจะเห็นได้ว่าค่าฟลักซ์ และค่า K_{w} ของเมมเบรนชนิดเดียวกันจะมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยสำหรับการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสน และน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ โดยน้ำจะเนื่องมาจากความแตกต่างกันของลักษณะสมบัติของน้ำดิบที่มาจากแหล่งที่ต่างกัน

4.2.2 ผลของค่าความดันต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่า UV260

ประสิทธิภาพการกำจัดค่า UV260 ของเมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF สำหรับแหล่งน้ำทั้งสองแหล่งก็เป็นไปในทำนองเดียวกับค่าฟลักซ์ คือเพิ่มขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยสำหรับน้ำจากคลองประปาสามเสน เมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF สามารถกำจัดค่า UV260 ได้ 89.46-98.74% และ 87.97-93.11% ตามลำดับ และน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ เมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF กำจัดค่า UV260 ได้ 76.14-88.56% และ 58.68-91.67% ตามลำดับ แต่การเพิ่มขึ้นของ%กำจัดค่า UV260 มีค่าไม่มากนักเนื่องจากช่วงค่าความดันที่ใช้มีค่าต่ำมาก คือเพียง 1-5 bar และเนื่องจากลักษณะสมบัติของเมมเบรนทั้งสองชนิดที่มีรูพรุนขนาดเล็กมาก โดยจะเห็นได้จากประสิทธิภาพการกำจัดค่าความนำไฟฟ้าในช่วงค่าความดันที่ใช้ เมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF สามารถกำจัดได้มากถึง 90 และ 30 % ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4.7 ดังนั้นเมมเบรนทั้งสองชนิดนี้จึงสามารถกำจัด NOM ในรูปค่า UV260 ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ได้มากจนความดันที่เพิ่มขึ้นมีผลไม่มากนักต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่า UV260

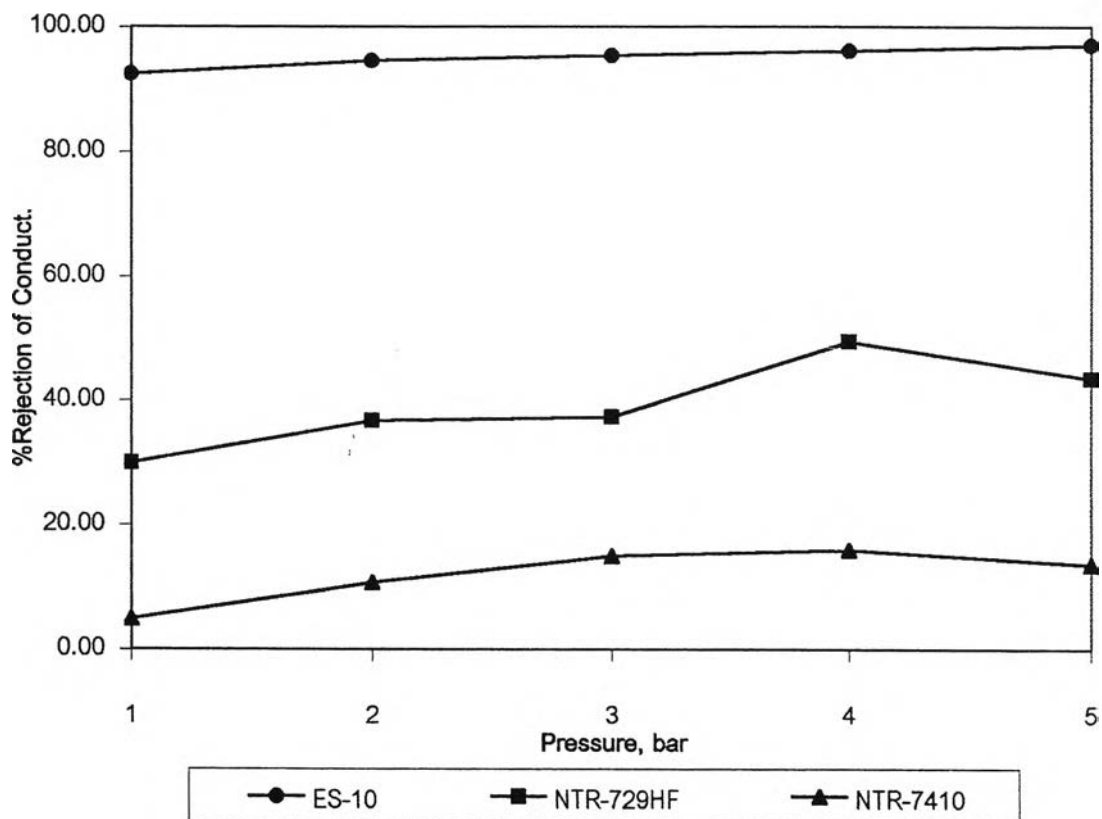


รูปที่ 4.6 ก. น้ำกลองประปาตามสวน

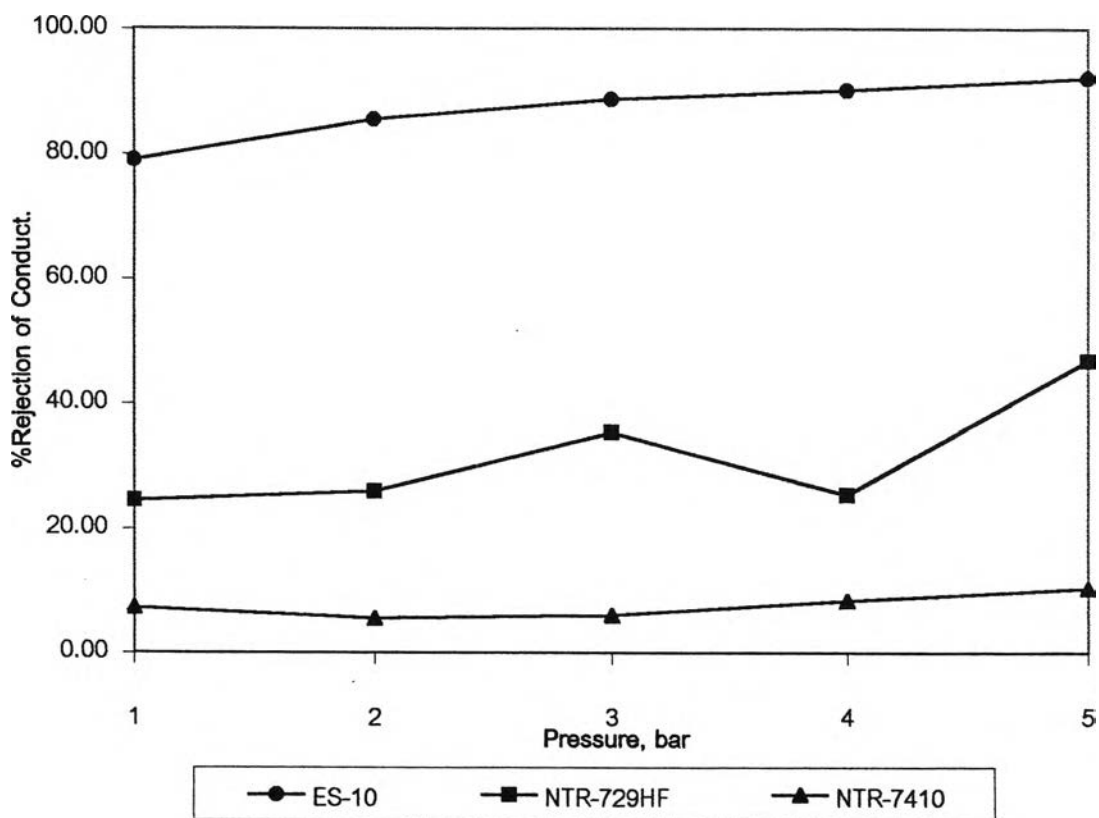


รูปที่ 4.6 ข. น้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์

รูปที่ 4.6 ผลของความดันต่อ%กำจัดค่า UV260 ของเมมเบรนทั้งสามชนิด



รูปที่ 4.7 ก. น้ำคลองประปาสามเสน



รูปที่ 4.7 ข. น้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์

รูปที่ 4.7 ผลของความดันต่อ%กำจัดค่าความนำไฟฟ้าของเมมเบรนทั้งสามชนิด

ประสิทธิภาพการกำจัดค่า UV260 ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มค่าความดันที่ใช้ สามารถอธิบายได้ โดยการทำสมการแบบจำลองการละลาย-การแพร่ให้อยู่ในรูปที่ง่ายขึ้น

$$C_p = \frac{K_s \cdot C_f}{K_w(\Delta P - \Delta\pi) \left[\frac{(2-2R)}{(2-R)} \right] + K_s} \quad (4.2)$$

เมื่อทำสมการที่ 4.2 ให้อยู่ในรูปที่ง่ายขึ้น จะได้เป็น

$$\frac{C_p}{C_f} = \frac{K_s}{K_s + x \cdot K_w(\Delta P - \Delta\pi)} \quad (4.3)$$

$$\text{โดยที่ } x = \frac{(2-2R)}{(2-R)}$$

จากสมการที่ 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์กำจัด สามารถเขียนได้ดังนี้ คือ

$$\text{เปอร์เซ็นต์กำจัด} = \left[1 - \frac{K_s}{K_s + x \cdot K_w(\Delta P - \Delta\pi)} \right] * 100 \quad (4.4)$$

จากสมการที่ 4.4 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าค่า %กำจัด จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่าความดันที่ใช้มีค่าเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าการเพิ่มค่าความดันที่ใช้จะทำให้ค่า R ซึ่งคือค่า %Recovery ($= Q_p / Q_f$) มีค่าเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ทำให้ค่า x มีค่าน้อยลง แต่เนื่องจากค่า R ที่ได้ในงานวิจัยนี้มีค่าน้อยมาก คือมีค่าเพียงไม่เกิน 0.02% สำหรับเมมเบรนชนิด ES-10 และไม่เกิน 0.06% สำหรับเมมเบรนชนิด NTR-729HF ทำให้การลดลงของค่า x มีผลน้อยมากเมื่อเทียบกับการเพิ่มขึ้นของค่าความดันที่ใช้ ดังนั้นเมื่อเพิ่มค่าความดันที่ใช้จึงทำให้เทอม $x \cdot K_w(\Delta P - \Delta\pi)$ ซึ่งเป็นตัวหารมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า UV260 มีค่ามากขึ้น

ในทางตรงกันข้ามกับเมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF %กำจัดค่า UV260 ของเมมเบรนชนิด NTR-7410 ในการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสนกลับไม่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มค่าความดันที่ใช้ ในทางตรงกันข้ามเมื่อใช้ค่าความดันที่มากเกินไปเกิน 2 bar กลับทำให้ค่า %กำจัด UV260 ลดลงเรื่อย ๆ ในขณะที่ค่าการกำจัดค่าความนำไฟฟ้ายังคงเพิ่มขึ้นตามความดันที่เพิ่มขึ้นไปจนถึงความดัน 4 bar และลดลงเล็กน้อยที่ความดัน 5 bar (ดูรูปที่ 4.6 ก. และ 4.7 ก.) ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยใช้ปรากฏการณ์การเกิด Concentration Polarization คือ เมื่อเพิ่มความดันที่ใช้จะทำให้

ความเข้มข้นของ NOM ที่ผิวของเมมเบรนมีค่ามากขึ้น เนื่องจากค่าฟลักซ์มีค่ามากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับเมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF เมมเบรนชนิด NTR-7410 มีค่า K_w ที่สูงกว่ามาก ส่งผลให้การเพิ่มขึ้นของค่าฟลักซ์ตามการเพิ่มของความดันมีค่ามากกว่า ทำให้ความเข้มข้นของ NOM ที่ผิวของเมมเบรนมีค่ามากกว่า ส่งผลให้เกิด Concentration Polarization ในระดับที่สูงกว่า และเนื่องจากเมมเบรนชนิดนี้มีรูพรุนที่มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับเมมเบรนอีกสองชนิด ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นของ NOM ที่ผิวของเมมเบรนมีค่ามากขึ้น จึงทำให้ปริมาณ NOM ที่หลุดผ่านเมมเบรนไปพร้อมกับน้ำ Permeate มีค่ามากขึ้นด้วย ซึ่งจากงานวิจัยของ Waypa และคณะ (1997) ก็พบปรากฏการณ์นี้เช่นเดียวกัน ในขณะที่ความเข้มข้นของ NOM ที่มากขึ้นที่ผิวของเมมเบรนก็จะทำหน้าที่ช่วยดูดซับไม่ให้ไอออนและสารแขวนลอยอื่น ๆ เคลื่อนที่ผ่านเมมเบรน จึงทำให้ค่า%กำจัดความนำไฟฟ้ายังคงมีค่าเพิ่มขึ้นตามความดัน ไปอีกช่วงค่าหนึ่ง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่า%กำจัดค่าUV260 ของเมมเบรนชนิด NTR-7410 ในการดำเนินระบบกับน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ จะพบว่า%กำจัดค่าUV260 มีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าความดันที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับเมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF (ดูรูปที่ 4.6ข.) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณ NOM ในน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์มีค่าน้อยกว่าในน้ำจากคลองประปาสามเสนมาก โดยดูได้จากค่า UV260 และ TOC ในตารางที่ 4.3 ประกอบกับประสิทธิภาพในการกำจัดค่าUV260 ของเมมเบรนชนิด NTR-7410 ในน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ ก็มีค่าต่ำกว่าการกำจัดค่า UV260 ในน้ำจากคลองประปาสามเสนค่อนข้างมากทำให้การสะสมตัวของ NOM ที่ผิวของเมมเบรนมีน้อยกว่า ดังนั้นผลของ Concentration Polarization จึงมีน้อยกว่ามากจนไม่ส่งผลให้ %กำจัดค่า UV260 ของเมมเบรนชนิด NTR-7410 มีค่าลดลงเมื่อใช้ค่าความดันที่มากขึ้นเหมือนการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสน โดยผลของ%กำจัดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ก็มีความสอดคล้องกับ%กำจัดค่าUV260

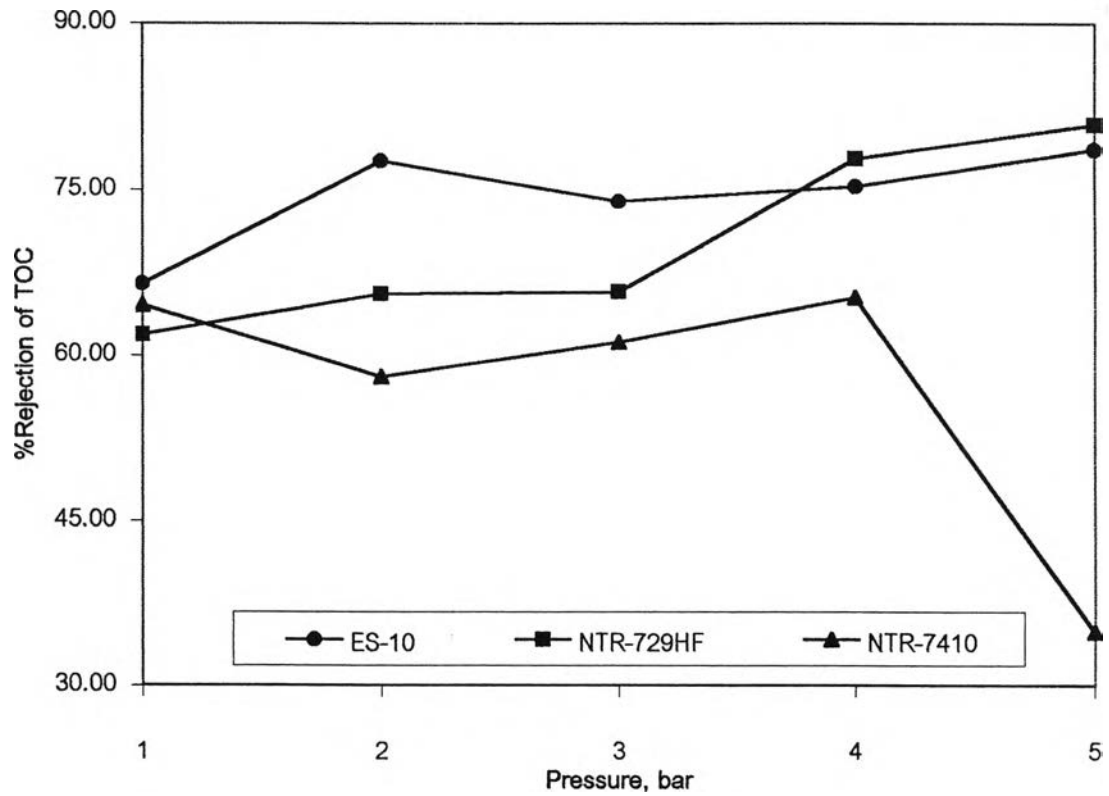
เมื่อเปรียบเทียบ%กำจัดค่าUV260 ของเมมเบรนทั้งสามชนิดจะพบว่า %กำจัดค่าUV260 ในการดำเนินระบบกับน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์จะมีค่าต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากนอกจากปริมาณ NOM ที่น้อยกว่าแล้ว ขนาดของNOM ในน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ก็มีขนาดเล็กกว่า NOM ในน้ำจากคลองประปาสามเสนด้วย โดยดูจากค่าอัตราส่วน UV₂₆₀:TOC ซึ่งจะได้อธิบายต่อไปในหัวข้อที่ 4.6 ขนาดของ NOM ที่เล็กกว่านี้ทำให้สามารถเคลื่อนผ่านเมมเบรนได้มากกว่า ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า UV260 ในน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์มีค่าน้อยกว่า นอกจากนี้จากการสังเกตผลการทดลองเมื่อใช้ความดัน 4 bar กับน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์(รูปที่ 4.6ข.) จะเห็นว่า%กำจัดค่าUV260 ของเมมเบรนชนิด NTR-729HF มีค่าลดลง แต่ทั้งนี้น้ำจะเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของลักษณะสมบัติของเมมเบรนแต่ละแผ่น ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลของ%กำจัดค่าความนำไฟฟ้าก็มีค่าลดลงเช่นเดียวกัน

ผลของ%กำจัดค่าUV260 ที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับผลจากงานวิจัยของ Marsono (1996) โดยใช้ NF เมมเบรนสองชนิดซึ่งมีสมรรถนะอยู่ระหว่างเมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF ในช่วงความดัน 6-10 bar โดย%กำจัดค่าUV260 ของเมมเบรนชนิด NF45 และ DK มีค่าเท่ากับ 92.03-99.41% และ 92.78-97.68% ตามลำดับ จะพบว่า%กำจัดค่า UV260 ที่ได้จากงานวิจัยมีค่าน้อยกว่าเล็กน้อย เนื่องจากในงานวิจัยใช้ช่วงค่าความดันที่ต่ำกว่าคือเพียง 1-5 bar

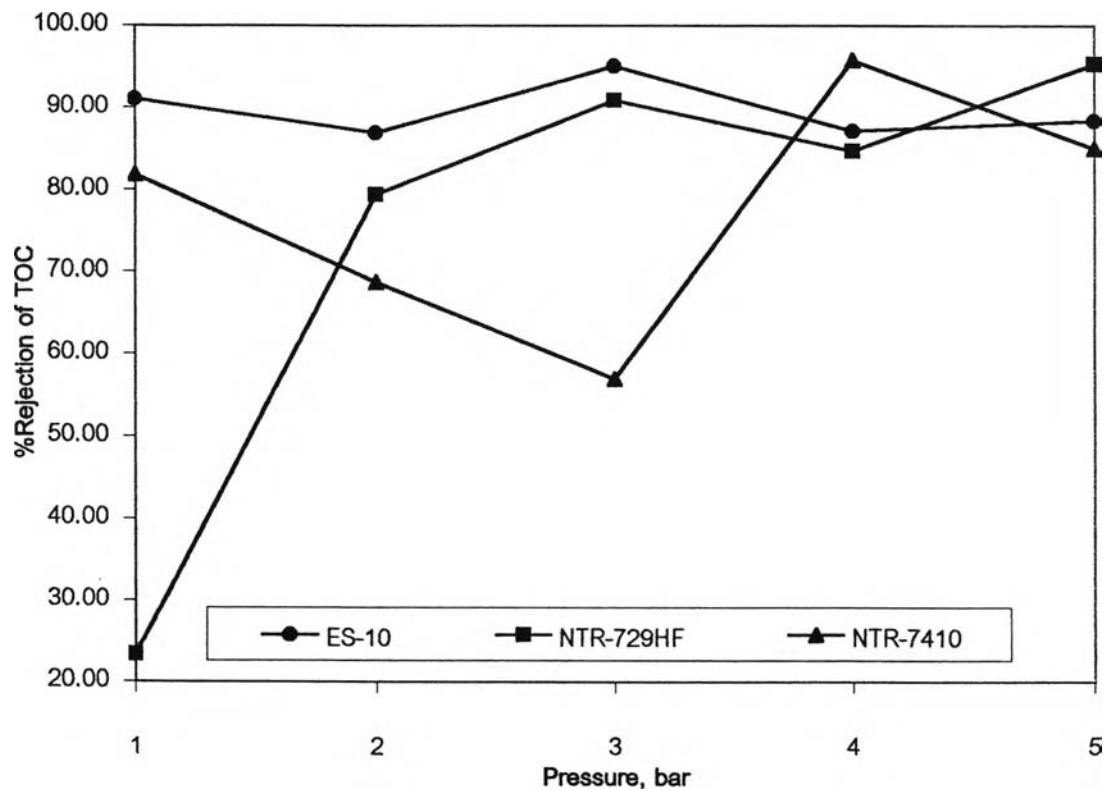
4.2.3 ผลของค่าความดันต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่า TOC

ผลของค่าความดันต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่า TOC ใน แหล่งน้ำทั้งสองแหล่งแสดงในรูปที่ 4.8 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า%กำจัดค่าTOC ต่อความดันที่เพิ่มขึ้นสำหรับน้ำจากคลองประปาสามเสนมีแนวโน้มไปในทางเดียวกับผลของความดันต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่าUV260 ในขณะที่ผลการทดลองกับน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ค่า%กำจัดค่าTOC มีค่ากวัดแกว่ง และ ไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากค่าTOC ของน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์มีค่าค่อนข้างต่ำมากทำให้น้ำ Permeate ของเมมเบรนทั้งสามชนิดมีค่าTOC ที่ต่ำมาก ๆ จนมีผลต่อความแม่นยำในการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์TOC ที่ใช้ ผลของค่า TOC ที่วัดในบางครั้งจึงไม่เป็นไปตามแนวโน้มเดียวกับ %กำจัดค่า UV260 ต่อความดันและเมื่อเปรียบเทียบค่า%กำจัดค่า TOC กับ %กำจัดค่า UV260 ของเมมเบรนทั้งสามชนิดในการคำนวณระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสนจะเห็นได้ว่า%กำจัดค่า TOC มีค่าน้อยกว่า %กำจัดค่า UV260 โดยสำหรับเมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF จะกำจัดค่าTOC ได้ประมาณ 60-80% ในช่วงความดันที่ใช้ และเมมเบรนชนิด NTR-7410 กำจัดค่า TOC ได้เพียง 30-60 % เหตุผลก็เนื่องมาจาก NOM ที่สามารถดูดกลืนแสงUV260 ได้นั้นจะเป็นNOM ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ มีโครงสร้างเป็นสารอะโรมาติก หรือมีพันธะคู่ ทำให้ถูกกำจัดได้ง่ายโดยกระบวนการออกซิเดชันของเมมเบรน ในขณะที่ค่า TOC คือค่าที่บอกถึงปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งรวมถึงโมเลกุลที่อาจมีขนาดเล็กมากจนสามารถไหลผ่านเมมเบรนได้ จึงทำให้%กำจัดค่า TOC มีค่าน้อยกว่า %กำจัดค่า UV260

จากผลการทดลองที่ได้ จะเลือกใช้ค่าความดันที่จะทำการศึกษาถึงผลของปัจจัยอื่น ๆ ดังนี้คือ เมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF ใช้ค่าความดันเท่ากับ 3 bar และเมมเบรนชนิด NTR-7410 ใช้ค่าความดัน 2 bar โดยค่าความดันที่เลือก พิจารณาจากค่าฟลักซ์ ประสิทธิภาพการกำจัด NOM และ ความสะดวกในการควบคุมระบบ



รูปที่ 4.8 ก. น้ำคลองประปาสามเสน



รูปที่ 4.8 ข. น้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์

รูปที่ 4.8 ผลของความดันต่อ%กำจัดค่า TOC ของเมมเบรนทั้งสามชนิด

4.3 ผลของค่า Crossflow Velocity

4.3.1 ผลของค่า Crossflow Velocity ต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่าUV260

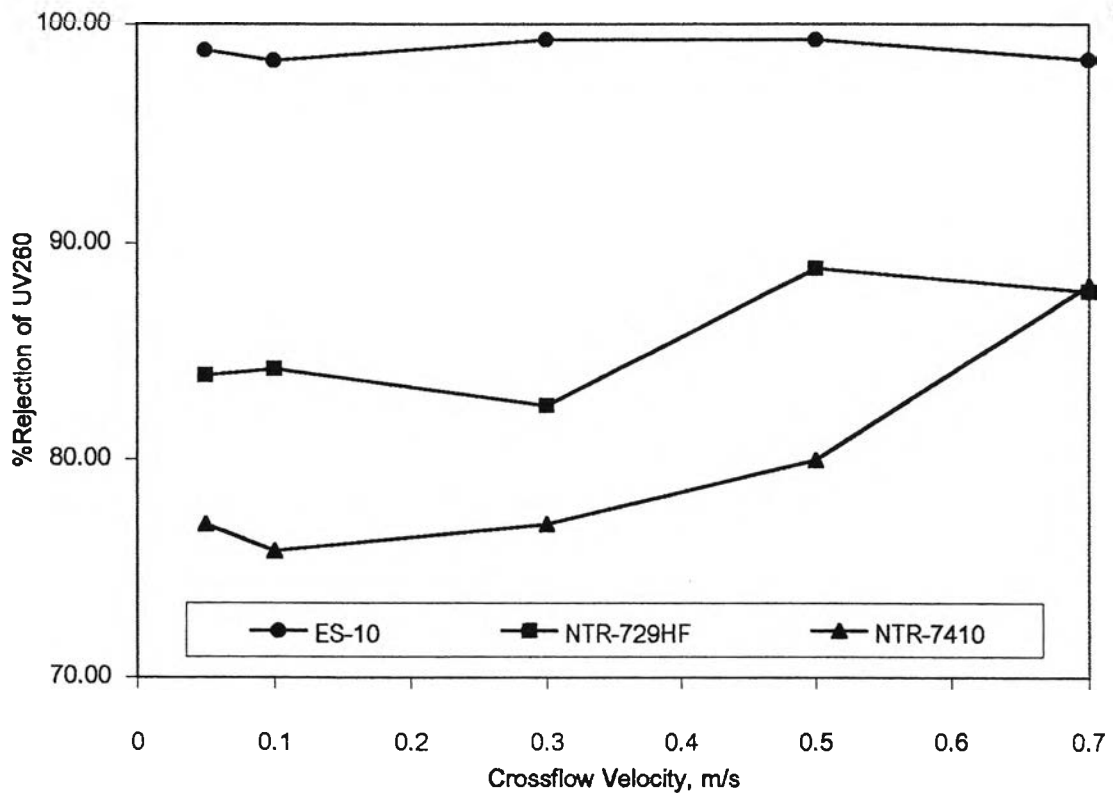
ผลของค่า Crossflow Velocity ต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่า UV260 ของน้ำจากคลองประปาสามเสน และน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์แสดงในรูปที่ 4.9

สำหรับน้ำจากคลองประปาสามเสน เมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF สามารถกำจัดค่าUV260 ได้ไม่ต่างกันมากนักในช่วงค่า Crossflow Velocity ที่ใช้ (0.05-0.7m/s) คือมี%กำจัดอยู่ในช่วง 98.34-99.29% และ82.48-87.76% ตามลำดับ ในขณะที่เมมเบรนชนิด NTR-7410 มี%กำจัดค่าUV260 ที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเพิ่มค่า Crossflow Velocity ที่ใช้ โดยมีค่า%กำจัดเท่ากับ 77.02-88.06%

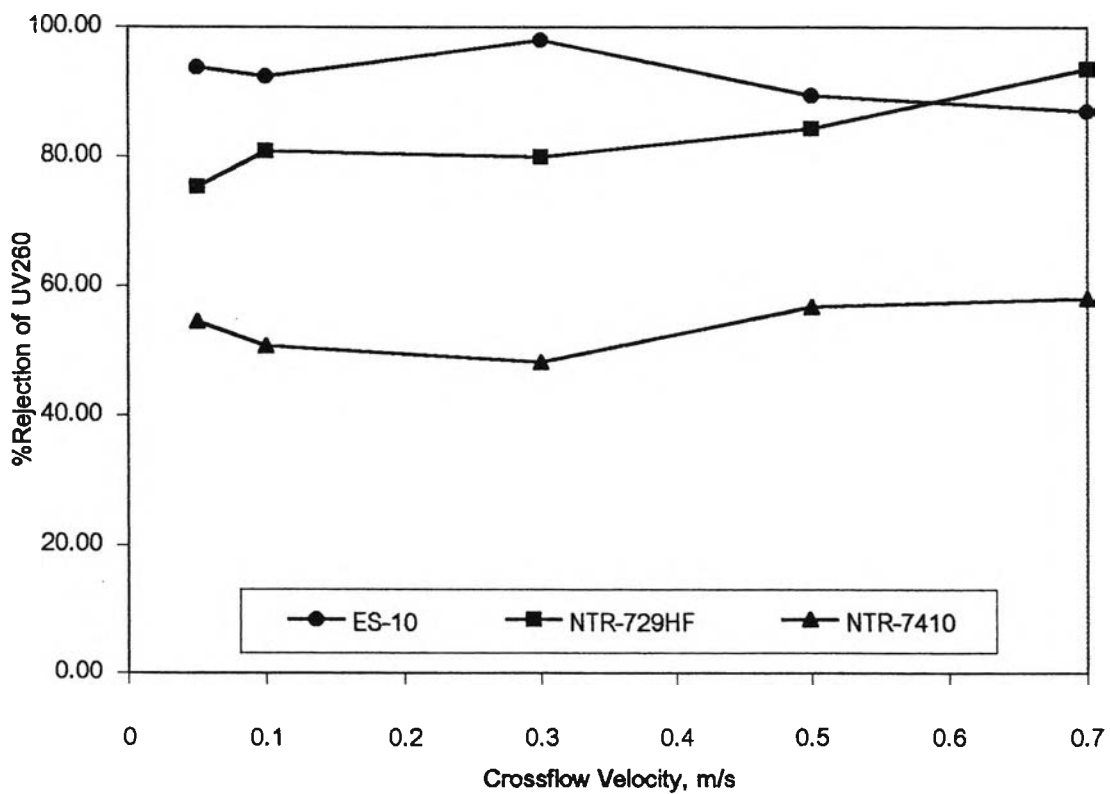
เหตุผลที่ค่า Crossflow Velocity ในช่วงค่าที่ใช้มีผลน้อยต่อสมรรถนะของเมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF ถึงแม้ว่าจะใช้ค่า Crossflow Velocity ที่ต่ำมากถึง 0.05 m/s ทั้งนี้เนื่องจากจากลักษณะสมบัติของเมมเบรนทั้งสองชนิดที่มีรูพรุนขนาดเล็กมาก โดยเห็นได้จากผลของค่า Crossflow Velocity ต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่าความนำไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 4.10 ก. โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมมเบรนชนิด ES-10 ซึ่งสามารถกำจัดค่าความนำไฟฟ้าได้มากกว่า 90% ดังนั้นจึงสามารถกำจัด NOM ในรูปของค่าUV260 ได้มากและค่า Crossflow Velocity ที่ใช้แทบจะไม่มีผลต่อ%กำจัดค่า UV260 เช่นเดียวกับเมมเบรนชนิด NTR-729HF ที่ถึงแม้จะกำจัดค่าความนำไฟฟ้าได้น้อยกว่าเมมเบรนชนิด ES-10 คือประมาณ 20-40% แต่ก็ยังสามารถกำจัดค่าUV260ได้มากและผลของ Crossflow Velocity ต่อ%กำจัดค่าUV260 มีไม่มากนัก ส่วนสาเหตุที่ค่า Crossflow Velocity มีผลต่อ%กำจัดค่าUV260 ของเมมเบรนชนิด NTR-7410 ค่อนข้างมาก เนื่องจาก เมื่อใช้ค่า Crossflow Velocity ที่มีค่าต่ำจะทำให้เกิดการสะสมของตัวถูกละลายและสารแขวนลอยต่าง ๆ รวมถึง NOM ที่ผิวของเมมเบรน ทำให้ความเข้มข้นที่ผิวของเมมเบรนมีค่าสูงขึ้น เกิด Concentration Polarization ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองการละลาย-การแพร่ ดังสมการที่ 4.5 คือ

$$F_s = K_s [C_m - C_p] \quad (4.5)$$

จากสมการที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าเมื่อค่าความเข้มข้นที่ผิวของเมมเบรน (C_m) มีค่าสูงขึ้น จะทำให้ค่าฟลักซ์ของตัวถูกละลาย (F_s) มีค่าสูงขึ้นด้วย ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดค่าUV260 ที่ค่า Crossflow Velocity ต่ำ ๆ มีค่าน้อย แต่เมื่อใช้ค่า Crossflow Velocity ที่มากขึ้นก็จะช่วยลดความเข้มข้น

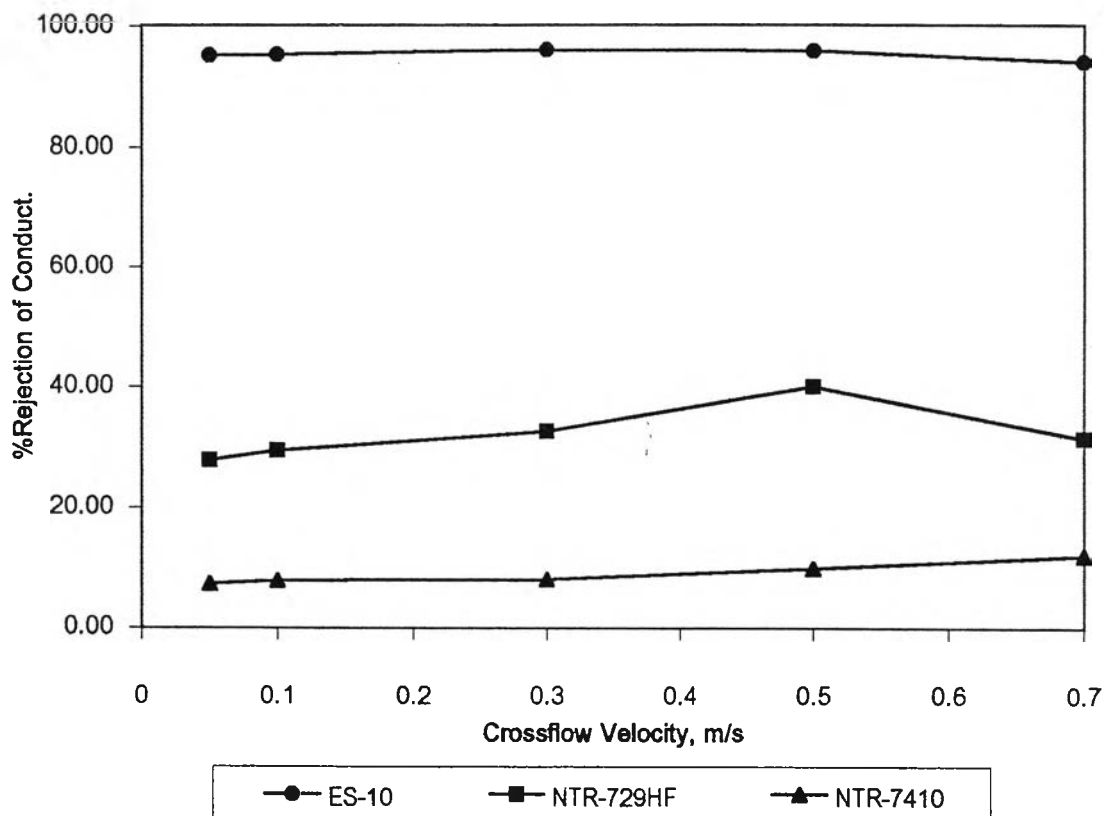


รูปที่ 4.9 ก. น้ำคลองประปาตามสวน

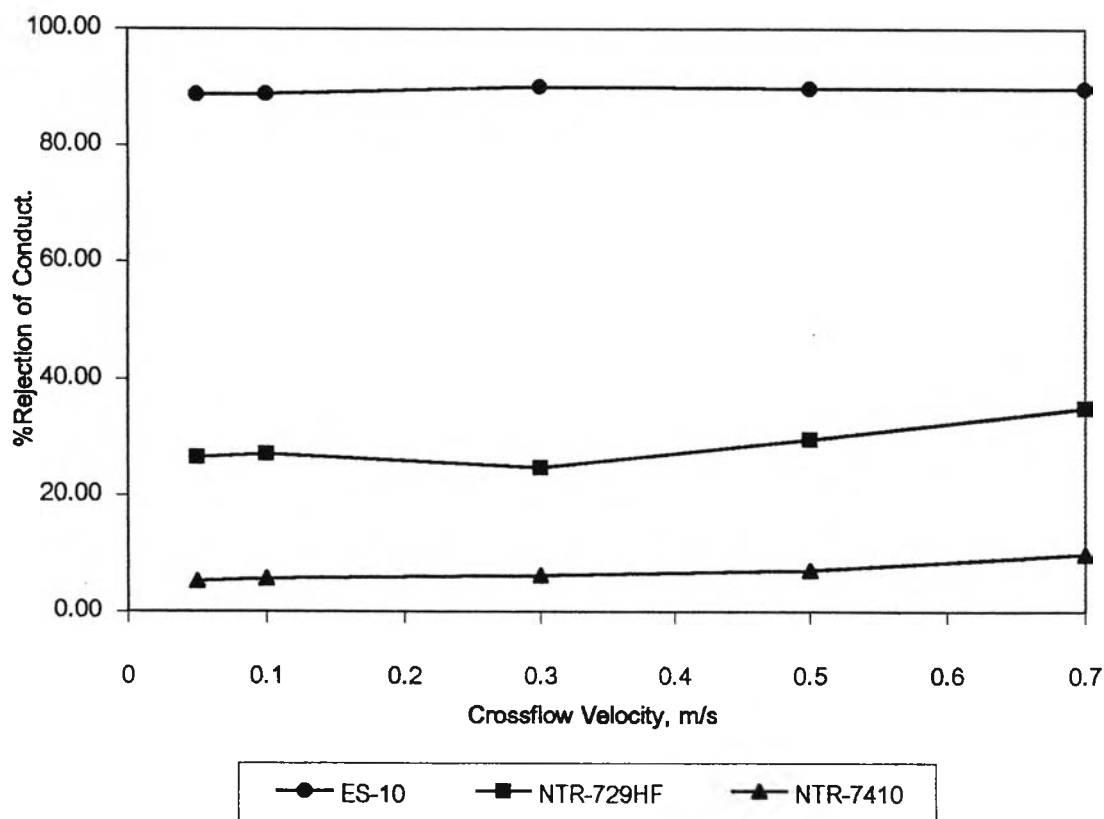


รูปที่ 4.9 ข. น้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์

รูปที่ 4.9 ผลของ Crossflow Velocity ต่อ % กำจัด ค่า UV260 ของเมมเบรนทั้ง 3 ชนิด



รูปที่ 4.10 ก. น้ำกลองประปาสามแดน



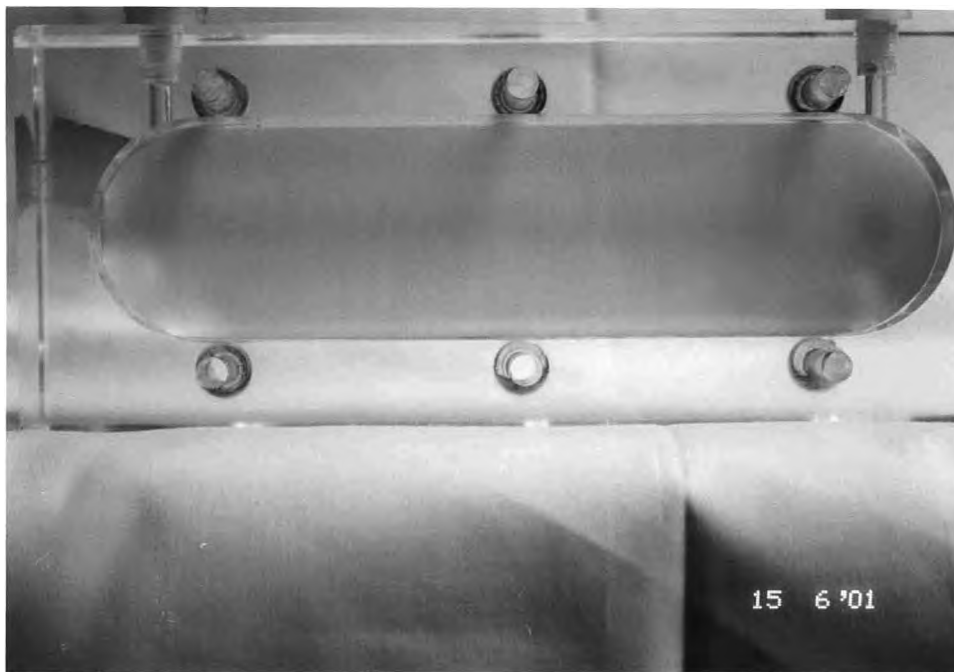
รูปที่ 4.10 ข. น้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์

รูปที่ 4.10 ผลของ Crossflow Velocity ต่อ % กำจัดค่าความนำไฟฟ้าของเมมเบรนทั้ง 3 ชนิด

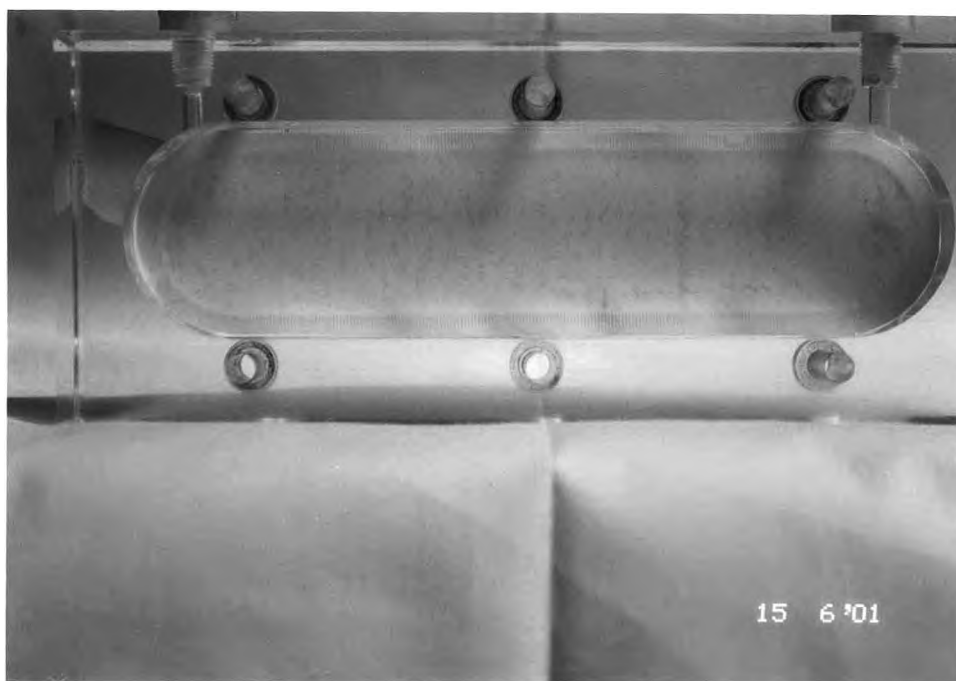
ชั้นที่ผิวเมมเบรน เนื่องจากค่า Crossflow Velocity ที่มากเพียงพอจะช่วยทำให้เกิดความปั่นป่วนที่ผิวของเมมเบรนทำให้การสะสมตัวของตัวถูกละลายและสารแขวนลอยต่าง ๆ มีค่าน้อยลง ซึ่งจะช่วยลดผลของการเกิด Concentration Polarization ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดค่าUV260 ของเมมเบรนมีค่าสูงขึ้นด้วย โดยผลของค่า Crossflow Velocity ต่อ%กำจัด NOM (ในรูปค่า UV260) ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่จะเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อใช้ค่าความดันค้ำคังเช่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับ%กำจัดค่าความนำไฟฟ้า (รูปที่ 4.10 ก.) ซึ่งจะเห็นว่าผลของค่า Crossflow Velocity มีน้อยกว่ามาก

สำหรับน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ (รูปที่ 4.9 ข.) เมมเบรนชนิด ES-10 NTR-729HF และ NTR-7410 มีค่า%กำจัดค่าUV260 ในช่วงค่า Crossflow Velocity ที่ใช้เท่ากับ 87.04-97.86% 75.38-93.49% และ 48.17-58.08% ตามลำดับ โดยค่า%กำจัดค่าUV260 มีแนวโน้มไปในทางเคียวกับการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสน แต่จะพบว่าสำหรับเมมเบรนชนิด NTR-7410 %กำจัดค่าUV260 ไม่เพิ่มขึ้นมากอย่างชัดเจนเมื่อใช้ค่า Crossflow Velocity ที่มากขึ้นเหมือนกับการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสน ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณ NOM ที่มีน้อยกว่า นอกจากนี้ในขณะที่ทำการทดลองจะสังเกตเห็นได้ว่าค่าความขุ่นของน้ำInfluentที่มาจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ยังมีค่าน้อยกว่าค่าความขุ่นของน้ำInfluent ที่มาจากคลองประปาสามเสน ทำให้การสะสมตัวของตัวถูกละลายและสารแขวนลอย รวมถึง NOM ที่ผิวเมมเบรนเมื่อใช้ค่า Crossflow Velocity ค่า ๆ มีไม่มากนัก แต่อย่างไรก็ดี ก็ยังสามารถเห็นได้ค่อนข้างชัดเจนว่าค่า Crossflow Velocity ที่สูงขึ้นจะช่วยทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดค่าUV260 ของเมมเบรนดีขึ้น และแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของ%กำจัดค่าUV260 ของเมมเบรนทั้งสามชนิดก็ยังเห็นได้ชัดเจนกว่า การเพิ่มขึ้นของ%กำจัดค่าความนำไฟฟ้า เช่นเคียวกับการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสน ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ข.

รูปที่ 4.11 และ 4.12 แสดงให้เห็นถึงการสะสมตัวของสารแขวนลอยต่าง ๆ รวมถึงNOM ที่ผิวของเมมเบรน สำหรับการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสน และน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ ตามลำดับเมื่อใช้ค่า Crossflow Velocity 0.05 m/s กับเมมเบรนชนิด NTR-7410 ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีคราบสีน้ำตาลเคลือบที่ผิวของเมมเบรน แต่การทดลองกับเมมเบรนชนิด ES-10 และNTR-729HF จะไม่เห็นคราบนี้ชัดเจนเหมือนเมมเบรนชนิด NTR-7410 ทั้งนี้เนื่องมาจากความหนาแน่นของประจุที่ผิวของเมมเบรนที่มีค่าสูง



รูปที่ 4.11 ก. เมมเบรนก่อนการทดลอง



รูปที่ 4.11 ข. เมมเบรนภายหลังการทดลอง

รูปที่ 4.11 การสะสมตัวของ NOM ที่ผิวของเมมเบรนชนิด NTR-7410 ในการดำเนินระบบกับน้ำจากคลอง
ประปาสามเสน ที่ค่า Crossflow Velocity 0.05 m/s



รูปที่ 4.12 ก. เมมเบรนก่อนการทดลอง



รูปที่ 4.12 ข. เมมเบรนภายหลังการทดลอง

รูปที่ 4.12 การสะสมตัวของ NOM ที่ผิวของเมมเบรนชนิด NTR-7410 ในการดำเนินระบบกับน้ำจากเขื่อน
วชิราลงกรณ์ ที่ค่า Crossflow Velocity 0.05 m/s

4.3.2 ผลของค่า Crossflow Velocity ต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่าTOC

ผลของค่า Crossflow Velocity ต่อ%กำจัดค่าTOC ของน้ำจากคลองประปาสามเสนและน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์แสดงในรูปที่ 4.13 โดย%กำจัดค่าTOC ของน้ำจากคลองประปาสามเสนของเมมเบรนชนิด ES-10 NTR-729HF และ NTR-7410 มีค่าในช่วง 83.97-92.02% 66.70-83.99% และ 57.15-69.38% ตามลำดับ ผลของค่า Crossflow Velocity ต่อ%กำจัดค่าTOC มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับ %กำจัดค่าUV260 แต่%กำจัดค่าTOCจะมีค่าน้อยกว่า ซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกับผลของค่าความดันต่อ%กำจัดค่าUV260 ในขณะที่ผลของ Crossflow Velocity ต่อ%กำจัดค่าTOC ของน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์มีแนวโน้มไม่ชัดเจนและมีค่าค่อนข้างกว้าง ทั้งนี้เนื่องมาจากความไม่แม่นยำของเครื่องวิเคราะห์ TOC เมื่อใช้วัดค่า TOC ที่มีปริมาณต่ำมาก ๆ

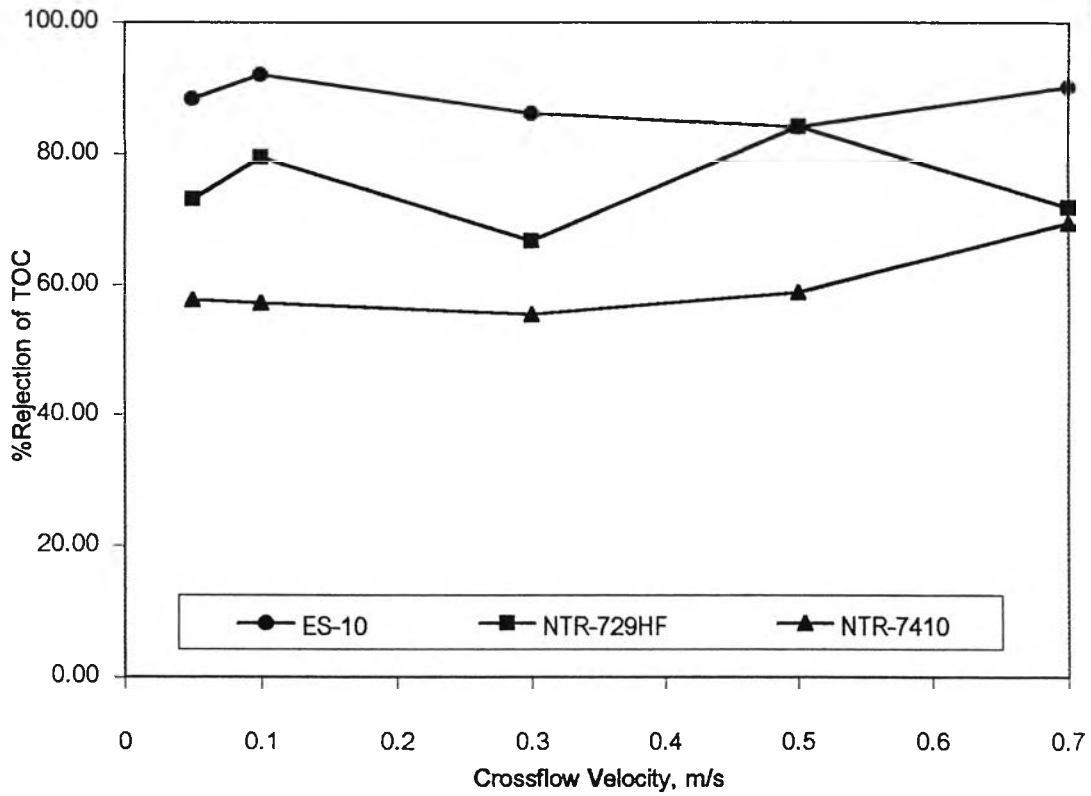
4.3.3 ผลของค่า Crossflow Velocity ต่อค่าฟลักซ์

ผลของค่า Crossflow Velocity ต่อค่าฟลักซ์ของน้ำทั้งสองแหล่ง แสดงในรูปที่ 4.14 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าฟลักซ์ของเมมเบรนทั้งสามชนิดมีค่าค่อนข้างคงที่ ในช่วงค่า Crossflow Velocity ที่ใช้ คือสำหรับน้ำจากคลองประปาสามเสน ค่าฟลักซ์ของเมมเบรนชนิด ES-10 NTR-729HF และ NTR-7410 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.09 11.26 และ 94.61×10^{-7} m/s ตามลำดับ และน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์มีค่าฟลักซ์ของเมมเบรนทั้งสามชนิดเท่ากับ 3.02 6.01 และ 91.36×10^{-7} m/s ตามลำดับ ถึงแม้ว่าจากบทความที่เสนอโดย Williamson และคณะ (1990) จะพบว่าการใช้ค่า Crossflow Velocity ที่ไม่เพียงพอ จะมีผลทำให้ค่าฟลักซ์มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับการใช้ค่า Crossflow Velocity ที่เพียงพอ แต่จากผลการทดลองจะไม่เห็นการลดลงของค่าฟลักซ์เมื่อใช้ค่า Crossflow Velocity ต่ำ เนื่องจากเป็นการทดลองในช่วงระยะเวลาสั้น โดยค่าฟลักซ์ที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยหลังจากดำเนินระบบ 1 ชั่วโมงและ 2 ชั่วโมงเท่านั้น ตามลำดับ

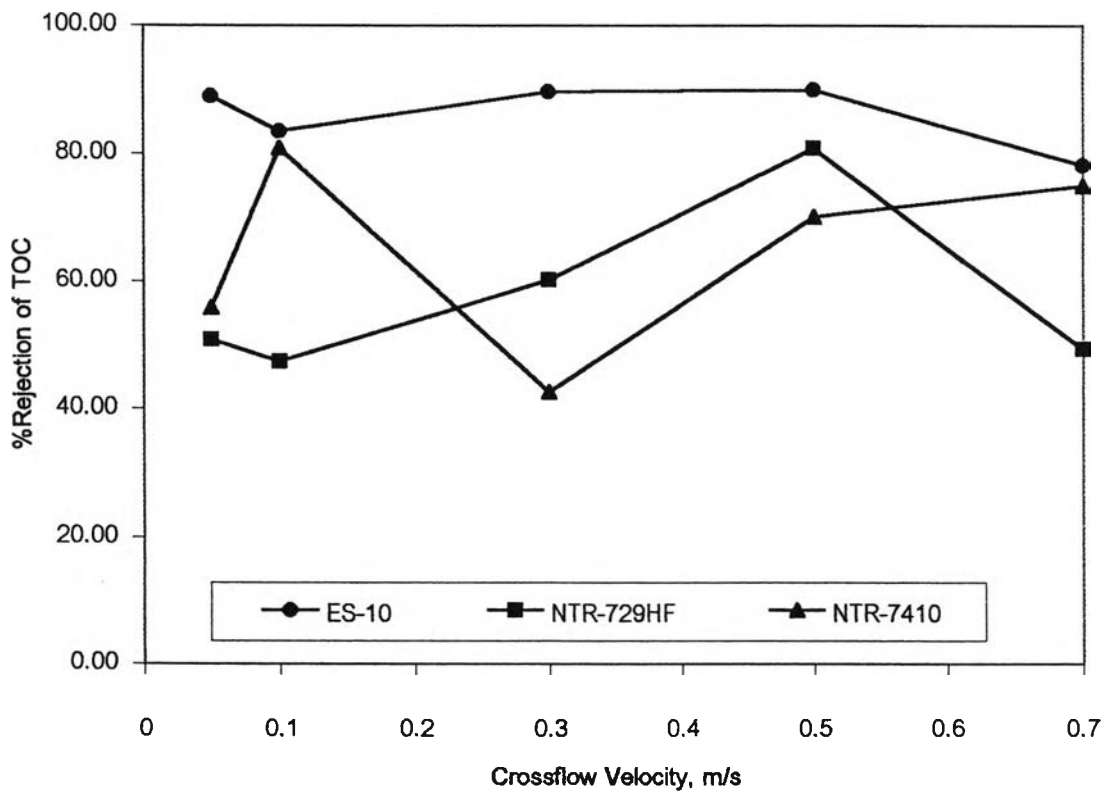
4.4 ผลของค่าพีเอช

4.4.1 ผลของค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่าUV260

ผลของค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่าUV260 ของน้ำจากคลองประปาสามเสนและน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ แสดงในรูปที่ 4.15 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่า%กำจัดUV260 ในน้ำจากทั้งสองแหล่งมีค่าลดลงเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อดูผลของค่าพีเอชต่อ%กำจัดค่าความ

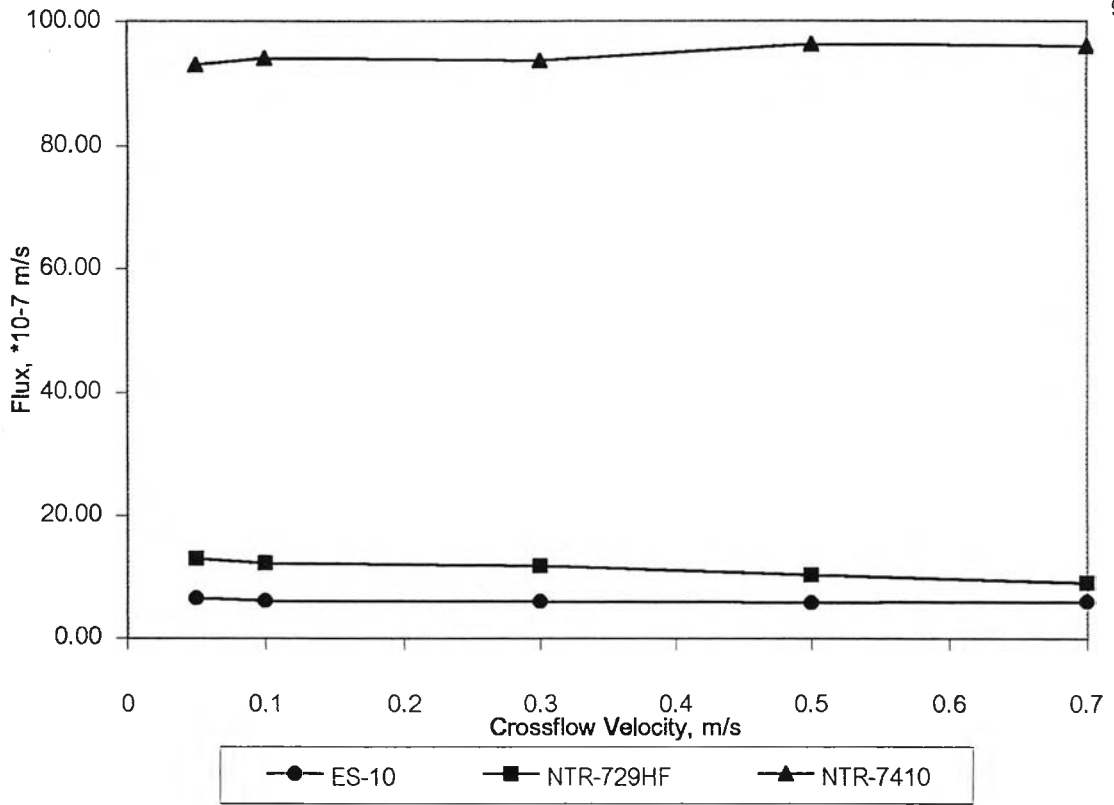


รูปที่ 4.13 ก. น้ำคลองประปาตามสวน

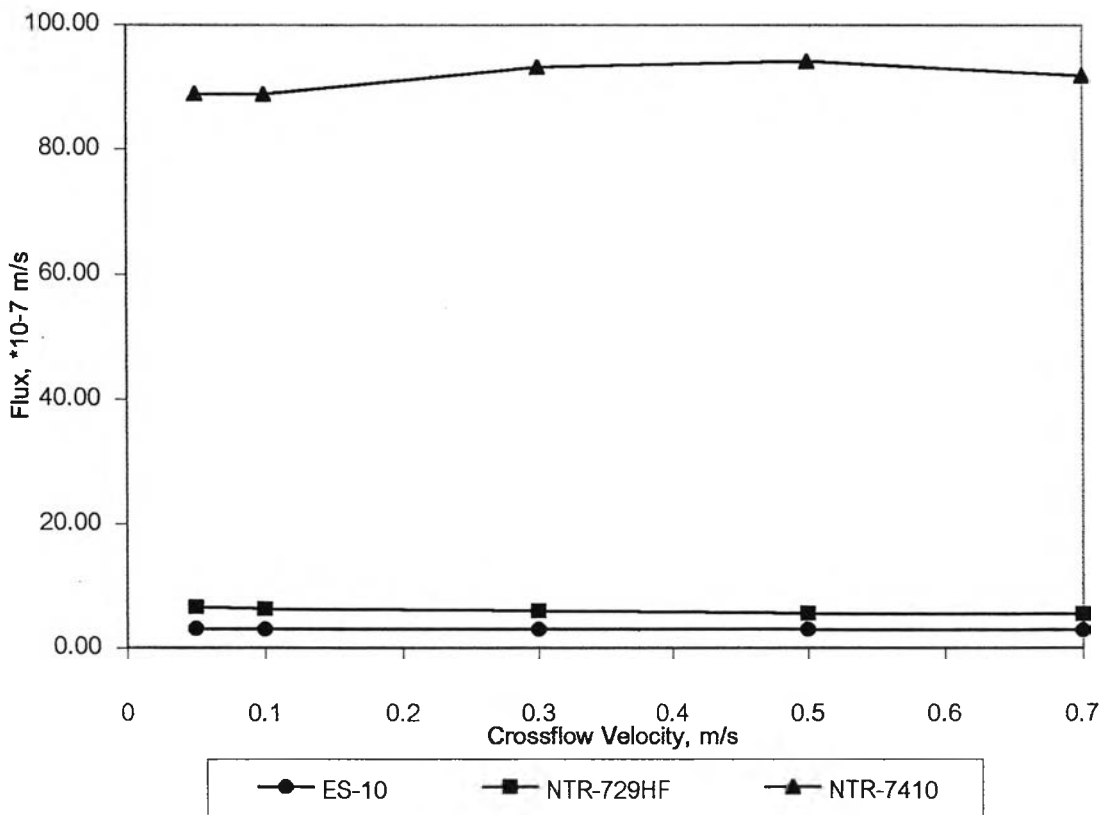


รูปที่ 4.13 ข. น้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์

รูปที่ 4.13 ผลของ Crossflow Velocity ต่อ %กำจัดค่า TOC ของเมมเบรนทั้ง 3 ชนิด

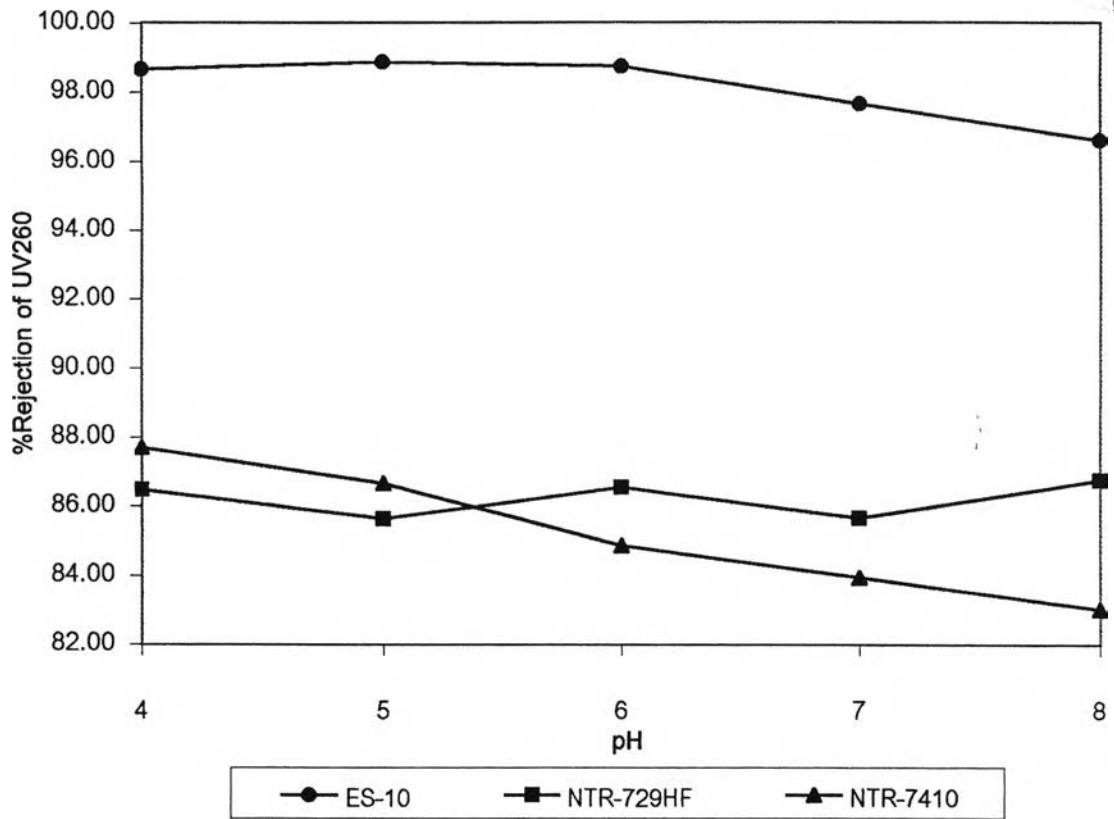


รูปที่ 4.14 ก. น้ำคลองประปาสามเสน

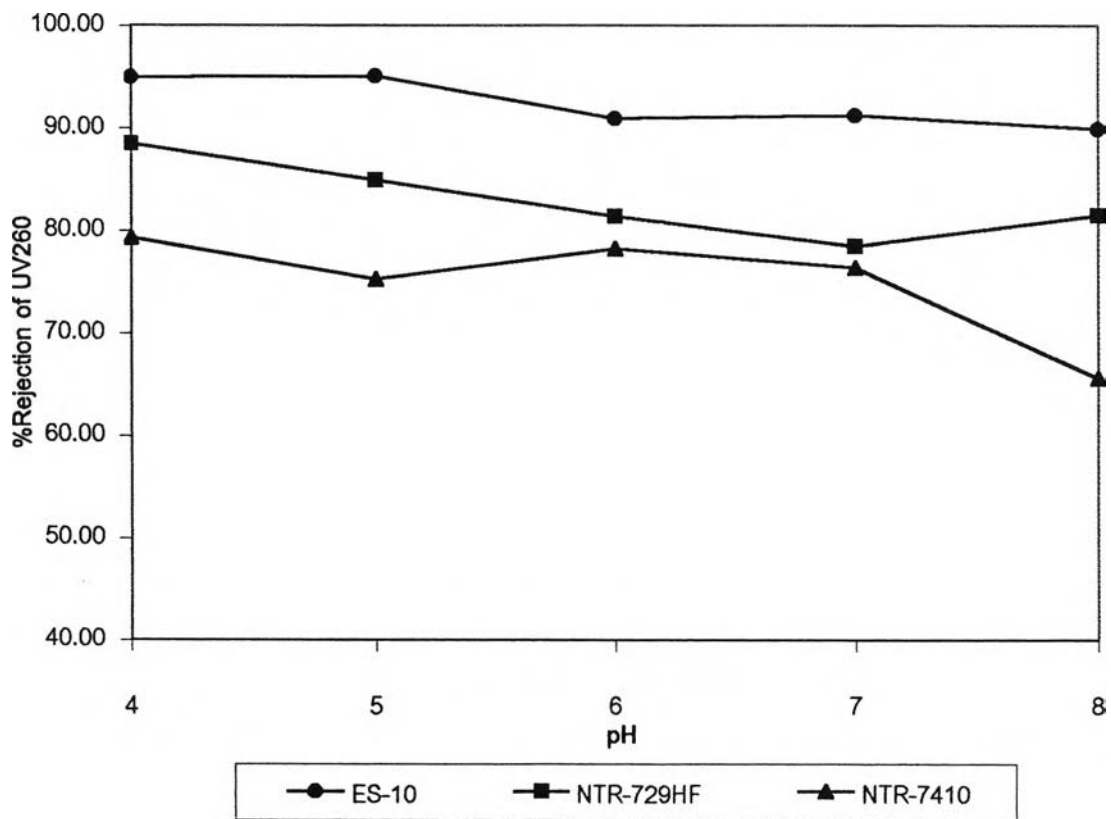


รูปที่ 4.14 ข. น้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์

รูปที่ 4.14 ผลของ Crossflow Velocity ต่อค่าฟลักซ์ของเมมเบรนทั้ง 3 ชนิด



รูปที่ 4.15 ก. น้ำคลองประปาตามเสน



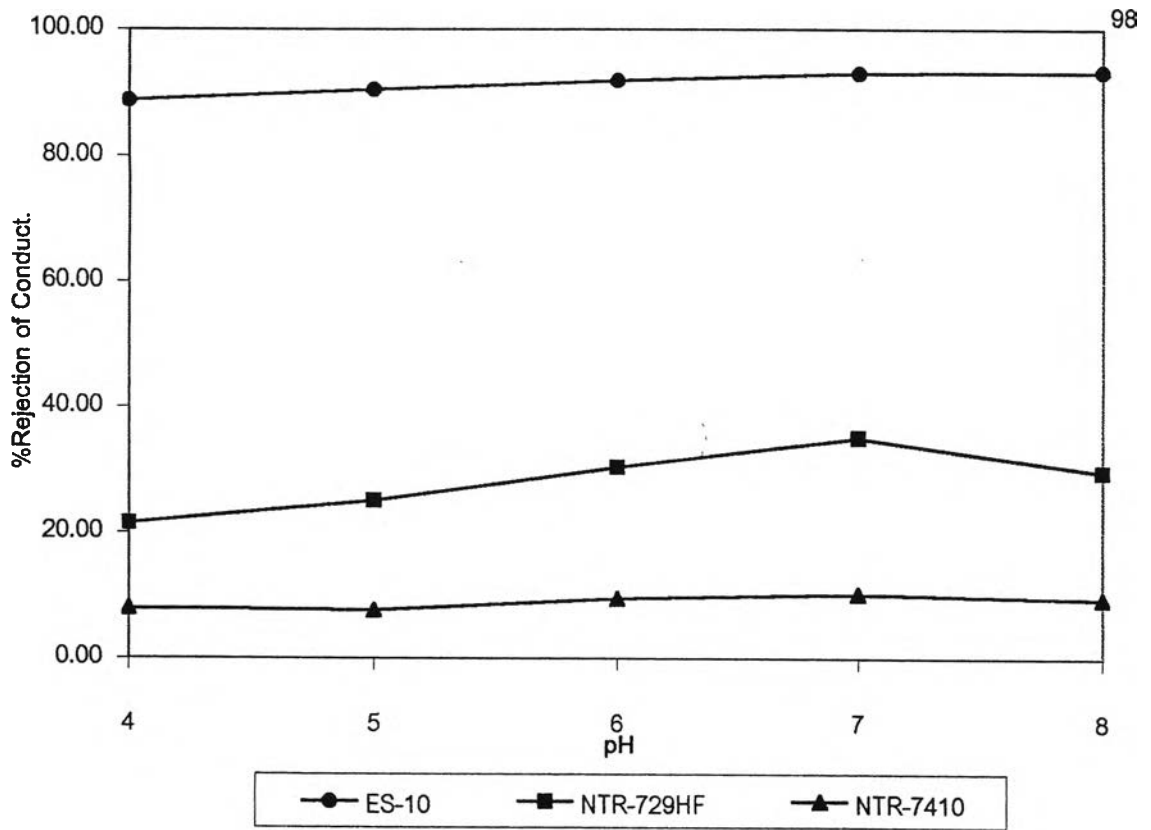
รูปที่ 4.15 ข. น้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์

รูปที่ 4.15 ผลของพีเอชต่อ%กำจัดค่า UV260 ของเมมเบรนทั้งสามชนิด

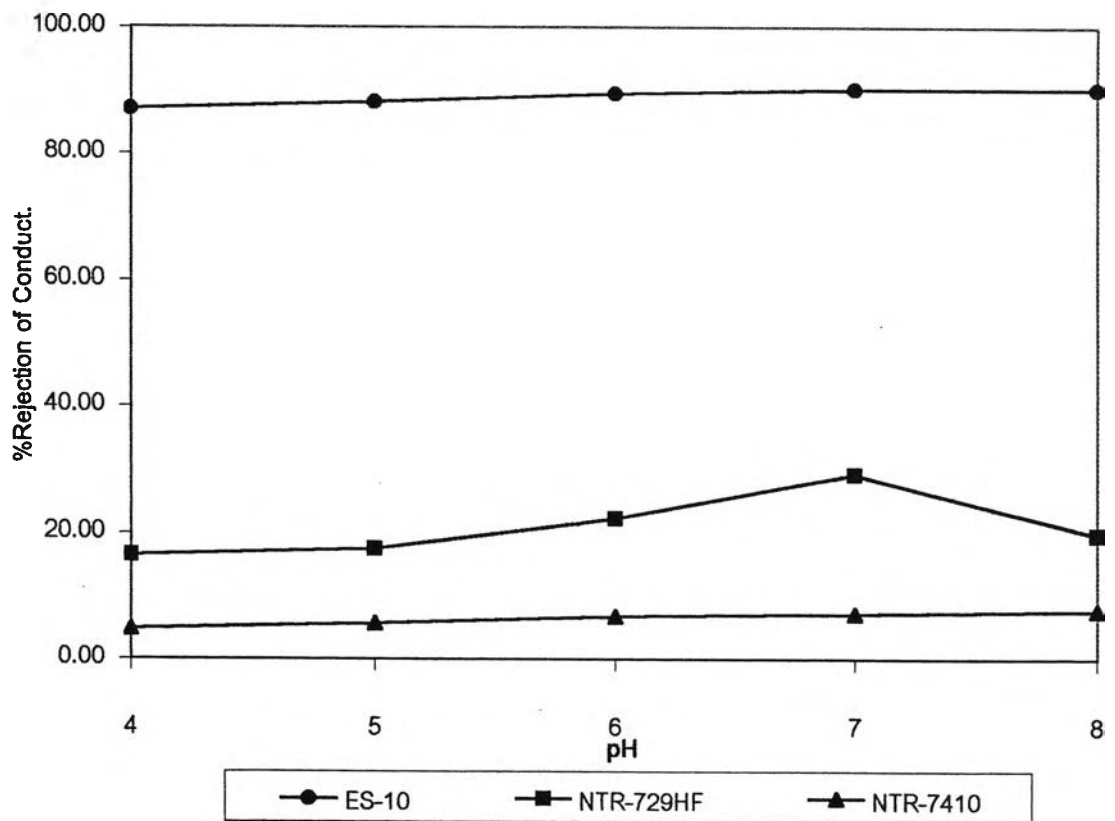
นำไฟฟ้าของแหล่งน้ำทั้งสองแหล่งดังแสดงในรูปที่ 4.16 กลับพบว่า %กำจัดค่าความนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น

เหตุผลที่%กำจัดค่าUV260 มีค่าลดลงเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นเพราะอนุภาคของกรดฟอสฟอริกและกรดซิวมิก ซึ่งเป็นประเภทของ NOM ที่สำคัญและพบมากในน้ำธรรมชาติจะเกิดการรวมตัวที่ค่าพีเอชต่ำ เนื่องจากเกิดพันธะกับไฮโดรเจน เกิดปฏิกิริยาก่อให้เกิดแรง Van der Waal และปฏิกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนของโมเลกุลที่อยู่ติดกัน เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นแรงที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะมีค่าลดลง และเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของการแตกตัวเป็นไอออนของกลุ่มทำปฏิกิริยาที่ผิวของกรดฟอสฟอริก และกรดซิวมิก เช่น คาร์บอกซิลิก(CO_2H) และกลุ่มฟีนอลิกไฮดรอกไซด์ จึงทำให้อนุภาคเกิดการแยกตัวและเกิดแรงผลักทางไฟฟ้าซึ่งกันและกัน ดังนั้นจึงเกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่ทำให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลงเรื่อย ๆ (Schnitzer และ Khan , 1978) ถึงแม้ว่าเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณประจุลบมีมากขึ้นเนื่องจากเกิดการกลายเป็นไอออนของกลุ่มทำปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่ผิวของสารซิวมิก และน่าจะส่งผลให้%การกำจัดค่าUV260 มีค่ามากขึ้นเนื่องจากถูกผลักออกโดยประจุลบที่ผิวของ NF เมมเบรน แต่%กำจัดค่าUV260 กลับมีค่าลดลงเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่ากลไกสำคัญในการกำจัด NOM ในรูปค่าUV260 ของNFเมมเบรนทั้งสามชนิดที่ใช้ในงานวิจัยไม่ใช่กลไกการผลักระหว่างประจุไฟฟ้าของ NOM และเมมเบรน แต่กลไกสำคัญที่ใช้คือ กลไกการกรองติดผิวของเมมเบรน ทั้งนี้นอกจากเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นจะทำให้ขนาดของสารซิวมิกเล็กลงแล้ว ยังจะทำให้การละลายได้ของสารซิวมิกมีค่ามากขึ้น และสามารถแพร่ผ่านเมมเบรนได้ง่ายขึ้น

เหตุผลสำคัญที่รองรับข้อสรุปที่ว่า กลไกสำคัญที่ใช้ในการกำจัดNOM ของNF เมมเบรนที่ใช้ในงานวิจัย คือกลไกการกรองติดผิว ก็คือการที่ %กำจัดค่าความนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.16) ทั้งนี้เหตุผลหนึ่งอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจาก ที่ค่าพีเอชต่ำจะต้องมีการปรับพีเอชของน้ำInfluentที่จะป้อนเข้าสู่ระบบโดยการใส่กรดไฮโดรคลอริก ที่มีความเข้มข้น 0.1 N จึงทำให้ปริมาณของไอออนในน้ำมีค่ามากกว่าในน้ำ Influent ที่ค่าพีเอชสูง ส่งผลให้ค่า $\Delta\pi$ ในสมการที่ 4.2 มีค่ามากขึ้น และทำให้%กำจัดค่าความนำไฟฟ้ามีค่าลดลง แต่การเติมกรดเพื่อปรับพีเอชนี้ไม่น่าจะมีผลมากนัก เนื่องจากปริมาณกรดที่ใช้ในการปรับพีเอชมีน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำดิบ คือไม่เกิน 2% (ปริมาณน้ำดิบ 5000 mL ใช้ปริมาณกรด HCl 0.1 N 100 mL เพื่อปรับพีเอชให้เท่ากับ 4) ดังนั้นจึงไม่น่าจะมีผลมากนักต่อ%กำจัดค่าความนำไฟฟ้า แต่เหตุผลสำคัญที่%กำจัดค่าความนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น น่าจะเนื่องมาจากเมื่อค่าพีเอชลดต่ำลงจะทำให้ประจุลบที่ผิวของเมมเบรนมีค่าลดลง จนถึงค่าหนึ่งที่พีเอชลดลงจนต่ำกว่า Isoelectric Point (IEP) ของเมมเบรน ที่จุดนี้ประจุของเมมเบรนจะกลายเป็นประจุบวก ส่งผลให้ไอออนสามารถแพร่ผ่านเมมเบรนได้โดยง่าย ในขณะที่เมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นเกินกว่าค่า IEP ของเมมเบรน จะทำให้ประจุของเมมเบรนกลับเป็นประจุ



รูปที่ 4.16 ก. น้ำกลองประปาสามแสน



รูปที่ 4.16 ข. น้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์

รูปที่ 4.16 ผลของพีเอชต่อ%กำจัดค่าความนำไฟฟ้าของเมมเบรนทั้งสามชนิด

ลดคั้งเดิม ซึ่งจากงานวิจัยของ Waypa และคณะ (1997) พบว่าค่าการกำจัด NaCl ในสารละลายจะลดลงเมื่อประจุลบของเมมเบรนมีค่าลดลงซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนของไอออนประจุลบ หรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางโพลีเมอร์ของเมมเบรน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างกลุ่มทำปฏิกิริยาที่อยู่ติดกัน ดังนั้นเมื่อพีเอชมีค่าสูงขึ้นจึงทำให้ค่าการกำจัดค่าความนำไฟฟ้ามีค่ามากขึ้น และจากงานวิจัยของ Waypa และคณะ (1997) นี้ ยังทำการหาค่า IEP ของ RO เมมเบรนที่ใช้ค่าความดันต่ำ (Low-pressure RO membrane) ชนิด TFCL พบว่าค่า IEP มีค่าเท่ากับ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบกับ NF เมมเบรนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ค่า IEP ของเมมเบรนทั้งสามชนิดก็น่าจะมีค่าใกล้เคียง หรือสูงกว่า 4.4 ซึ่งอยู่ในช่วงของค่าพีเอชที่ทำการศึกษา คือ 4-8 จึงทำให้เห็นผลของ%กำจัดค่าความนำไฟฟ้าที่ลดลงเมื่อพีเอชลดลงได้อย่างชัดเจน

ดังนั้นในขณะที่ความสามารถในการกำจัดไอออนซึ่งอาศัยแรงผลักทางไฟฟ้าเป็นกลไกสำคัญมีค่าลดลง เมื่อค่าพีเอชมีค่าต่ำแต่ความสามารถในการกำจัด NOM กลับมีค่าสูงขึ้น และจะมีค่าต่ำลงเมื่อ NOM มีขนาดเล็กถึงที่ค่าพีเอชสูง จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่ากลไกสำคัญที่ใช้ในการกำจัด NOM ของ NF เมมเบรนทั้งสามชนิดที่ใช้ในงานวิจัย คือกลไกการกรองคิควเมมเบรน

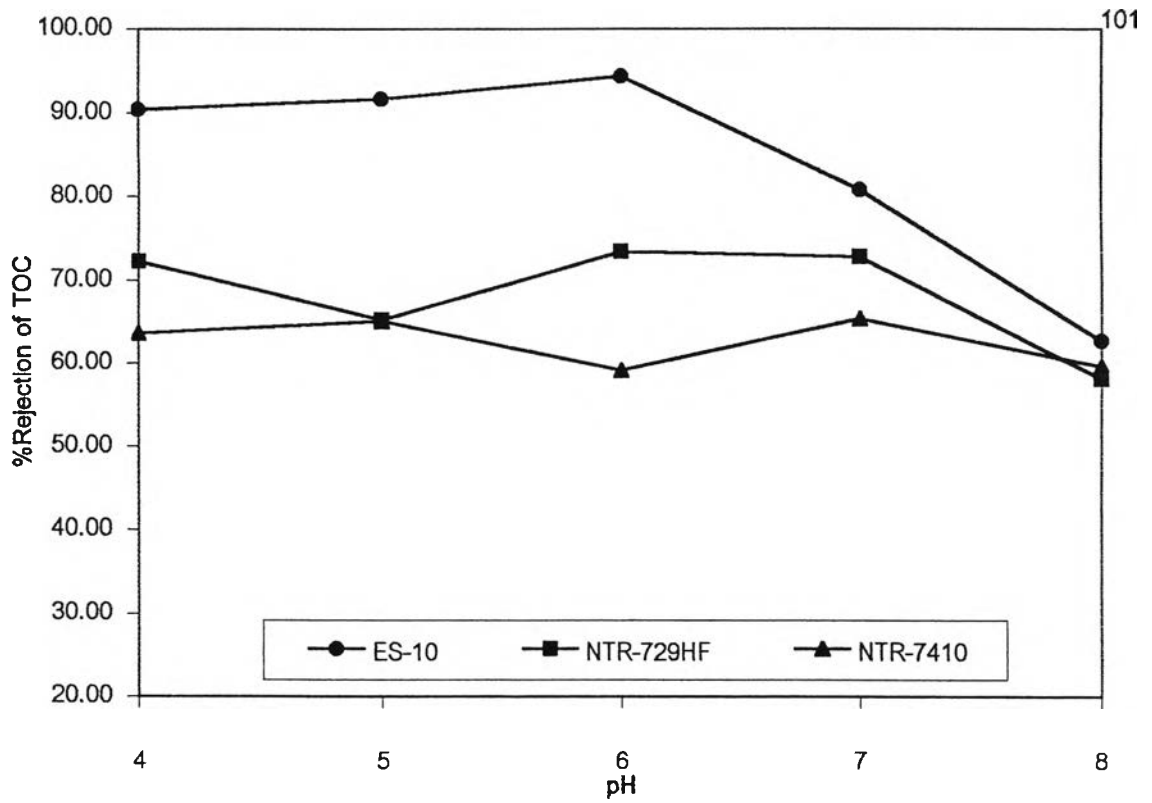
ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงข้อดีของการใช้กระบวนการ NF โดยอาศัย Conventional Process ในการผลิตน้ำประปาเดิม เป็นกระบวนการบำบัดขั้นต้น เพราะ Conventional Process เช่นการเติมสารส้มในกระบวนการโคแอกกูเลชัน จะทำให้ค่าพีเอชของน้ำลดต่ำลงนอกจากนี้จากงานวิจัยของ Najm และคณะ (1994) ยังพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด TOC และ UV₂₅₄ จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชของกระบวนการโคแอกกูเลชันมีค่าลดลง โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการโคแอกกูเลชันที่ใช้สารส้มเป็นสารโคแอกกูแลนต์มีค่าอยู่ระหว่าง 5-6 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Crozes และคณะ (1995) ซึ่งศึกษาถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอกกูเลชันในการกำจัด NOM โดยพบว่าถ้าใช้ค่าพีเอชของกระบวนการโคแอกกูเลชันให้อยู่ในช่วง 6.0 ± 0.2 จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัด NOM ได้มากถึง 65% และสามารถลดปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ได้มากถึง 60% โดยการใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์ ดังนั้นผลดีของการใช้ค่าพีเอชที่ต่ำของกระบวนการโคแอกกูเลชัน จึงเอื้อประโยชน์ต่อการใช้กระบวนการนี้เป็นกระบวนการบำบัดขั้นต้นของกระบวนการ NF ในการกำจัด NOM

4.4.2 ผลของค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่า TOC

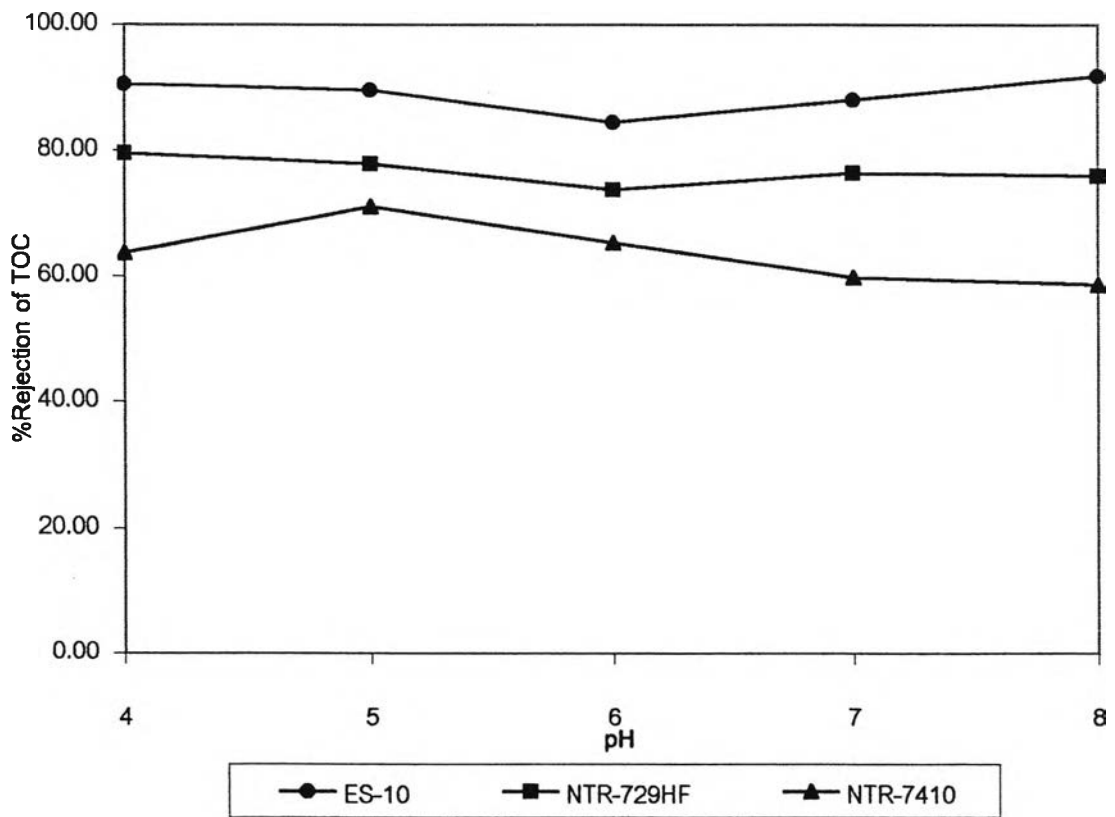
ผลของค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่า TOC ในแหล่งน้ำทั้งสองแหล่งแสดงในรูปที่ 4.17 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าผลของค่าพีเอชต่อ%กำจัดค่า TOC มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับผลของพีเอชต่อ%กำจัดค่า UV260 คือมีค่าลดลงเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ากลไกที่ใช้ในการกำจัดค่า TOC ของ NF เมมเบรนทั้งสามชนิด ก็ยังคงอาศัยกลไกการกรองคอลลอยด์เป็นกลไกสำคัญ ถึงแม้ว่าขนาดโมเลกุลบางส่วนของ NOM ที่วัดในรูปค่า TOC จะมีขนาดเล็กกว่า NOM ที่วัดในรูปค่า UV260 แต่ก็ยังมีขนาดใหญ่กว่ามากถ้าเทียบกับขนาดของอออนต่าง ๆ ซึ่งถูกกำจัดโดยแรงผลักดันระหว่างประจุไฟฟ้าที่ผิวของเมมเบรน ดังนั้นจึงยังคงอาศัยกลไกการกรองคอลลอยด์เป็นกลไกสำคัญในการกำจัด แต่เมื่อเทียบกับ%กำจัดค่า UV260 แล้ว %กำจัดค่า TOC ก็ยังมีค่าน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากอาจมีโมเลกุลของ NOM บางส่วนที่มีขนาดเล็กมากจนสามารถแพร่ผ่านเมมเบรนไปได้ และเนื่องจากกลไกในการกำจัดคือ การกรองคอลลอยด์เมมเบรน ดังนั้น อนุภาค NOM จึงมีโอกาสที่จะเข้าไปใกล้ผิวของเมมเบรนได้มากกว่าการถูกผลักออกโดยประจุไฟฟ้าที่ผิวของเมมเบรน ทำให้โอกาสที่โมเลกุล NOM ขนาดเล็กจะแพร่ผ่านก็มีมากขึ้น

4.4.3 ผลของค่าพีเอชต่อค่าฟลักซ์

ผลของค่าพีเอชต่อค่าฟลักซ์ของน้ำจากแหล่งน้ำทั้งสองแหล่งแสดงในรูปที่ 4.18 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าพีเอชไม่มีผลต่อค่าฟลักซ์ของเมมเบรนทั้งสามชนิด ถึงแม้ว่าที่ค่าพีเอชสูงขึ้น ค่าฟลักซ์ของ NOM จะมีค่ามากขึ้นและที่ค่าพีเอชค่าฟลักซ์ของอออนต่าง ๆ จะมีค่ามากขึ้นก็ตาม แต่การเพิ่มขึ้นของค่าฟลักซ์ของตัวถูกละลายทั้งสองนี้ถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าฟลักซ์ของน้ำ Permeate ดังนั้นจึงไม่มีผลต่อค่าฟลักซ์รวมของเมมเบรนทั้งสามชนิด โดยค่าเฉลี่ยของค่าฟลักซ์สำหรับการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสน และน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ของเมมเบรนชนิด ES-10 NTR-729HF และ NTR-7410 มีค่าเท่ากับ 6.17 8.60 94.00 *10⁻⁷ m/s และ 3.05 9.89 25.03 *10⁻⁷ m/s ตามลำดับ

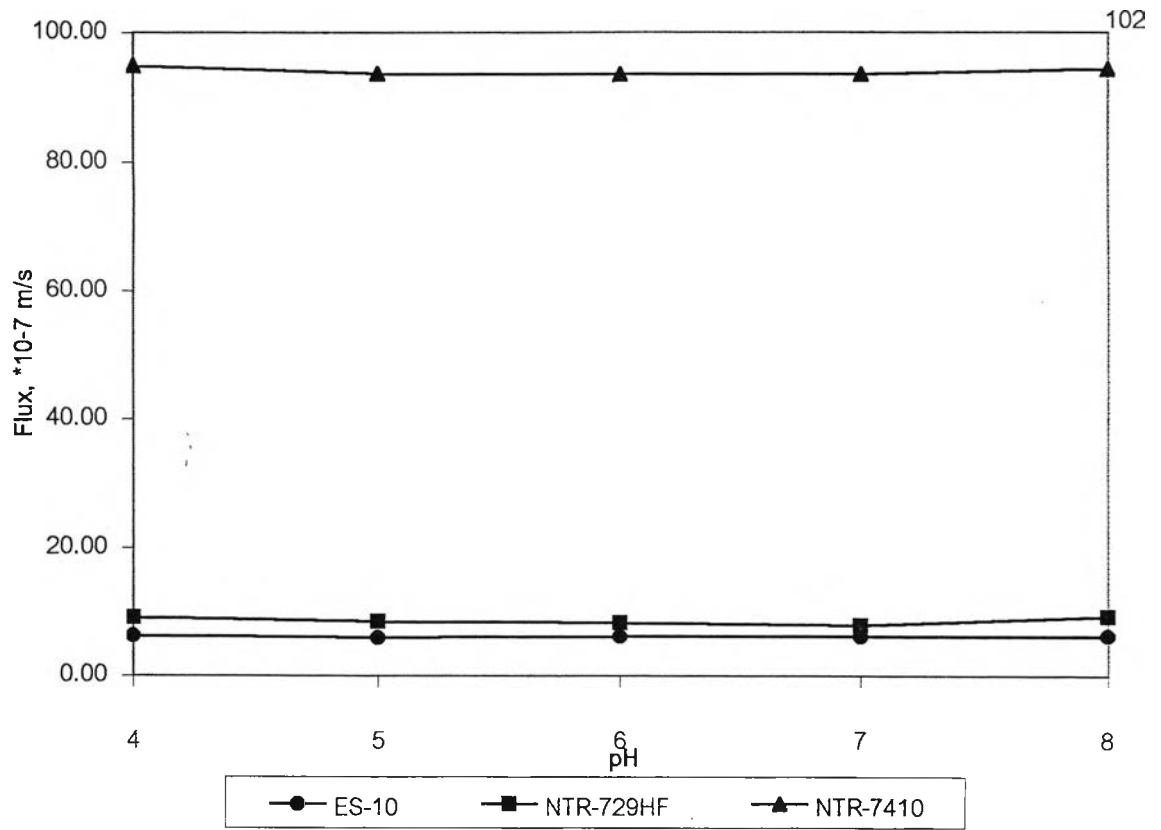


รูปที่ 4.17 ก. น้ำคลองประปาสามเสน

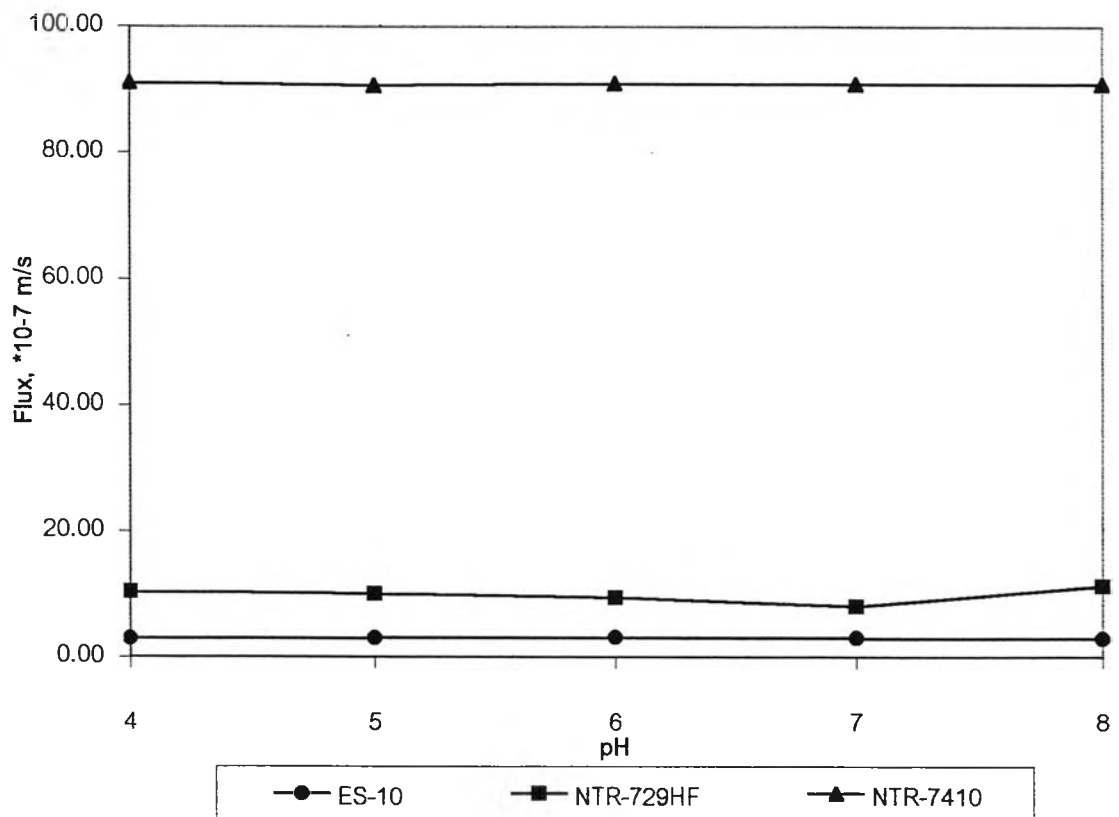


รูปที่ 4.17 ข. น้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์

รูปที่ 4.17 ผลของพีเอชต่อ%กำจัดค่า TOC ของเมมเบรนทั้งสามชนิด



รูปที่ 4.18 ก. น้ำคลองประปาสามเสน



รูปที่ 4.18 ข. น้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์

รูปที่ 4.18 ผลของพีเอชต่อค่าฟลักซ์ของเมมเบรนทั้ง 3 ชนิด

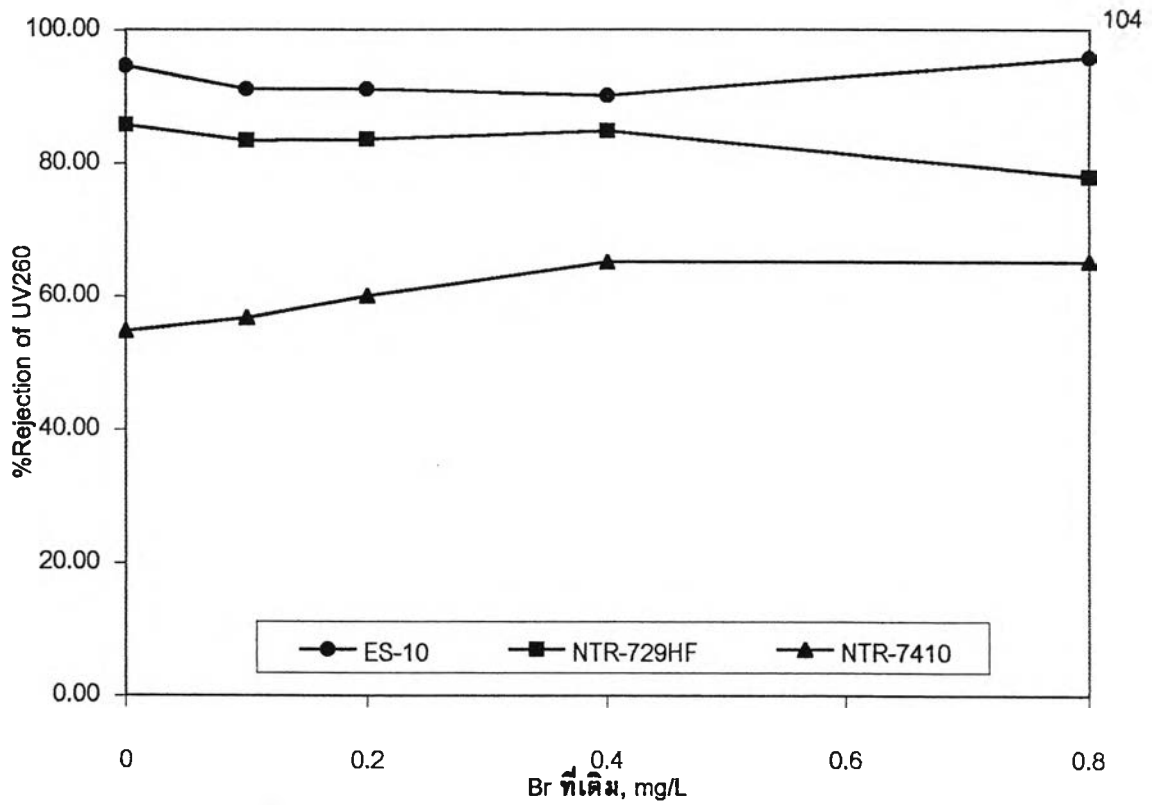
4.5 ผลของค่าความเข้มข้นของโบรไมด์

4.5.1 ผลของค่าความเข้มข้นของโบรไมด์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่าUV260

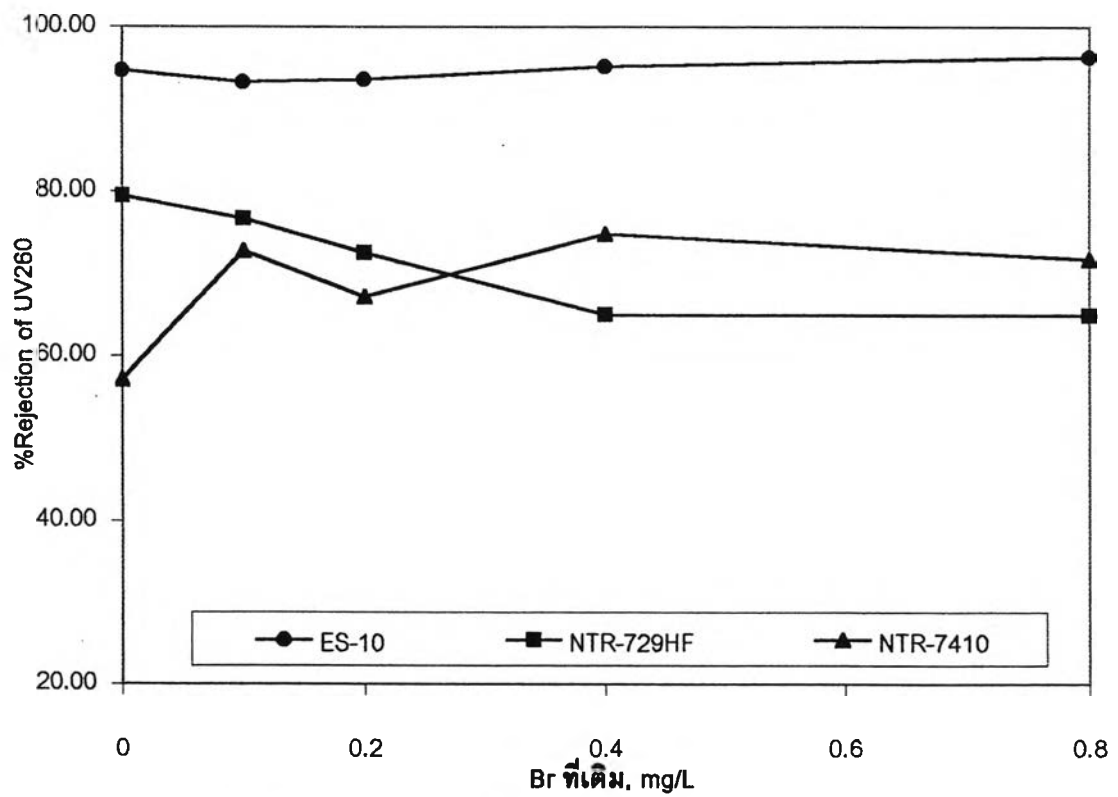
ผลของค่าความเข้มข้นของโบรไมด์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่าUV260 ของน้ำจากคลองประปาสามเสนและน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์แสดงในรูปที่ 4.19 จากผลการทดลองจะเห็นว่าความเข้มข้นของโบรไมด์ที่เติมลงไปในน้ำ Influent ในช่วงค่าที่ใช้ คือ 0-0.8 mg/L ไม่มีผลต่อ%กำจัดค่าUV260 ในน้ำจากทั้งสองแหล่ง โดยเห็นได้ชัดกับน้ำจากคลองประปาสามเสนซึ่ง %กำจัดค่าUV260 มีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ดูรูปที่ 4.19 ก.) โดยความแตกต่างนี้เกิดขึ้นเนื่องจากในงานวิจัยใช้น้ำจากแหล่งน้ำจริงในการทดลองจึงไม่สามารถควบคุมให้ลักษณะสมบัติของน้ำมีค่าสม่ำเสมอตลอด เช่น ปริมาณอ็อกซิเจนต่าง ๆ ในน้ำ ซึ่งจะมีค่าค่อนข้างแตกต่างกันไปในแต่ละครั้งของการทดลอง จึงทำให้ประสิทธิภาพของเมมเบรนมีค่าแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย เช่นเดียวกับการดำเนินการระบบกับน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ที่ถึงแม้ว่าความแตกต่างกันของ %กำจัดค่าUV260 จะมีค่ามากกว่าน้ำจากคลองประปาสามเสน (ดูรูปที่ 4.19 ข.) แต่ก็ไม่มากนักและไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน ความแตกต่างนอกจากจะเกิดจากไม่สม่ำเสมอของลักษณะสมบัติของน้ำ Influent ที่ใช้ในแต่ละครั้งของการทดลองแล้วยังอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากค่า UV260 ของน้ำPermeate ที่มีค่าน้อยมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับน้ำPermeate ของเมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF ซึ่งบางครั้งมีค่าอยู่ที่ทศนิยมตำแหน่งที่สาม (ตารางที่ ก6. ภาคผนวก ก.) ทำให้ความแม่นยำของการวัดค่า UV260 มีค่าน้อยลงไป ส่งผลให้ค่า%กำจัดค่าUV260 มีความแตกต่างกันบ้าง และเมื่อดูจากผลของค่าความเข้มข้นของโบรไมด์ต่อ%กำจัดค่าความนำไฟฟ้าสำหรับแหล่งน้ำทั้งสองแหล่ง ในรูปที่ 4.20 แล้วก็จะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับ%กำจัดค่าUV260 คือ ไม่มีแนวโน้มที่แน่นอน ซึ่งค่า%กำจัดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำทั้งสองแหล่งในชุดการทดลองนี้ เมื่อเทียบกับในชุดการทดลองที่ศึกษาถึงผลของปัจจัยอื่น ๆ แล้ว ยังพบว่า มีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงว่าปริมาณโบรไมด์ในช่วงค่าที่เติมลงไปนั้นไม่ได้รับผลทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเมมเบรนเปลี่ยนแปลงไป ทั้งในการกำจัดสารอินทรีย์และอ็อกซิเจน โดยค่าเฉลี่ยในการกำจัดค่าUV260 ของน้ำทั้งสองแหล่ง สำหรับเมมเบรนทั้งสามชนิด คือ ES-10 NTR-729HF และNTR-7410 มีค่าประมาณ 90% 80% และ60% ตามลำดับ

4.5.2 ผลของความเข้มข้นโบรไมด์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่าTOC

ผลของความเข้มข้นโบรไมด์ต่อ%กำจัดค่าTOC ของน้ำจากคลองประปาสามเสนและน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ แสดงในรูปที่ 4.21 จากรูปจะเห็นว่าผลของความเข้มข้นโบรไมด์ต่อ%กำจัดค่าTOC ไม่มีแนวโน้มที่แน่นอนเช่นเดียวกับ%กำจัดค่าUV260 แต่จะเห็นความแตกต่างที่ค่อนข้าง

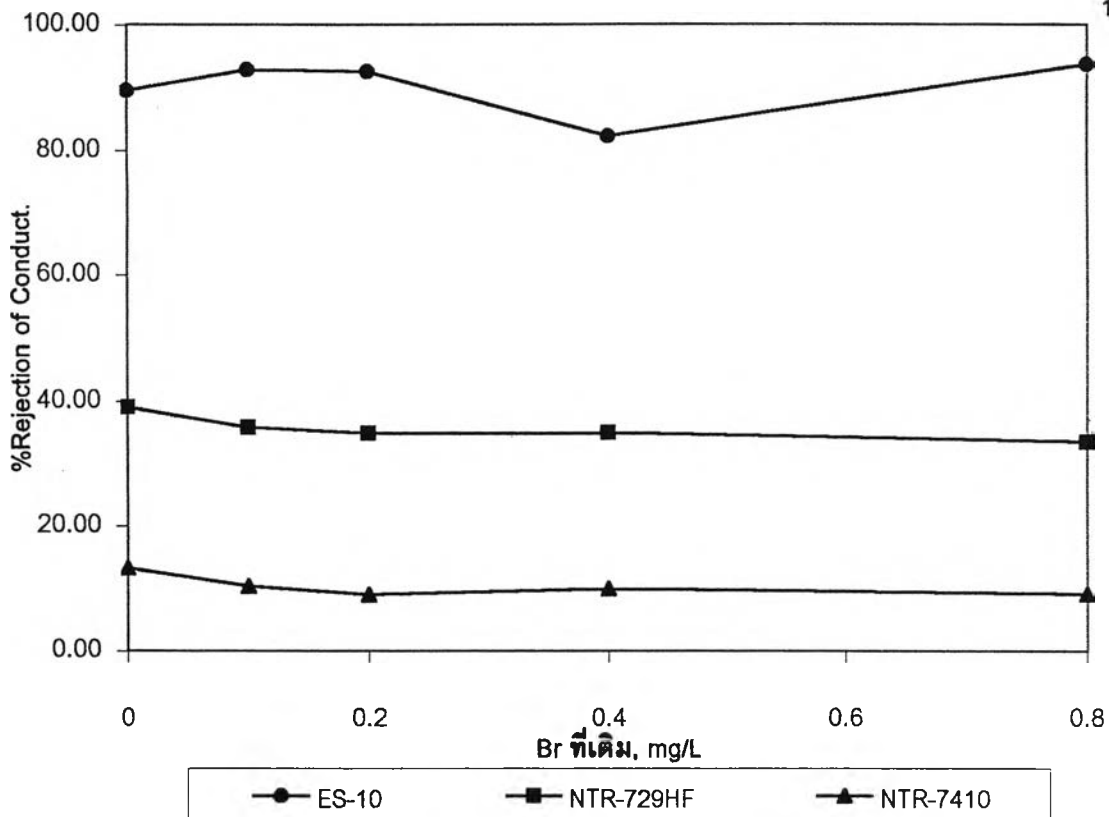


รูปที่ 4.19 ก. น้ำกลองประปาสามเสน

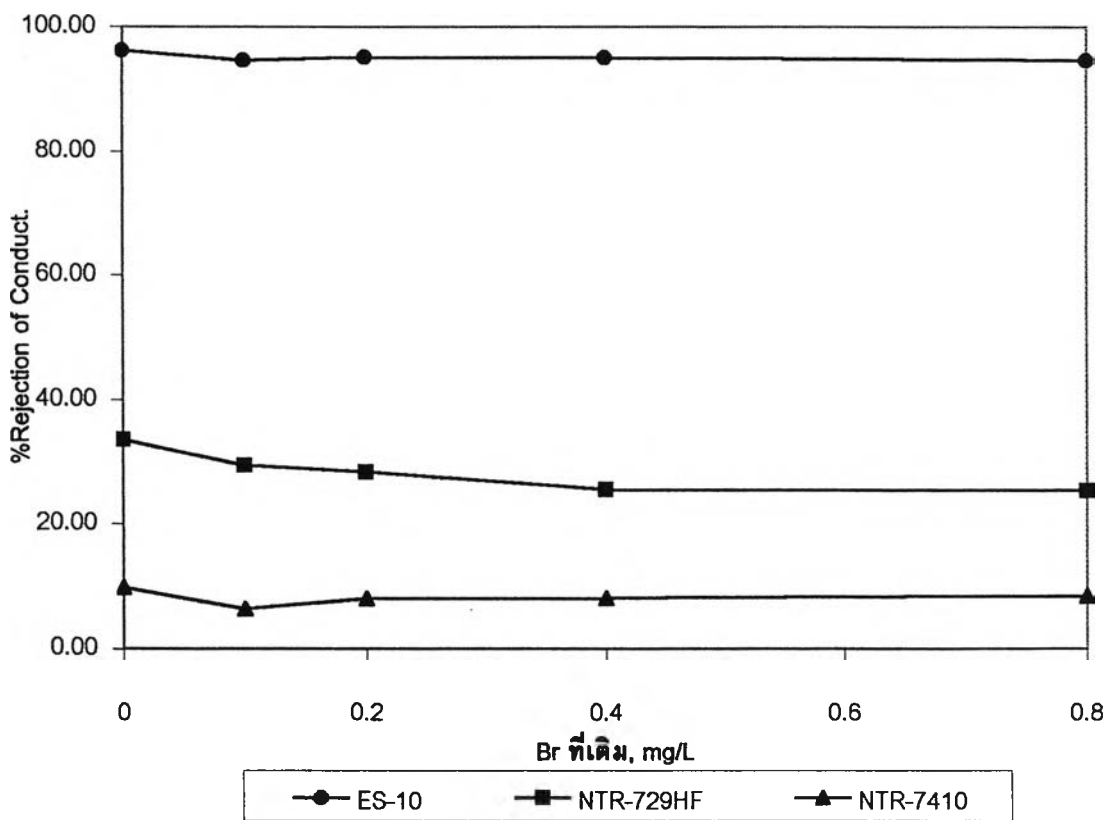


รูปที่ 4.19 ข. น้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์

รูปที่ 4.19 ผลของความเข้มข้น Br⁻ ต่อ%กำจัดค่า UV260 ของเมมเบรนทั้งสามชนิด

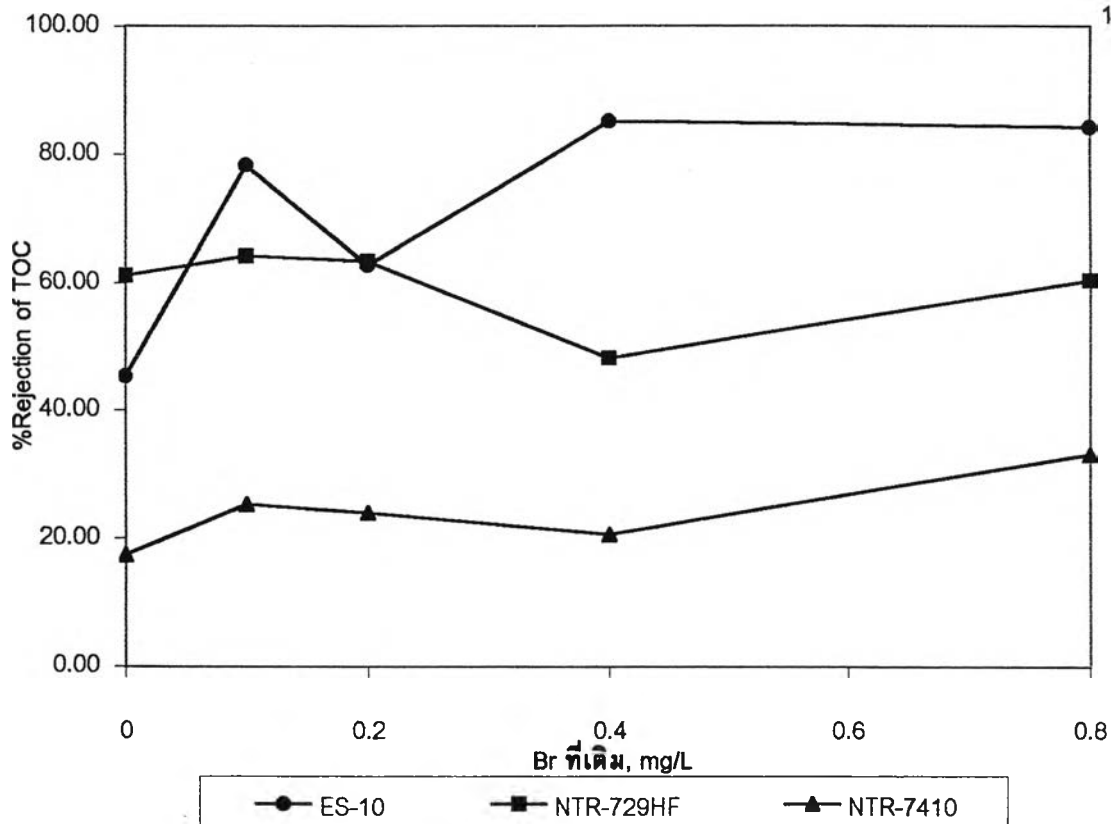


รูปที่ 4.20 ก. น้ำคลองประปาตามสวน

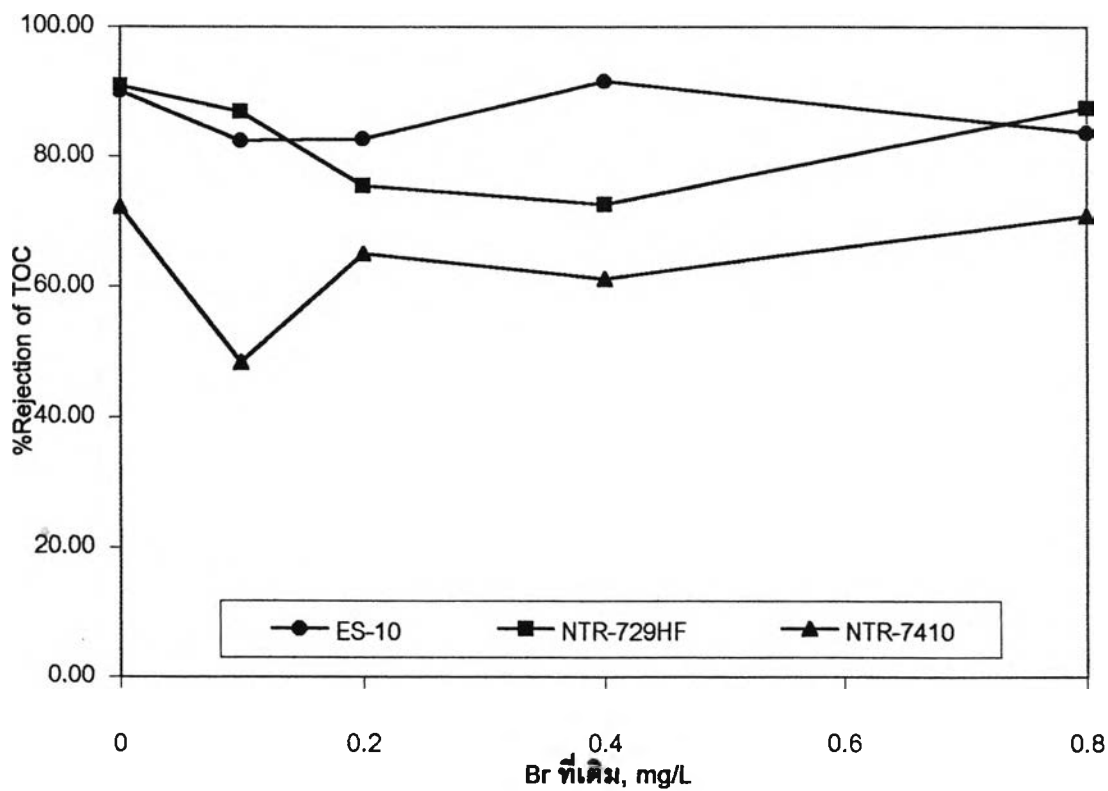


รูปที่ 4.20 ข. น้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์

รูปที่ 4.20 ผลของความเข้มข้นBr⁻ ต่อ%กำจัดค่าความนำไฟฟ้าของเมมเบรนทั้งสามชนิด



รูปที่ 4.21 ก. น้ำคลองประปาตามสวน



รูปที่ 4.21 ข. น้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์

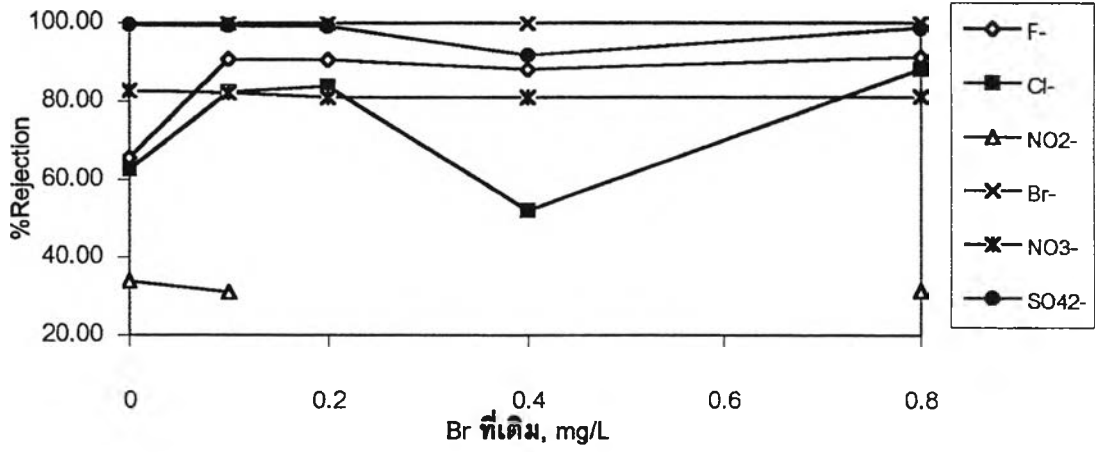
รูปที่ 4.21 ผลของความเข้มข้น Br⁻ ต่อ %กำจัดค่า TOC ของเมมเบรนทั้งสามชนิด

ข้างชัดเจนกว่า%กำจัดค่าUV260 ซึ่งความแตกต่างนี้ก็น่าจะมีสาเหตุมาจากความไม่สม่ำเสมอของลักษณะสมบัติของน้ำ Influent ที่ใช้ในแต่ละครั้งของการทดลอง โดยเฉพาะกับค่าTOC ซึ่งบางครั้งมีค่าแตกต่างกันมากถึง 2 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 6. ภาคผนวก ก. ทำให้ความแตกต่างกันของ%กำจัดค่าTOC บางค่าเห็นได้ชัดเจนสำหรับแต่ละเมมเบรน

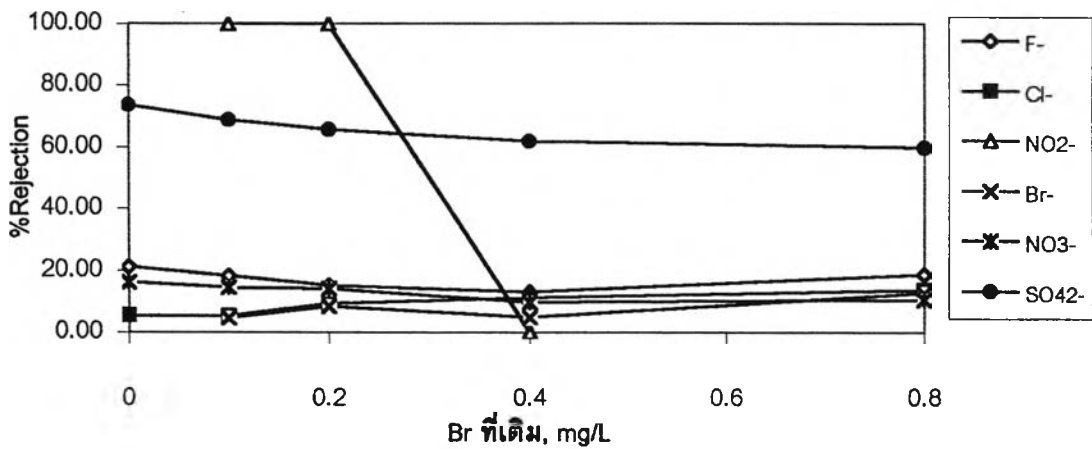
4.5.3 ผลของความเข้มข้นโบรไมด์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดโบรไมด์

ผลของความเข้มข้นโบรไมด์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดโบรไมด์รวมถึงอออนลบชนิดอื่น ๆ ของน้ำจากคลองประปาสามเสน และน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์สำหรับแต่ละชนิดของเมมเบรนแสดงในรูปที่ 4.22 และ 4.23 ตามลำดับ จากรูปจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของโบรไมด์ในช่วงค่าที่ใช้ไม่มีผลต่อ%กำจัดโบรไมด์ของเมมเบรนทั้งสามชนิดโดย เมมเบรนชนิด ES-10 สามารถกำจัดโบรไมด์ได้มากจนไม่สามารถตรวจพบโดยเครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้ ส่วนเมมเบรนชนิดNTR-729HF กำจัดโบรไมด์ได้น้อยโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.60% และ 4.38% สำหรับน้ำจากคลองประปาสามเสน และน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ ตามลำดับ และเมมเบรนชนิด NTR-7410 กำจัดโบรไมด์ได้น้อยที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยสำหรับน้ำจากคลองประปาสามเสนเท่ากับ 2.78% และสำหรับน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์เท่ากับ 1.63% และจากผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าไม่พบโบรไมด์ในน้ำคืบจากแหล่งน้ำทั้งสองแหล่งด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้

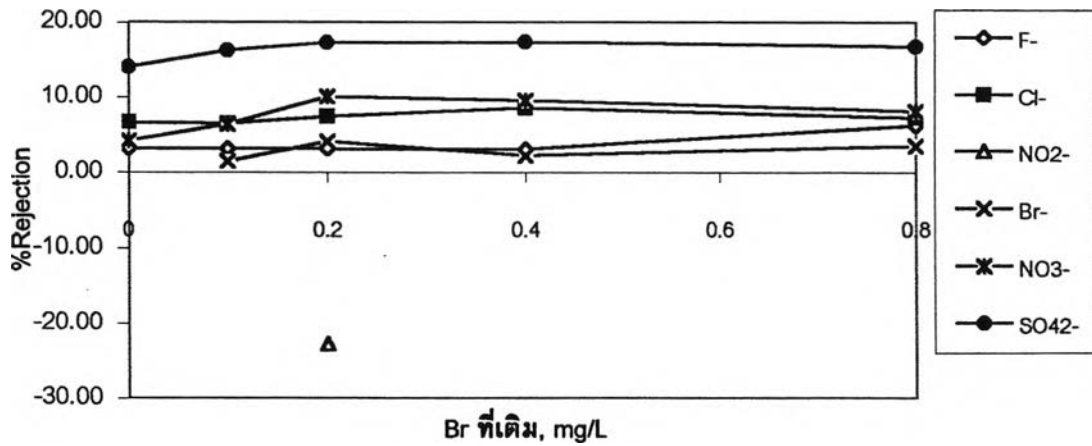
การที่เมมเบรนชนิด ES-10 สามารถกำจัดโบรไมด์ได้มากจนไม่สามารถตรวจพบได้ มีเหตุผลมาจากลักษณะสมบัติของเมมเบรนที่มีความหนาแน่นของประจุที่ผิวเมมเบรนสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับเมมเบรนชนิด NTR-729HF และ NTR-7410 ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เมมเบรนชนิด ES-10 ยังคงสามารถกำจัดอออนลบวาเลนซ์เดี่ยว (Monovalent anion) ได้มากถึงแม้จะใช้ค่าความดันต่ำกว่าสารละลายที่ประกอบไปด้วยอออนหลาย ๆ ชนิดดังจะเห็นได้จากผลการทดลองที่เมมเบรนชนิด ES-10 ยังสามารถกำจัด F^- Cl^- และ NO_3^- ซึ่งเป็นอออนลบวาเลนซ์เดี่ยวได้มากอีกด้วย ส่วน SO_4^{2-} ซึ่งเป็นอออนวาเลนซ์ลบสอง นั้นถูกกำจัดจนเกือบหมด ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลที่ได้จากงานวิจัยของ Ratanatamskul และคณะ (1996) ที่พบว่าเมมเบรนที่มีความหนาแน่นของประจุที่ผิวสูงที่ใช้ในงานวิจัย คือชนิด NTR-759HR (ซึ่งถูกพัฒนาต่อมาเป็นเมมเบรนชนิด ES-10) ยังคงสามารถกำจัดอออนลบวาเลนซ์เดี่ยวในสารละลายผสมได้มาก โดยใช้ค่าความดันอย่างน้อย 2 bar นอกจากนี้%กำจัดโบรไมด์ที่สูงของเมมเบรนชนิด ES-10 ยังเนื่องมาจากปริมาณความเข้มข้นของโบรไมด์ที่ใช้มีค่าน้อยมาก คืออยู่ในช่วงเพียง 0-0.8 mg/L ทำให้ปริมาณโบรไมด์ในน้ำPermeateมีค่าน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้ แต่หากจะเปรียบเทียบกับอออนลบวาเลนซ์เดี่ยวชนิดอื่น ๆ แล้ว จะเห็นว่าเมมเบรนชนิด ES-10 สามารถกำจัดโบรไมด์ได้ดีที่สุด ซึ่งทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากขนาด



รูปที่ 4.22 ก. เมมเบรนชนิด ES-10

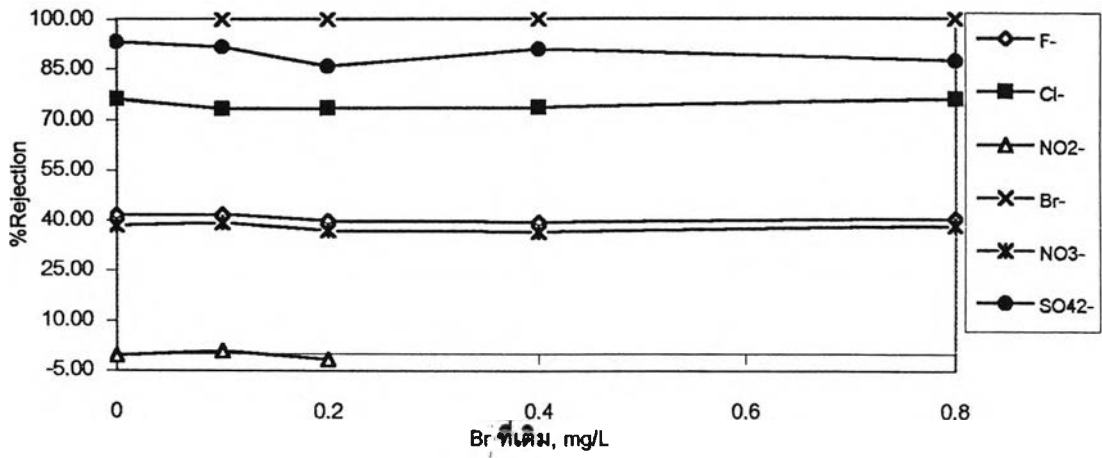


รูปที่ 4.22 ข. เมมเบรนชนิด NTR-729HF

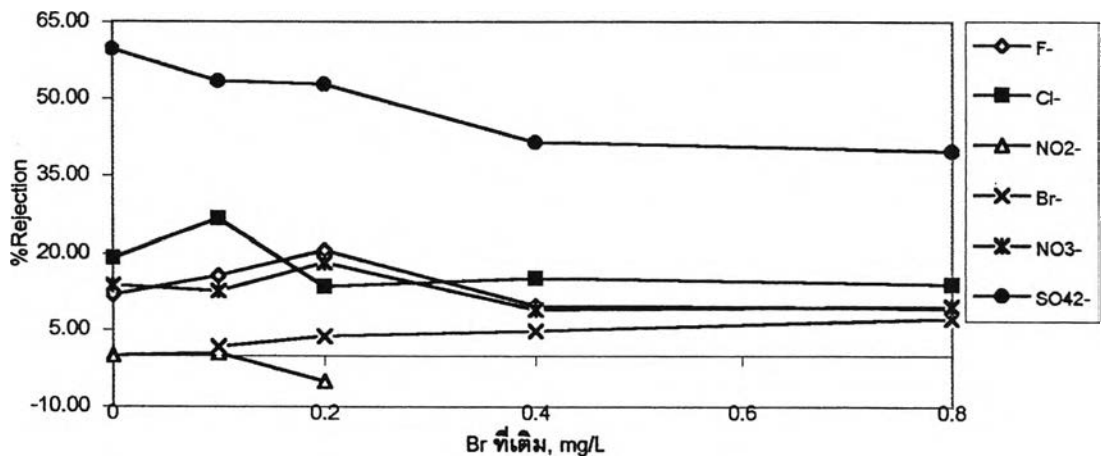


รูปที่ 4.22 ค. เมมเบรนชนิด NTR-7410

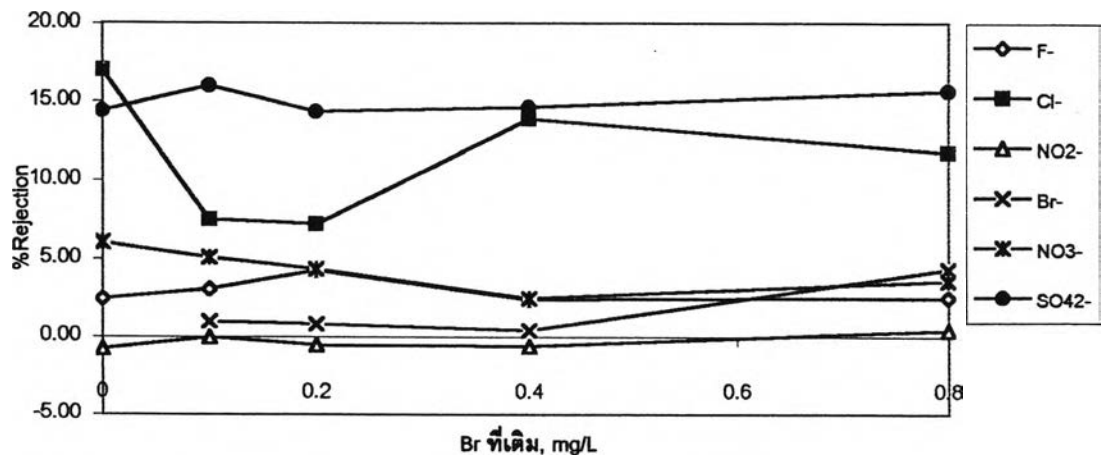
รูปที่ 4.22 ผลของความเข้มข้น Br⁻ ต่อ % กำจัดไอออนลบบางชนิดและ Br⁻ (น้ำคลองประปาสามเสน)



รูปที่ 4.23 ก. เมมเบรนชนิด ES-10



รูปที่ 4.23 ข. เมมเบรนชนิด NTR-729HF



รูปที่ 4.23 ค. เมมเบรนชนิด NTR-7410

รูปที่ 4.23 ผลของความเข้มข้น Br⁻ ต่อ % กำจัดไอออนลบบางชนิดและ Br⁻ (นำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์)

โมเลกุลที่ใหญ่กว่าของโบรไมด์ โดยพิจารณาจากค่าน้ำหนักโมเลกุลที่มากถึง 79.90 ส่งผลให้ความสามารถในการแพร่ผ่าน NF เมมเบรนของโบรไมด์มีค่าน้อย ซึ่งทำให้ค่า ฟลักซ์ของโบรไมด์มีค่าน้อยตามไปด้วย

สำหรับเมมเบรนชนิด NTR-729HF ซึ่งมีความหนาแน่นของประจุที่ผิวไม่มากนัก (Ratanatamskul และคณะ , 1998) จึงกำจัดโบรไมด์และอออนลบวาเลนซ์เดี่ยวอื่น ๆ ที่อยู่ในสารละลายผสมได้น้อยที่ค่าความดันต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.22 ข. และ 4.23 ข. แต่ยังคงพบว่าสามารถกำจัด SO_4^{2-} ซึ่งเป็นอออนวาเลนซ์ลบสองได้ค่อนข้างมาก คือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 66% แต่เมื่อเทียบกับการใช้เมมเบรนชนิดนี้ในการกำจัดสารละลายผสมของ 0.32 mM ของ MgSO_4 และ 1.4 mM ของ KNO_3 ในงานวิจัยของ Ratanatamskul และคณะ (1998) ที่สามารถกำจัด SO_4^{2-} ได้เกือบ 100% เมื่อใช้ค่าความดันมากกว่า 1 bar แล้วยังพบว่า %กำจัด SO_4^{2-} มีค่าต่ำกว่าค่อนข้างมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่ามากกว่าและมีชนิดของอออนหลากหลายกว่ามาก เพราะเป็นการดำเนินระบบกับน้ำจากแหล่งน้ำจริง ส่วนเมมเบรนชนิด NTR-7410 ซึ่งมีความหนาแน่นของประจุที่ผิวเมมเบรนน้อยที่สุด จึงทำให้กำจัดโบรไมด์และอออนลบวาเลนซ์เดี่ยวอื่น ๆ ในน้ำทั้งสองแหล่งได้น้อยมาก และถึงแม้จะสามารถกำจัด SO_4^{2-} ซึ่งเป็นอออนลบวาเลนซ์ลบสองได้มากกว่าอออนลบวาเลนซ์เดี่ยว แต่ก็ยังถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับเมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF ซึ่งสอดคล้องกับผลของงานวิจัยของ Tsuru และคณะ(1991) ที่ใช้เมมเบรนชนิด NTR-7410 ในการกำจัดอออนชนิดต่าง ๆ คือ Na^+ Mg^{2+} Cl^- และ SO_4^{2-} ในน้ำทะเลสังเคราะห์ โดยใช้ค่าความดันตั้งแต่ 4-20 bar โดยพบว่าเมมเบรนชนิด NTR-7410 กำจัดอออนทุกชนิดได้น้อยมากโดยกำจัด SO_4^{2-} ได้ไม่เกิน 20% ในช่วงความดันที่ใช้ และสรุปว่า %กำจัดอออนที่ต่ำของเมมเบรนชนิดนี้เป็นผลมาจากความหนาแน่นประจุที่ผิวของเมมเบรนมีค่าต่ำ และยังสรุปอีกว่า การกำจัดอออนโดยเมมเบรนที่มีประจุในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง จะเกิดขึ้นเนื่องจากแรงผลักทางไฟฟ้าเท่านั้น โดยไม่ต้องคำนึงถึงผลของการกรองตึผิวเมมเบรน

ข้อสังเกตจากผลการทดลองกับน้ำจากแหล่งน้ำทั้งสองแหล่ง จะพบว่าเกือบทุกครั้งของการทดลองที่ %กำจัด NO_2^- จะมีค่าเป็นลบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการดำเนินระบบกับน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ (รูปที่ 4.23) นอกจากนี้ยังพบว่าบางครั้งตรวจไม่พบ NO_2^- ในน้ำ Influent แต่กลับพบในน้ำ Permeate (ดูตารางที่ ก7. และ ก8. ภาคผนวก ก.) ทั้งนี้ น่าจะเนื่องมาจากการที่ NF เมมเบรนที่มีประจุจะสามารถกำจัด NO_3^- และ NO_2^- ได้น้อยกว่าอออนลบวาเลนซ์เดี่ยวชนิดอื่น ๆ ซึ่งสามารถอธิบายโดยใช้พารามิเตอร์ที่แสดงถึงการแบ่งแยกอออนที่ผิวสัมผัสของเมมเบรนและสารละลาย (Partitioning of ions at membrane - solution interfaces) (Ratanatamskul และคณะ, 1996 และ 1998) ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า Anomalous Effect ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อเมมเบรนมีค่าฟลักซ์ต่ำ ทำ

ให้ Dilution Effect มีผลน้อยลงจนส่งผลให้ความเข้มข้นของ NO_3^- และ NO_2^- ในน้ำ Permeate มีค่ามากกว่าในน้ำ Influent นอกจากนี้ยังอาจจะเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนเป็น NO_2^- จากการตรวจพบโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำจากคลองประปาสามเสน และพบแบคทีเรียชนิดอื่นในน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ในกระบวนการวิเคราะห์หาโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และการดำเนินระบบที่ทำการเวีย่นน้ำ Concentrate กลับสู่อ่างน้ำดิบตลอดเวลาในระบบเปิด (ดูรูปที่ 3.20) ทำให้มีปริมาณออกซิเจนและเวลาที่พอเพียงในการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ซึ่งสมมติฐานข้อนี้ยังไม่กระจ่างนัก จึงควรที่จะมีการศึกษาเพื่อหาเหตุผลที่แท้จริงต่อไป

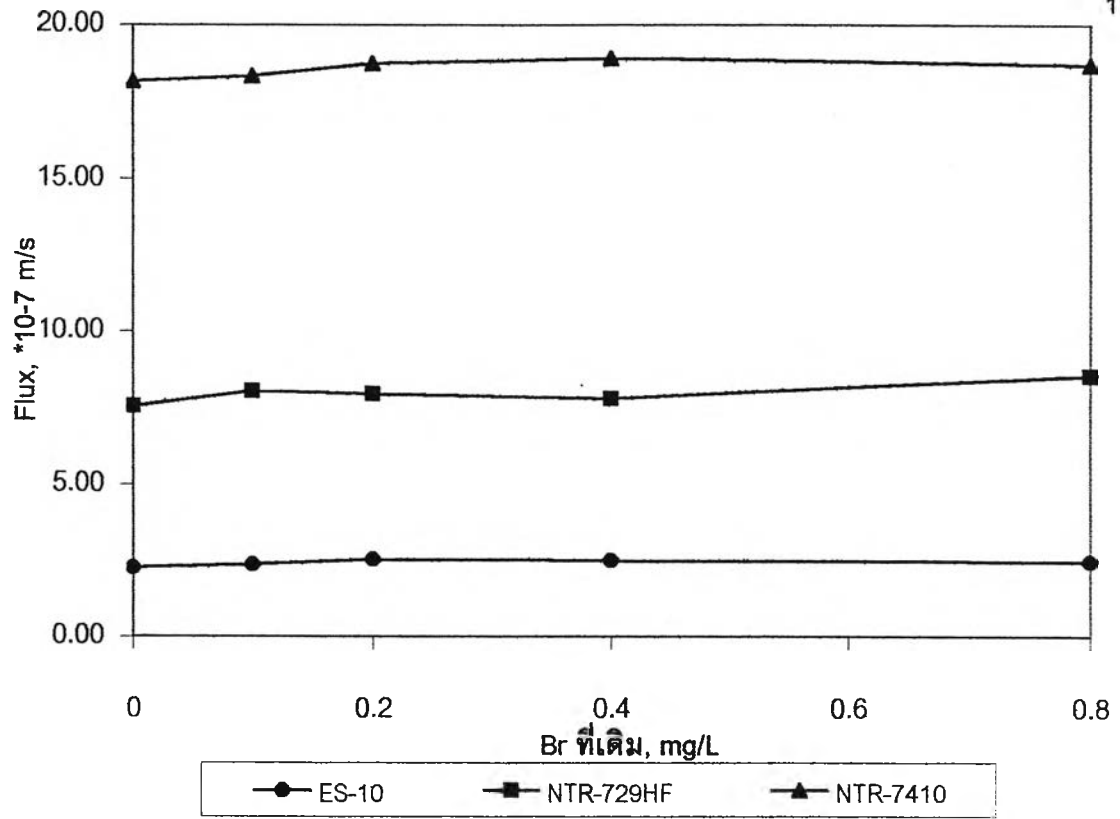
4.5.4 ผลของความเข้มข้นโบรไมด์ต่อค่าฟลักซ์

ผลของความเข้มข้นโบรไมด์ต่อค่าฟลักซ์ในการดำเนินระบบกับแหล่งน้ำทั้งสองแหล่งแสดงในรูปที่ 4.24 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นโบรไมด์ในช่วงค่าที่ใช้ไม่มีผลต่อค่าฟลักซ์ของเมมเบรนทั้งสามชนิด เนื่องจากความเข้มข้นที่ใช้มีค่าต่ำมาก (0-0.8 mg/L) ซึ่งไม่มีนัยสำคัญมากพอที่จะเพิ่มค่า $\Delta\pi$ ในสมการที่ 2.7 จนมีผลต่อค่าความดันที่ให้โดยเครื่องสูบน้ำ ทำให้ค่าฟลักซ์ไม่ลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโบรไมด์จนถึงค่าที่มากที่สุดที่ใช้ คือ 0.8 mg/L โดยค่าเฉลี่ยของค่าฟลักซ์สำหรับการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสน และน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ ของเมมเบรนชนิด ES-10 NTR-729HF และ NTR-7410 มีค่าเท่ากับ $2.44 \ 7.98 \ 18.56 \times 10^{-7}$ m/s และ $2.46 \ 4.62 \ 19.00 \times 10^{-7}$ m/s ตามลำดับ

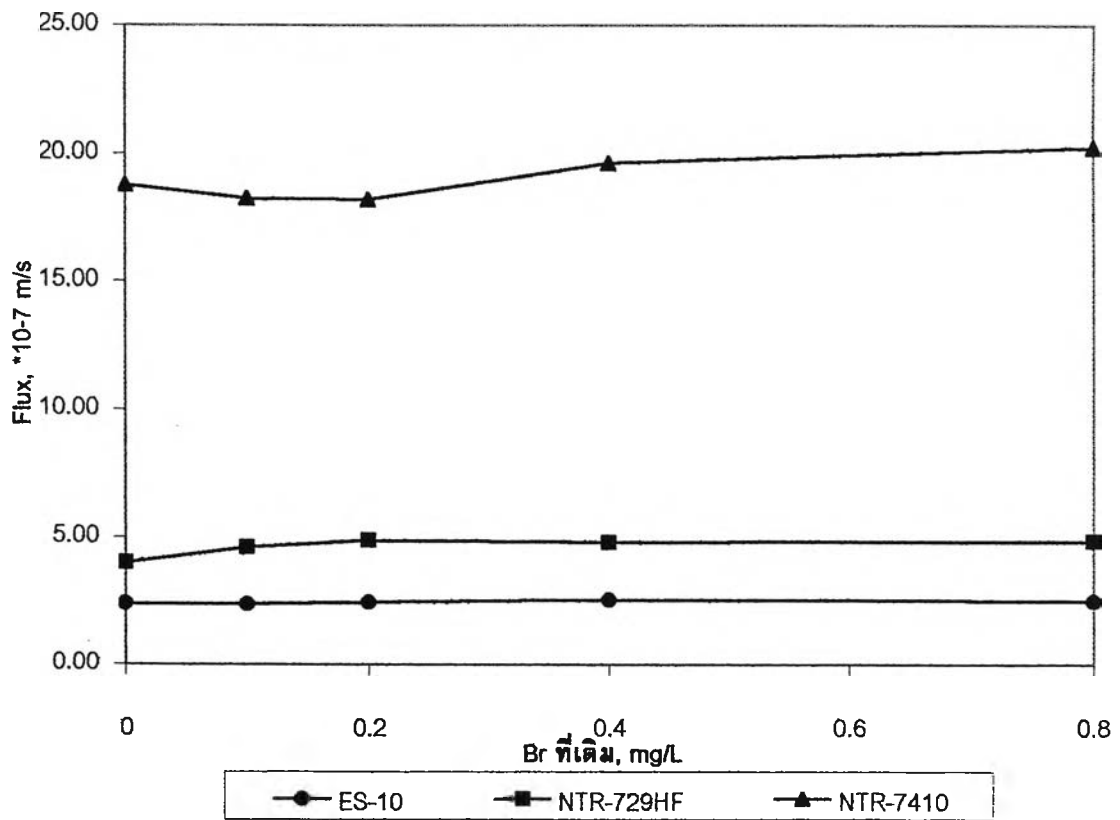
4.6 อัตราส่วนค่า UV₂₆₀ ต่อ TOC

รูปที่ 4.25 และ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า UV₂₆₀ และค่า TOC ของน้ำ Influent และน้ำ Permeate สำหรับการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสนและน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ตามลำดับ จากการวิเคราะห์โดยใช้ Least-squares linear regression analysis จะสามารถหาค่าอัตราส่วน UV₂₆₀ ต่อ TOC ซึ่งคือ ค่าความชันของเส้นกราฟ โดยผลที่ได้พบว่าค่า UV₂₆₀:TOC ของน้ำ Influent และน้ำ Permeate สำหรับน้ำจากคลองประปาสามเสนมีค่าเท่ากับ 0.0507 และ 0.0219 $\text{cm}^{-1}:\text{mg/L}$ ตามลำดับ ในขณะที่ค่า UV₂₆₀:TOC ของน้ำ Influent และน้ำ Permeate สำหรับน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์มีค่าเท่ากับ 0.0057 และ 0.0072 $\text{cm}^{-1}:\text{mg/L}$ ตามลำดับ

ค่า UV₂₆₀:TOC ของน้ำดิบจากคลองประปาสามเสนที่ได้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0507 ถือว่าค่อนข้างสูง แสดงให้เห็นว่า NOM ที่อยู่ในแหล่งน้ำดิบโดยส่วนใหญ่เป็นสารฮิวมิก ซึ่งข้อสรุปนี้ได้มาจากผลของงานวิจัยของ Edzwald และคณะ (1985) ที่สรุปว่า ในแหล่งน้ำที่มี NOM โดยส่วนใหญ่

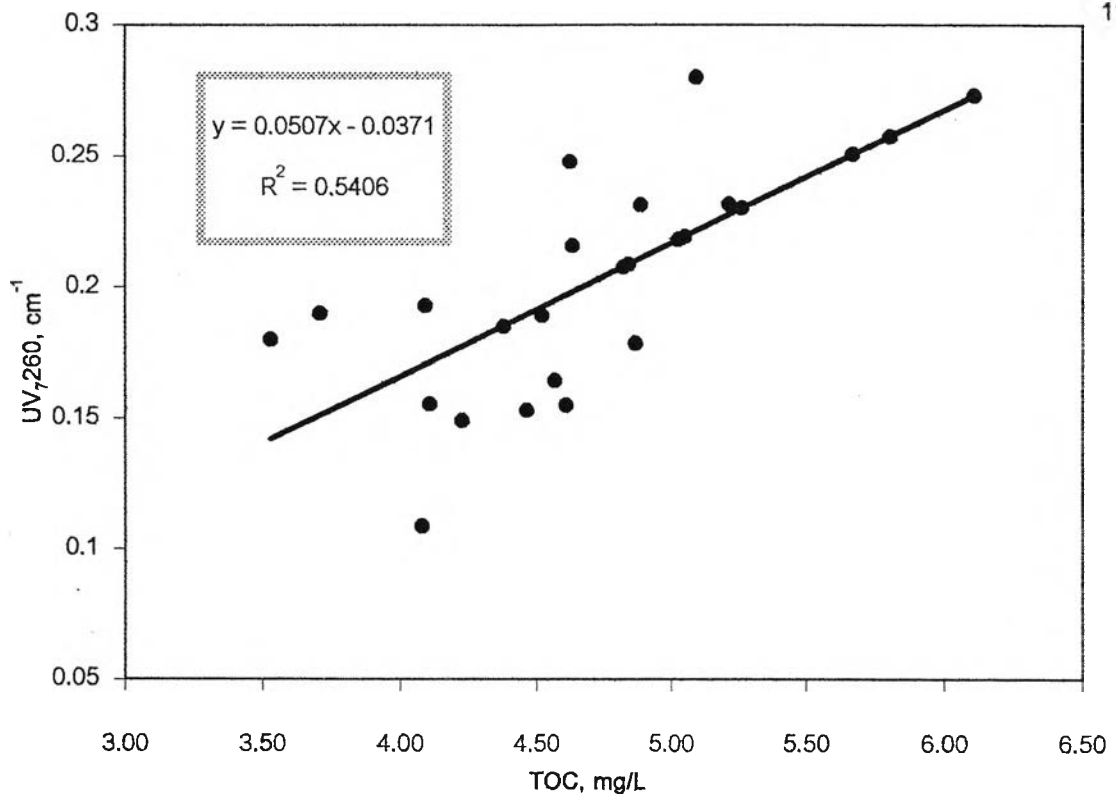


รูปที่ 4.24 ก. น้ำคลองประปาสามเสน

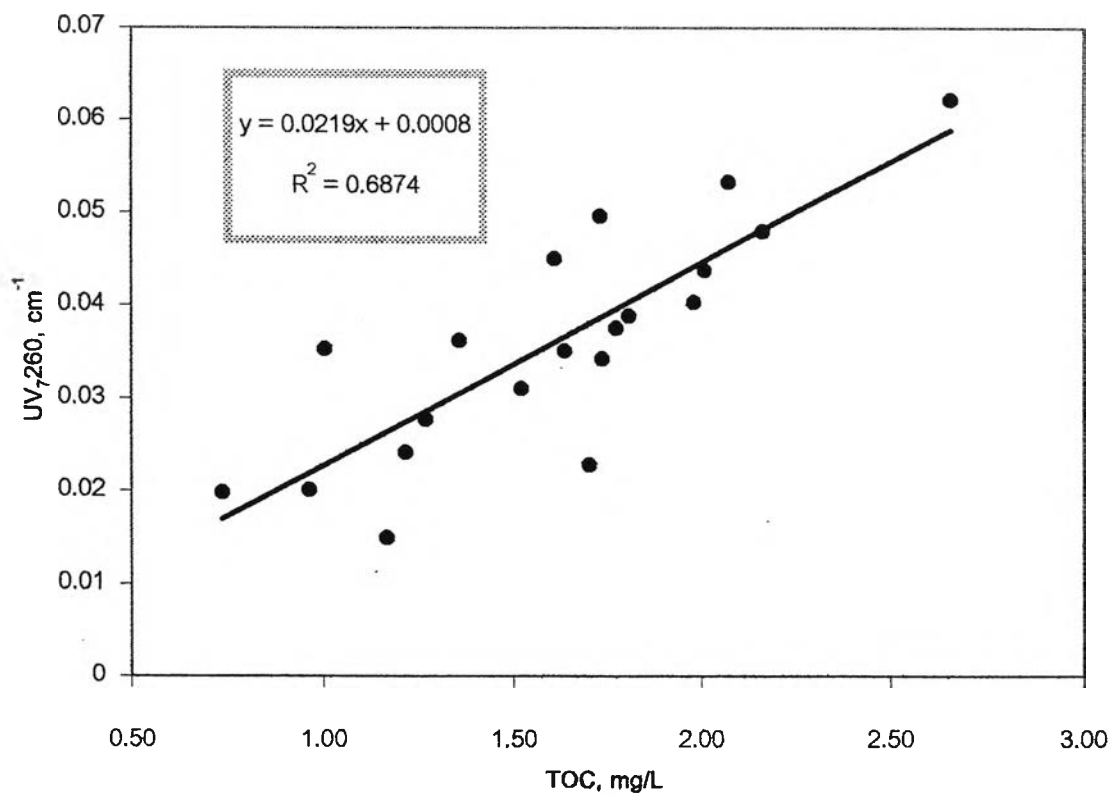


รูปที่ 4.24 ข. น้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์

รูปที่ 4.24 ผลของความเข้มข้น Br⁻ ต่อค่าฟลักซ์ของเมมเบรนทั้ง 3 ชนิด

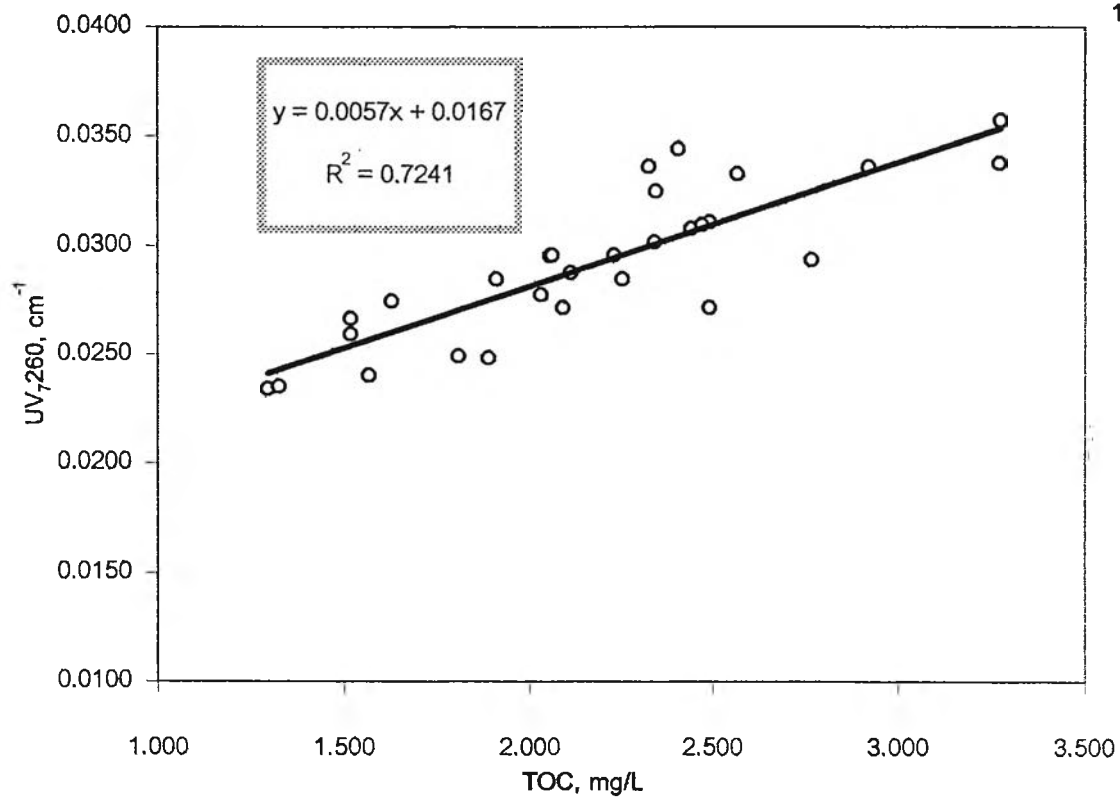


รูปที่ 4.25 ก. อัตราส่วน UV_{7,260}:TOC ของน้ำ Influent

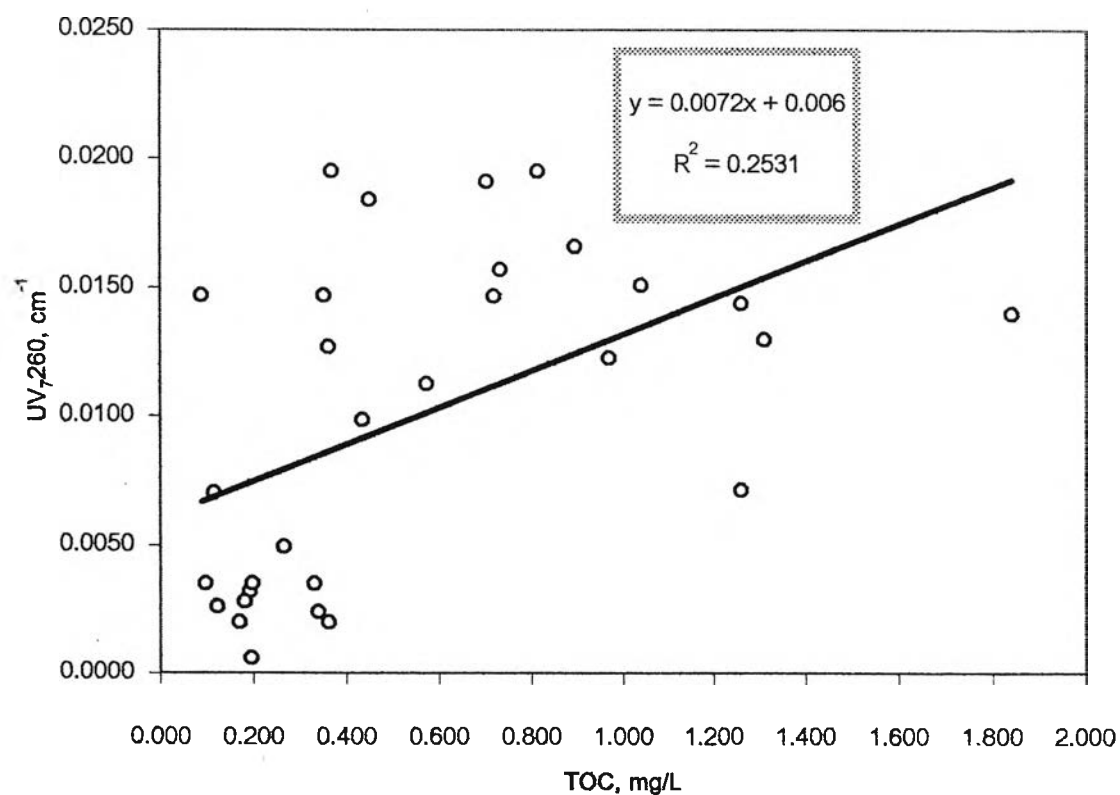


รูปที่ 4.25 ข. อัตราส่วน UV_{7,260}:TOC ของน้ำ Permeate

รูปที่ 4.25 อัตราส่วน UV_{7,260}:TOC ของการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสน



รูปที่ 4.26 ก. อัตราส่วน UV₇₂₆₀:TOC ของน้ำ Influent



รูปที่ 4.26 ข. อัตราส่วน UV₇₂₆₀:TOC ของน้ำ Permeate

รูปที่ 4.26 อัตราส่วน UV₇₂₆₀:TOC ของการดำเนินการระบบกับน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์

เป็นสารชีวมีกจะมีค่า $UV_{260}:TOC$ เท่ากับ $0.0400-0.0500 \text{ cm}^{-1}:\text{mg/L}$ การที่ NOM ในน้ำดิบจากคลองประปาสามเสนส่วนใหญ่เป็นสารชีวมีก แสดงให้เห็นว่า NOM ส่วนใหญ่ในแหล่งน้ำมีโครงสร้างเป็นสารอะโรมาติก หรือเป็นสารที่มีพันธะเคมีเป็นพันธะคู่ มีน้ำหนักโมเลกุลมากและมีขนาดโมเลกุลใหญ่ และจากค่า $UV_{260}:TOC$ ของน้ำPermeate สำหรับการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสนโดยเมมเบรนทั้งสามชนิดที่มีค่าลดลงเหลือ $0.0219 \text{ cm}^{-1}:\text{mg/L}$ แสดงให้เห็นว่า NOM ที่ถูกกำจัดโดย NF เมมเบรนที่ใช้เป็น NOM ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ซึ่งเป็นสิ่งที่ยืนยันได้อย่างดีถึงกลไกที่ NF เมมเบรนใช้ในการกำจัด NOM ว่าเป็นกลไกการกรองคิผิวเมมเบรน นอกจากนี้ค่า $UV_{260}:TOC$ ที่สูงของน้ำดิบจากคลองประปาสามเสนยังแสดงให้เห็นถึงระดับของการย่อยสลายได้ทางชีววิทยาที่มีค่าต่ำ เนื่องจากแบคทีเรียจะสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างอิมตัวได้ดีกว่า ซึ่งหมายความว่า น้ำดิบที่มีค่า $UV:TOC$ ต่ำจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียได้ดีกว่า (Goel และคณะ, 1995) ซึ่งหากจะใช้กระบวนการทางชีวภาพในการกำจัด NOM ในน้ำจากคลองประปาสามเสนก็จะต้องมีกระบวนการที่ทำให้โมเลกุลของ NOM อยู่ในรูปที่ย่อยสลายได้ง่ายขึ้น เช่นการใช้โอโซน ซึ่งมีความยุ่งยากกว่ามากเมื่อเทียบกับการใช้กระบวนการNF ดังนั้นกระบวนการ NF จึงเป็นกระบวนการที่เหมาะสมกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กระบวนการทางชีววิทยาในการกำจัด NOM อย่างมีประสิทธิภาพในน้ำจากคลองประปาสามเสน และใช้สารเคมีในปริมาณที่น้อย และการดำเนินระบบที่ยุงยากน้อยกว่าเมื่อเทียบกับ Conventional Process

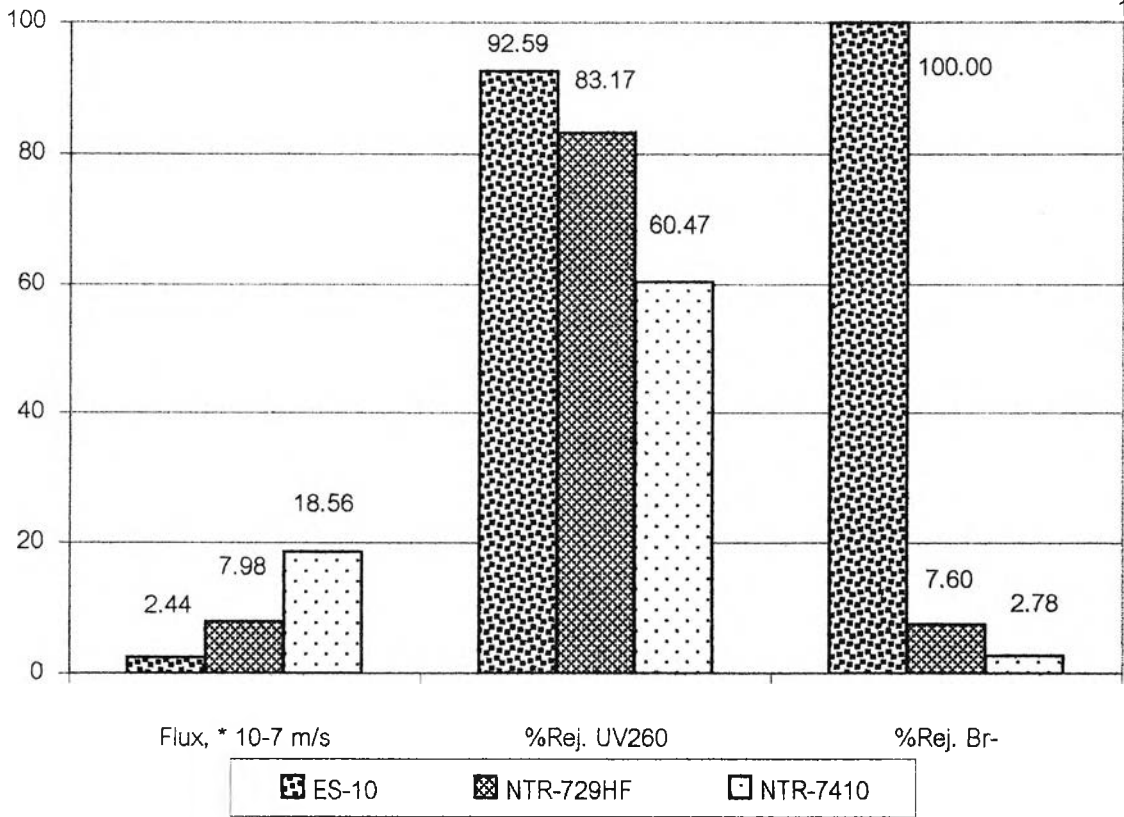
เมื่อเทียบกับค่า $UV_{260}:TOC$ ของน้ำจากคลองประปาสามเสนแล้ว ค่า $UV_{260}:TOC$ ของน้ำดิบจากเขื่อนวชิราลงกรณ์มีค่าต่ำกว่ามาก คือมีค่าเพียง $0.0057 \text{ cm}^{-1}:\text{mg/L}$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า NOM ในน้ำดิบจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ส่วนใหญ่ไม่ใช่สารชีวมีก แต่เป็นสารอินทรีย์ประเภทอื่น ๆ ที่ดูดกลืนแสง UV ได้น้อย และขนาดโมเลกุลน่าจะจะมีขนาดเล็ก เช่น กรด Aliphatic แอลกอฮอล์ และน้ำตาล เป็นต้น และเมื่อพิจารณาค่า $UV_{260}:TOC$ ของน้ำPermeate สำหรับการดำเนินระบบกับน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์โดยเมมเบรนทั้งสามชนิด ซึ่งกลับมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย คือมีค่าเท่ากับ $0.0072 \text{ cm}^{-1}:\text{mg/L}$ แล้วทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่ากลไกในการกำจัด NOM ในน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์เป็นกลไกการกรองคิผิวเมมเบรน แต่จากผลของค่าพีเอชต่อ %กำจัดค่า UV_{260} และ TOC ของน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ (ดังที่วิเคราะห์ในหัวข้อที่ 4.4) เห็นได้ชัดว่า กลไกสำคัญที่ใช้ในการกำจัด NOM ในน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ของ NF เมมเบรนทั้งสามชนิด คือกลไกการกรองคิผิวเมมเบรน เนื่องจาก NF เมมเบรนสามารถกำจัดค่า UV_{260} และ TOC ได้มากขึ้นเมื่อค่าพีเอชต่ำลง เนื่องจากที่ค่าพีเอชสูง NOM จะมีขนาดเล็กกลง ซึ่งเหตุผลที่ค่า $UV_{260}:TOC$ ของน้ำPermeate ของน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์กลับมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแทนที่จะมีค่าต่ำลง น่าจะเนื่องมาจากความไม่แม่นยำในการวัดค่า TOC ของน้ำPermeate ซึ่งมีค่าน้อยมาก โดยจะเห็นได้จากค่า R^2 ของเส้นกราฟที่มีค่าค่อนข้างต่ำ คือ 0.2531 จึงทำให้ค่า $UV_{260}:TOC$ ของน้ำPermeate มีค่าคลาดเคลื่อนไป

4.7 ผลของชนิด NF เมมเบรนที่ใช้

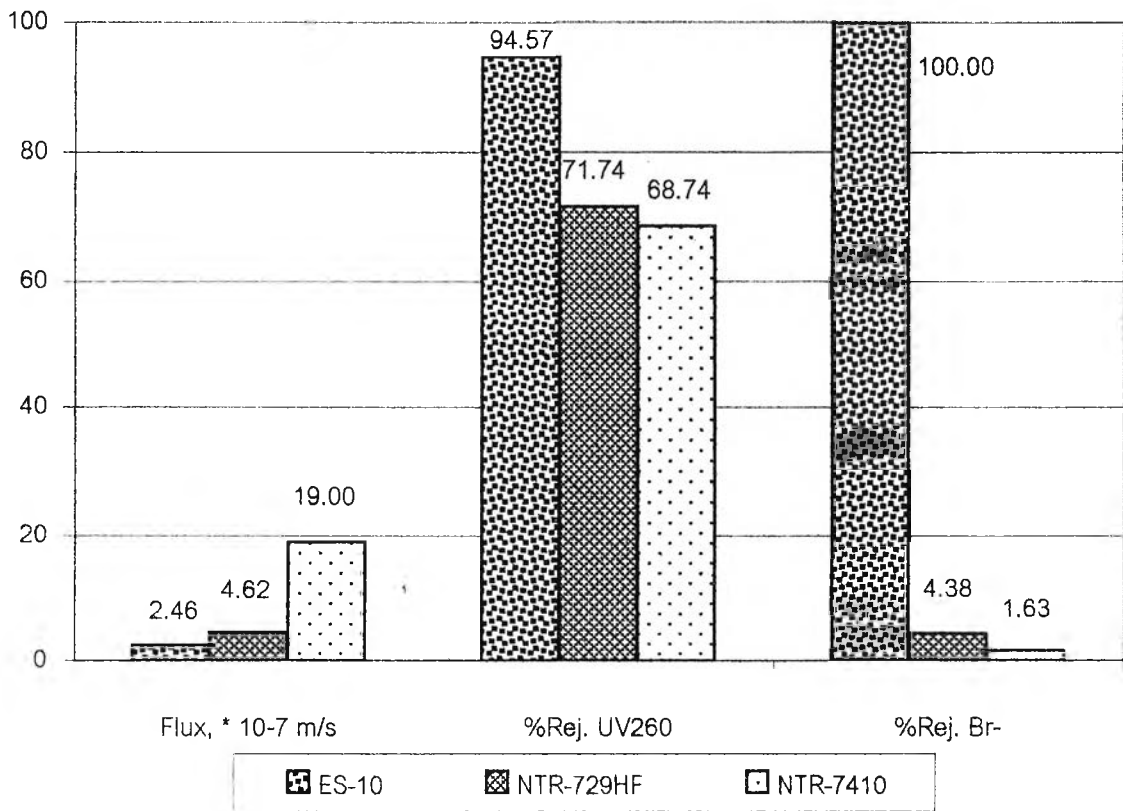
สมรรถนะของ NF เมมเบรนทั้งสามชนิดที่ใช้ในการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสน และน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ แสดงในรูปที่ 4.27

จากรูปจะเห็นได้ว่าการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสน เมมเบรนชนิด ES-10 มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกำจัดค่า UV260 และโบรไมด์ แต่มีค่าฟลักซ์ต่ำที่สุด ในขณะที่เมมเบรนชนิด NTR-7410 มีค่าฟลักซ์สูงที่สุด แต่ที่มีค่า%กำจัด UV260 และ%กำจัดโบรไมด์ต่ำที่สุด และเมมเบรนชนิด NTR-729HF มีค่าฟลักซ์ และ%กำจัดค่า UV260 และ%กำจัดโบรไมด์อยู่ระหว่างเมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-7410 ซึ่งจะเห็นได้ว่าถึงแม้เมมเบรนชนิด NTR-729HF จะกำจัดโบรไมด์ได้น้อยคือ เพียง 7.60% แต่สามารถกำจัดค่า UV260 ได้มากถึง 83.17% และให้ค่าฟลักซ์ที่มากกว่าค่าฟลักซ์ของเมมเบรนชนิด ES-10 ถึง 3.3 เท่า ในขณะที่ถึงแม้ว่าเมมเบรนชนิด NTR-7410 จะให้ค่าฟลักซ์ที่มากกว่าเมมเบรนชนิด NTR-729HF แต่สามารถกำจัดโบรไมด์ได้น้อยมากคือ เพียง 2.78% และกำจัดค่า UV260 ได้เพียง 60.47% เท่านั้น เหตุผลที่เมมเบรนชนิด ES-10 มีค่า%กำจัดค่า UV260 ที่มากกว่าเมมเบรนชนิด NTR-729HF ทั้ง ๆ ที่เมมเบรนทั้งสองมีขนาดของรูพรุนที่เท่ากัน คือประมาณ 1 nm. เนื่องมาจากการที่เมมเบรนชนิด ES-10 มีลักษณะสมบัติของเนื้อเมมเบรนที่แน่นกว่า (Tight Membrane) โดยจะเห็นได้ชัดจากค่าฟลักซ์ที่น้อยกว่ามากซึ่งหมายถึงว่าโมเลกุลของน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนชนิด ES-10 ได้ยากกว่า

จากผลการวิจัยของ Laine และคณะ(1993) ที่ทำการศึกษาดังผลของโบรไมด์ต่อการทำงานของ UF และ NF เมมเบรน ในการควบคุมการเกิด DBPs ในน้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน พบว่าหากสามารถกำจัด NOM ออกจากน้ำดิบที่จะนำมาผลิตน้ำประปาได้มากจนเหลือปริมาณ NOM ในน้ำ Permeate น้อยมาก ถึงแม้จะมีปริมาณโบรไมด์ในน้ำ Permeate สูงก็จะเกิด Brominated THMs ในปริมาณต่ำ เนื่องจาก ไม่มี NOM มากพอที่จะทำปฏิกิริยากับกรด HOBr และ OBr ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากค่าฟลักซ์ และ%กำจัดค่า UV260 ของเมมเบรนทั้งสามชนิดที่ใช้ในงานวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อคำนึงถึงความสามารถในการลดปริมาณสาร DBPs ที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำประปาแล้ว เมมเบรนที่ควรพิจารณาเลือกใช้ในการกำจัด NOM ออกจากน้ำในแหล่งน้ำ คือเมมเบรนชนิด NTR-729HF โดยจะเห็นว่าผลสำหรับการดำเนินระบบกับน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ (รูปที่ 4.27 ข.) ก็สอดคล้องกับผลการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสน แต่จากปริมาณ NOM (ในรูปค่า UV260 และ TOC) และ ค่า UV₂₆₀:TOC ของน้ำดิบจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ซึ่งมีค่าต่ำมาก แสดงให้เห็นว่าปัญหาสำคัญที่จะเกิดขึ้นในการผลิตน้ำประปาโดยใช้น้ำจากแหล่งน้ำนี้ไม่น่าจะใช่ปัญหาของ DBPs แต่อาจจะเป็นปัญหาอื่น ๆ ที่เกิดจาก NOM เช่น ปัญหา Bacterial Regrowth เป็นต้น อย่างไรก็ตาม



รูปที่ 4.27 ก. น้ำจากคลองประปาสามเสน



รูปที่ 4.27 ข. น้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์

รูปที่ 4.27 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของเมมเบรนทั้งสามชนิด

(ค่า Crossflow Velocity 0.7 m/s เมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF ใช้ความดัน 3 bar และ NTR-7410 ใช้ความดัน 2 bar)

ดีเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการกำจัด NOM (ในรูปค่า UV260) และค่าฟลักซ์แล้ว ก็สามารถสรุปได้เช่นเดียวกันว่า เมมเบรนชนิด NTR-729HF มีความเหมาะสมที่จะเลือกใช้มากที่สุด

4.8 ผลของการดำเนินระบบระยะยาวกับน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นที่แตกต่างกัน

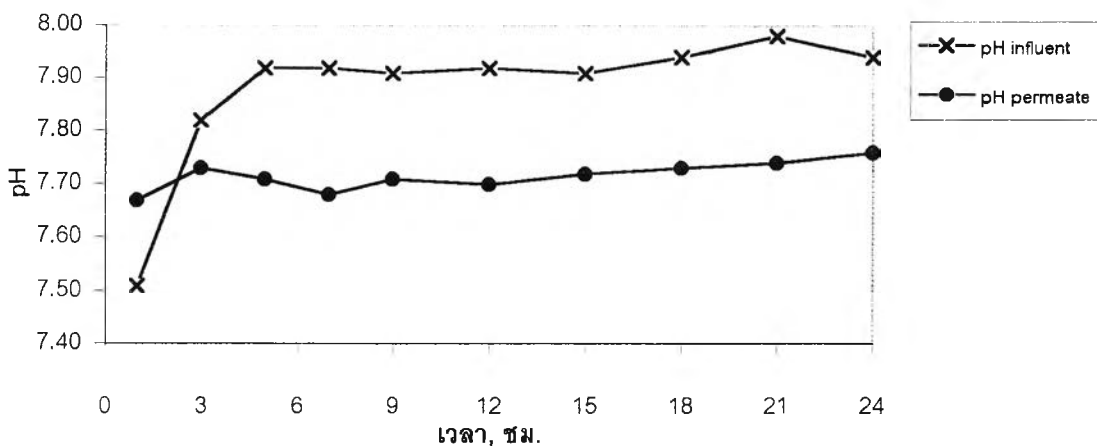
การทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของการดำเนินระบบระยะยาวกับน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นที่แตกต่างกัน จะทำการทดลองโดยใช้เมมเบรนชนิด NTR-729HF ที่ค่าความดัน 3 bar และ Crossflow Velocity 0.7 m/s โดยจะใช้เวลาในการดำเนินระบบ 24 ชั่วโมง กับน้ำจากคลองประปาสามเสนที่บำบัดขั้นต้นโดยกระบวนการ MF ขนาดรูพรุน 0.1 μm และ Cartridge Filter ขนาดรูพรุน 1 μm และ 5 μm ตามลำดับ เหตุผลที่เลือกใช้น้ำจากคลองประปาสามเสนในการศึกษาถึงผลของการดำเนินระบบระยะยาวก็เนื่องมาจาก ปริมาณและลักษณะสมบัติของ NOM ในน้ำคลองประปาสามเสนที่มีค่อนข้างมาก และส่วนใหญ่เป็นสารฮิวมิก ซึ่งน่าจะให้เห็นผลที่มีต่อค่าฟลักซ์ และ % กำจัด NOM ต่อเวลาได้อย่างชัดเจน

4.8.1 ผลต่อค่าพีเอช

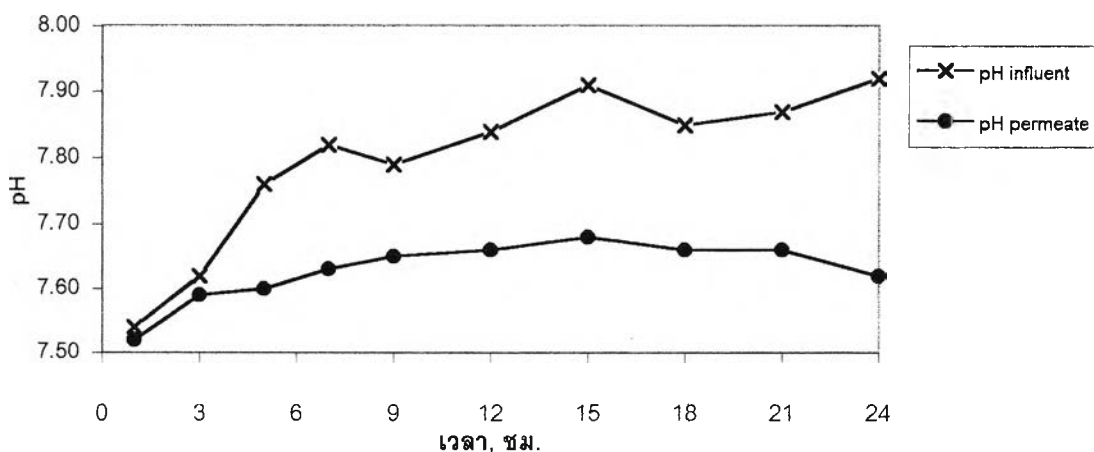
รูปที่ 4.28 แสดงค่าพีเอชของน้ำ Influent และน้ำ Permeate ในการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสนที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทั้งสามแบบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าพีเอชของน้ำ Influent ของทั้งสามการทดลอง มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามเวลาในการดำเนินระบบ โดยจะมีค่าพีเอชเริ่มต้นประมาณ 7.50 และมีค่าพีเอชที่เวลาในการดำเนินระบบ 24 ชั่วโมงประมาณ 7.90 และจะเห็นได้ว่าค่าพีเอชของน้ำ Permeate จะมีค่าต่ำกว่าพีเอชของน้ำ Influent โดยมีอัตราส่วนพีเอชของน้ำ Permeate ต่อพีเอชของน้ำ Influent เฉลี่ยประมาณ 0.98 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมมเบรนชนิด NTR-729HF มีความหนาแน่นของประจุลบที่ผิวเมมเบรนค่อนข้างมาก จึงทำให้สามารถกำจัดไอออนประจุลบที่เป็นตัวแสดงสภาพด่างในน้ำ และมีผลต่อค่าพีเอชซึ่งคือ HCO_3^- , CO_3^{2-} , รวมถึง OH^- ซึ่งมีประจุลบได้มากกว่า H^+ ซึ่งมีประจุบวก และเนื่องจากรูปแบบการดำเนินระบบที่ทำการเวียนน้ำ Concentrate กลับสู่อ่างน้ำดิบ จึงทำให้ค่าพีเอชของน้ำ Influent มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามเวลาในการดำเนินระบบ

4.8.2 ผลต่อค่าฟลักซ์และ%กำจัดค่า UV260

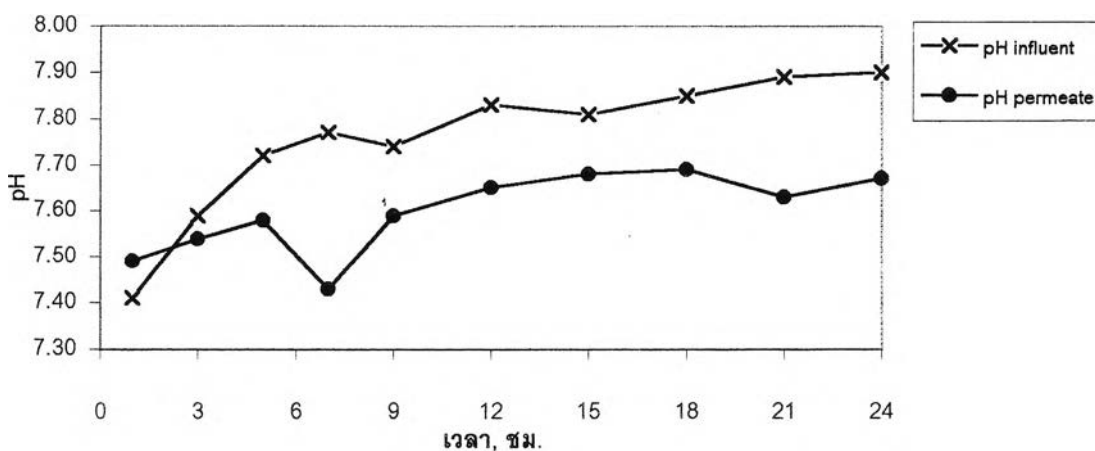
รูปที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดำเนินระบบกับค่าฟลักซ์และ % กำจัดค่า UV260 ของน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทั้งสามแบบ จากรูปจะเห็นได้ว่าทั้งสามการทดลอง ค่า



รูปที่ 4.28 ก. บำบัดขั้่นต้นโดย MF 0.1 um

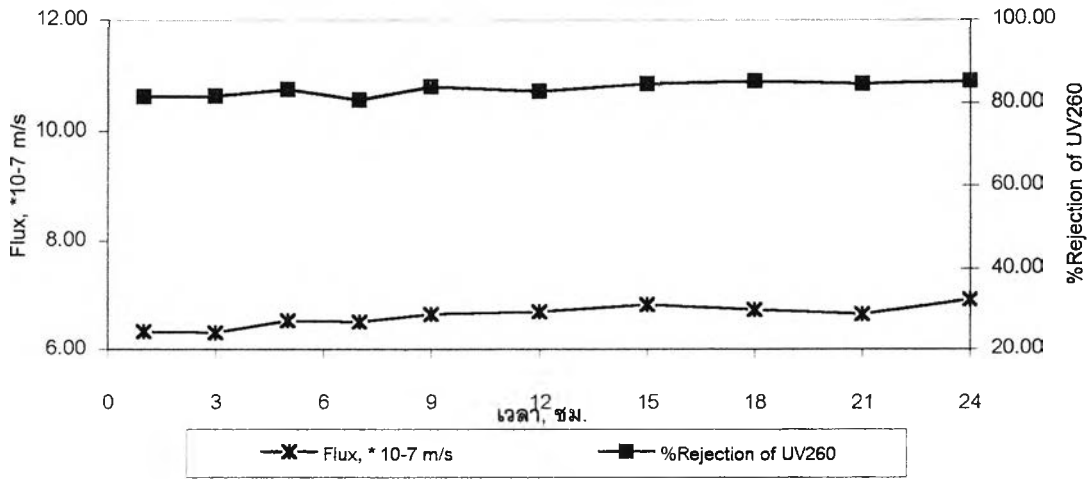


รูปที่ 4.28 ข. บำบัดขั้่นต้นโดย Cartridge filter 1 um

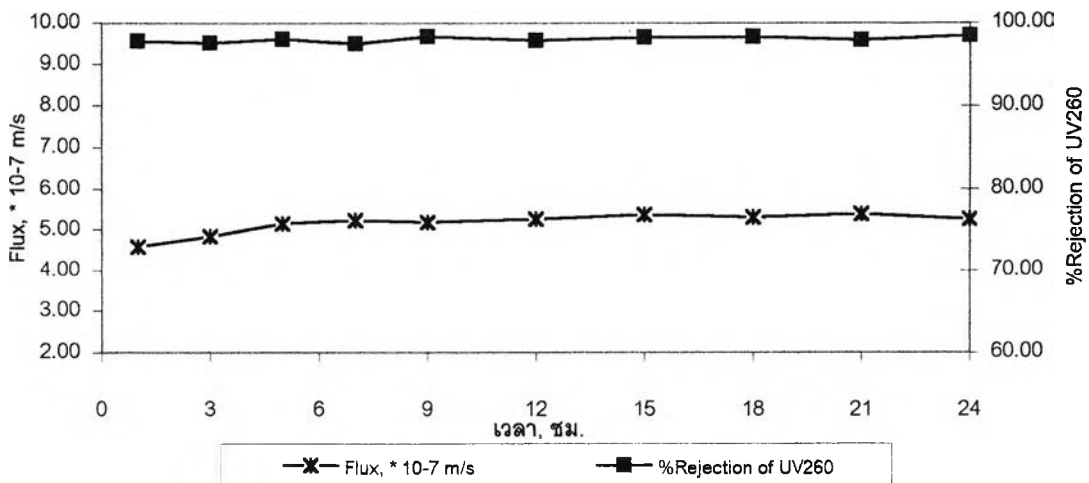


รูปที่ 4.28 ค. บำบัดขั้่นต้นโดย Cartridge filter 5 um

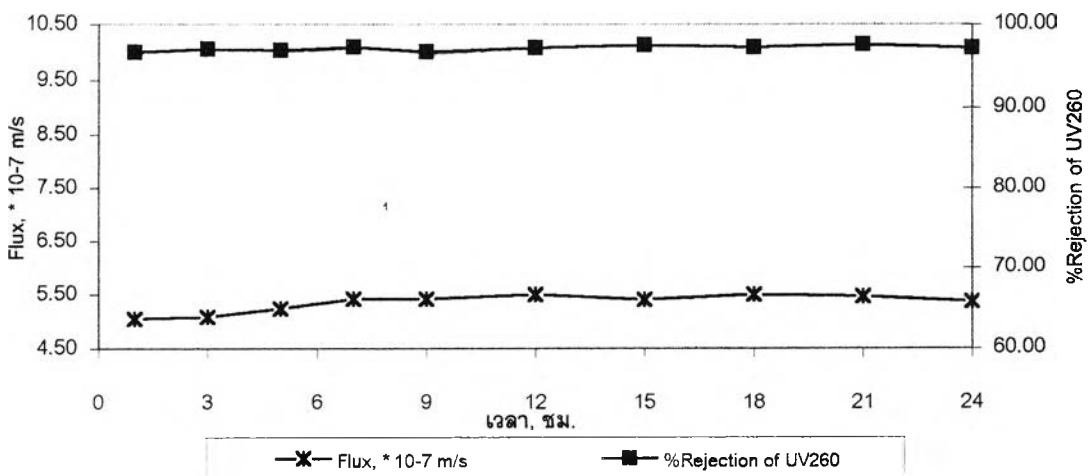
รูปที่ 4.28 ค่าพีเอชของInfluent และPermeate ในการดำเนินระบบ 24 ชม. ของน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้่นต้นแบบต่าง ๆ (เมมเบรนชนิด NTR-729HF ความดัน 3 bar น้ำจากคลองประปาสามเสน)



รูปที่ 4.29 ก. บำบัดขั้้นตันโดย MF 0.1 um



รูปที่ 4.29 ข. บำบัดขั้้นตันโดย Cartridge filter 1 um



รูปที่ 4.29 ค. บำบัดขั้้นตันโดย Cartridge filter 5 um

รูปที่ 4.29 การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์ และ%กำจัดค่า UV260 ต่อเวลาในการดำเนินระบบ 24 ชม.ของน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้้นตันแบบต่าง ๆ (เมมเบรนชนิด NTR-729HF ความดัน 3 bar น้ำจากคลองประปาสามเสน)

ฟลักซ์ มีค่าค่อนข้างคงที่ตามเวลาที่ใช้ในการดำเนินระบบ เช่นเดียวกับค่า%กำจัด UV260 โดยน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย MF ขนาด $0.1 \mu\text{m}$ มีค่าฟลักซ์ และ%กำจัดค่าUV260 เฉลี่ยในช่วงเวลาการดำเนินระบบ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 6.62×10^{-7} m/s และ 83.31% ตามลำดับ ส่วนน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย Cartridge Filter ขนาด $1 \mu\text{m}$ มีค่าฟลักซ์ และ%กำจัดค่าUV260 เฉลี่ยเท่ากับ 5.15×10^{-7} m/s และ 97.95% ตามลำดับ และน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย Cartridge Filter ขนาด $5 \mu\text{m}$ มีค่า ฟลักซ์ และ%กำจัดค่า UV260 เฉลี่ยเท่ากับ 5.34×10^{-7} m/s และ 97.17% ตามลำดับ

ค่าฟลักซ์ และ%กำจัดค่า UV260 ที่มีค่าค่อนข้างคงที่ตามเวลาที่ใช้ในการดำเนินระบบ เนื่องจากค่าความดันที่ใช้ในการทดลองมีค่าต่ำมาก คือเพียง 3 bar ทำให้เห็นผลของการอัดตัวและการอุดตันของเมมเบรนที่จะส่งผลให้ค่าฟลักซ์มีค่าลดลงได้ไม่ชัดเจนเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ เช่น Marsono (1996) ที่ใช้ค่าความดัน 9 bar ในการศึกษาถึงผลของเวลาในการดำเนินระบบ 60 ชั่วโมง ต่อค่าฟลักซ์ และ%กำจัด THMFP ของกระบวนการ NF หรืองานวิจัยของ Nilson และ Di Giano (1996) ที่ใช้ค่าความดัน 6.2-6.6 bar เป็นเวลา 100 ชั่วโมง ในการศึกษาถึงผลของส่วนประกอบของ NOM ต่อค่าฟลักซ์ของกระบวนการ NF เป็นต้น

4.8.3 เปรียบเทียบผลของการบำบัดขั้นต้นที่แตกต่างกันต่อสมรรถนะของเมมเบรน

ตารางที่ 4.5 แสดงถึงลักษณะสมบัติของน้ำ Influent ที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นที่แตกต่างกัน 3 แบบ จากตารางจะเห็นได้ว่าค่าพีเอช อุณหภูมิ ความนำไฟฟ้า และค่าTOC ของน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นต่างกันมีค่าใกล้เคียงกัน และยังคงแสดงให้เห็นว่ากระบวนการ MF ขนาด $0.1 \mu\text{m}$ มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่า TOC ค่อนข้างต่ำ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดใกล้เคียงกับ Cartridge Filter ขนาด 1 และ $5 \mu\text{m}$ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chellam และคณะ (1997) ซึ่งทำการเปรียบเทียบผลของการบำบัดขั้นต้นที่ต่างกัน ระหว่าง Conventional Process กระบวนการ MF และกระบวนการ UF ต่อประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการ NF ในการผลิตน้ำประปาจากแหล่งน้ำผิวดิน โดยพบว่ากระบวนการ MF และ UF มีประสิทธิภาพการกำจัดค่า TOC น้อยมากเพียงประมาณ 5% เท่านั้น ส่วนค่า UV260 นั้นจะเห็นได้ว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นโดย MF $0.1 \mu\text{m}$ มีค่า UV260 น้อยที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1226 cm^{-1} รองลงมาคือ น้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นโดย Cartridge Filter ขนาด $1 \mu\text{m}$ ซึ่งมีค่า UV260 เฉลี่ยเท่ากับ 0.6024 cm^{-1} และน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นโดย Cartridge Filter ขนาด $5 \mu\text{m}$ มีค่า UV260 มากที่สุด คือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.6098 cm^{-1} ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจาก NOM ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ส่วนมากจะถูกกำจัดโดยกลไกการกรองคีดผิว ดังนั้นขนาดของรูพรุนที่เล็กกว่าของวัสดุที่ใช้กรอง จึงสามารถกำจัดค่า UV260 ได้มากกว่า นอกจากนี้จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ Influent ที่แสดงในตารางที่ 4.5 มีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับ

อุณหภูมิของน้ำดิบจากคลองประปาสามเสนดังที่แสดงในตารางที่ 4.3 ทั้งนี้เนื่องจากการดำเนินการในระบบจะทำการเดินระบบโดยใช้เครื่องสูบน้ำซึ่งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามเวลา ทำให้ค่าอุณหภูมิที่แสดงในตารางซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยอุณหภูมิตลอด 24 ชั่วโมง มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยตามเวลาในการดำเนินการระบบ

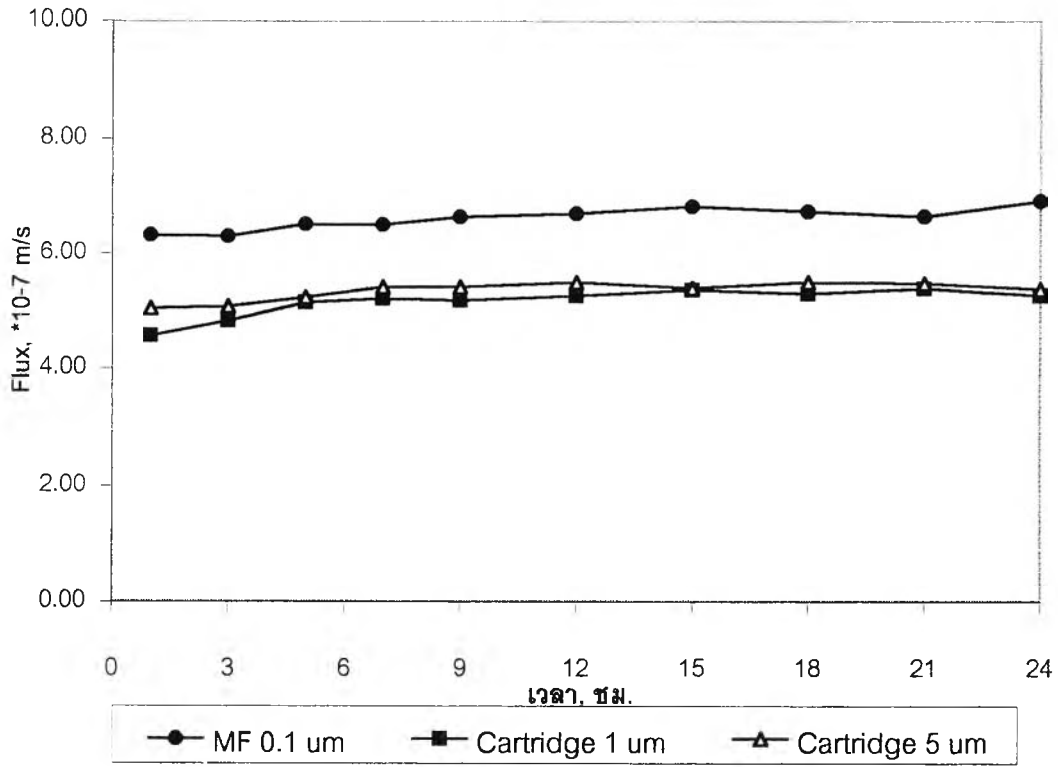
ตารางที่ 4.5 ลักษณะสมบัติของน้ำ Influent ที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นที่แตกต่างกัน

บำบัดขั้นต้นโดย	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	ความนำไฟฟ้า ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	TOC (mg/L)	UV260 (cm^{-1})
MF 0.1 μm	7.88	31.1	177	4.34	0.1226
Cartridge Filter 1 μm	7.79	30.6	177	4.48	0.6024
Cartridge Filter 5 μm	7.75	31.3	185	4.78	0.6098

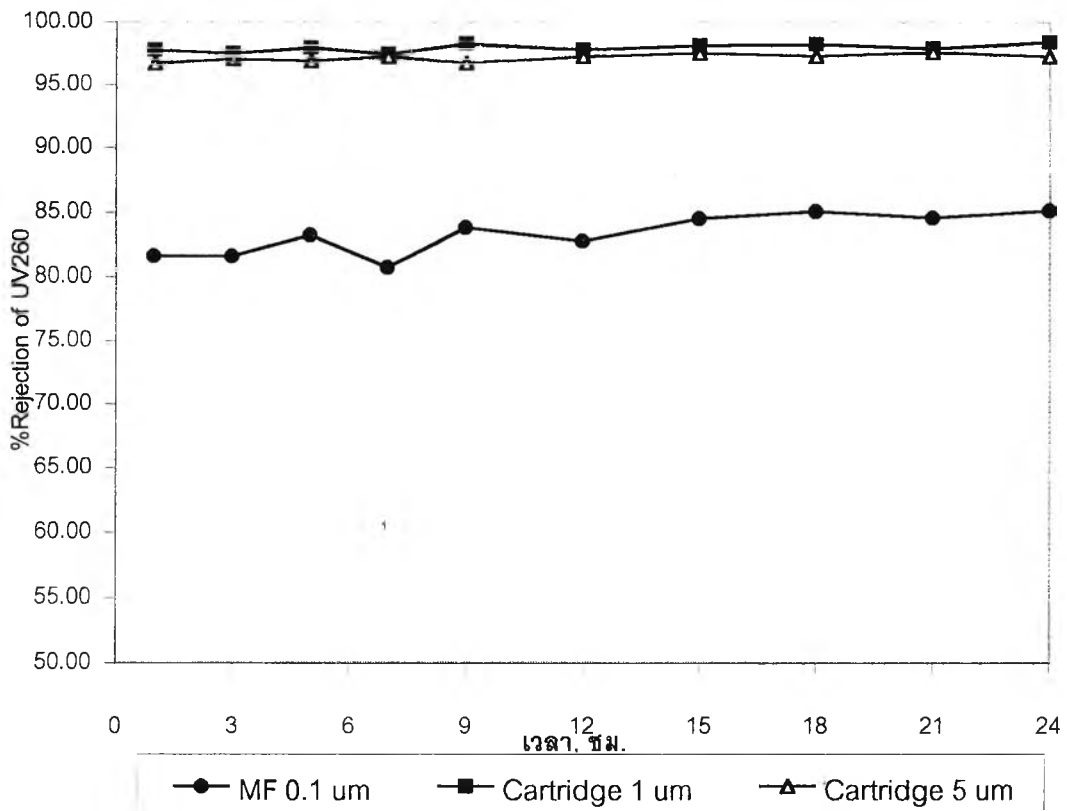
หมายเหตุ : ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูล 10 ค่าตลอด 24 ชั่วโมง

ผลของการบำบัดขั้นต้นที่แตกต่างกันต่อค่าฟลักซ์ %กำจัดค่า UV260 %กำจัดค่าความนำไฟฟ้า และ%กำจัดค่า TOC แสดงในรูปที่ 4.30 ถึง 4.33 ตามลำดับ

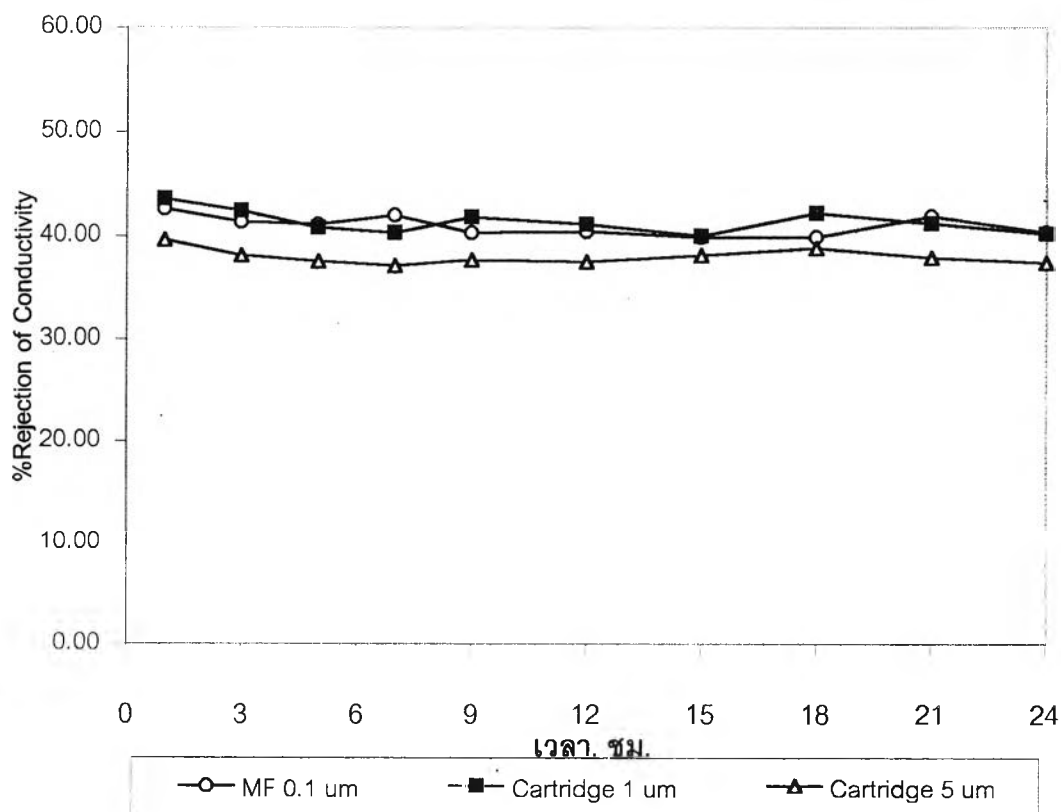
จากรูปที่ 4.30 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์และเวลาในการดำเนินการระบบของน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทั้งสามแบบ จะเห็นได้ว่าค่าฟลักซ์ของน้ำที่บำบัดขั้นต้นด้วย MF 0.1 μm มีค่ามากที่สุด ส่วนค่าฟลักซ์ของน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย Cartridge Filter 1 และ 5 μm มีค่าฟลักซ์ที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย MF 0.1 μm มีความเข้มข้นของ NOM ที่ต่ำกว่า โดยดูได้จากค่า UV260 และ TOC ที่มีค่าน้อยกว่าดังแสดงในตารางที่ 4.5 ทำให้ค่าแรงดันออสโมติก ($\Delta\pi$) ของน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย MF 0.1 μm มีค่าน้อยกว่า ซึ่งจากสมการของแบบจำลองการละลาย-การแพร่ดังแสดงในสมการที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า เมื่อค่า $\Delta\pi$ มีค่าต่ำกว่า ในขณะที่ค่าความดันที่ใช้ (ΔP) มีค่าเท่ากัน จะทำให้ค่าฟลักซ์ (F_w) มีค่าสูงกว่า แต่เมื่อพิจารณาถึงผลของการบำบัดขั้นต้นที่ต่างกันต่อค่า %กำจัดค่า UV260 และ %กำจัดค่า TOC ดังแสดงในรูปที่ 4.31 และ 4.33 ตามลำดับแล้วจะเห็นได้ว่า %กำจัดค่า UV260 และ %กำจัดค่า TOC ของน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย Cartridge Filter ทั้งสองขนาด กลับมีค่ามากกว่าน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย MF 0.1 μm ทั้งนี้เนื่องจากจากผลของการศึกษาถึงผลของค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการกำจัด NOM ของ NF เมมเบรนที่สามารถสรุปได้ว่ากลไกที่ใช้ในการกำจัด NOM โดย NF เมมเบรน คือกลไกการกรองคิควิเมมเบรน ดังนั้นจึงทำให้ NOM ที่มีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่าในน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย Cartridge Filter ถูกกำจัดออกมากกว่า NOM ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ในน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย MF 0.1 μm ทำให้ประ



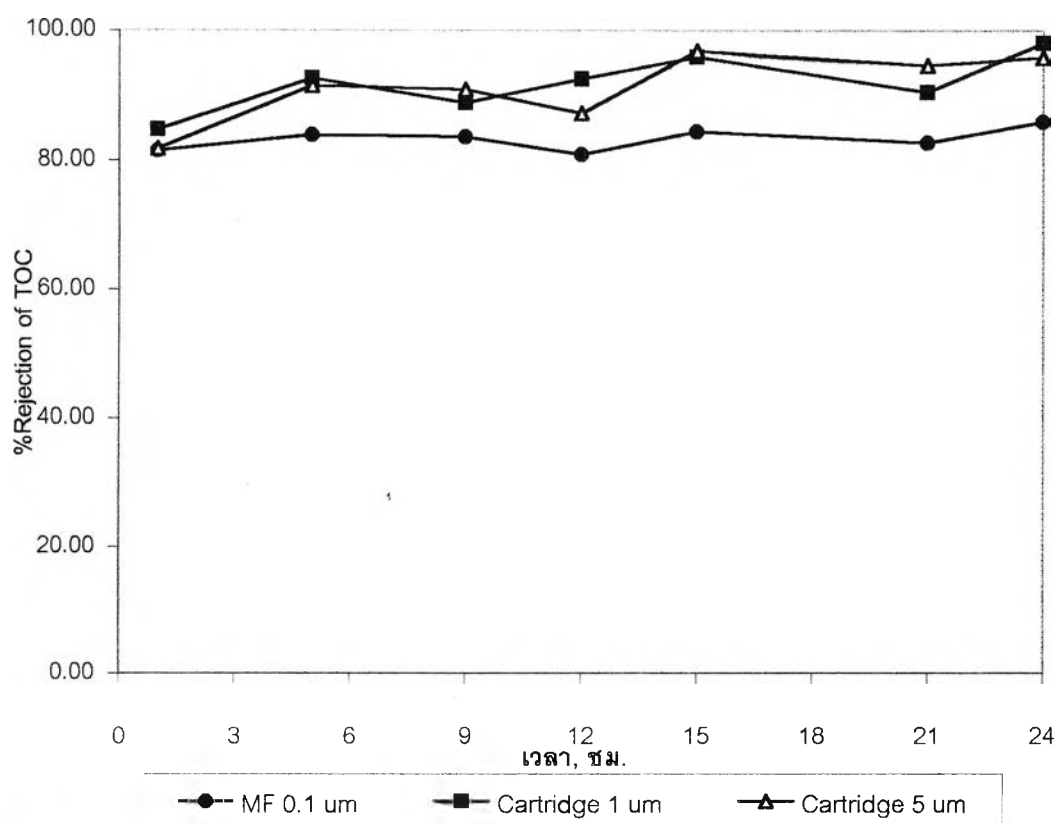
รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบค่าฟลักซ์ในการดำเนินระบบ 24 ชม. สำหรับการบำบัดขั้นต้นที่แตกต่างกัน (เมมเบรนชนิด NTR-729HF ความดัน 3 bar น้ำจากคลองประปาสามเสน)



รูปที่ 4.31 เปรียบเทียบ%กำจัดค่าUV260 ในการดำเนินระบบ 24 ชม. สำหรับการบำบัดขั้นต้นที่แตกต่างกัน (เมมเบรนชนิด NTR-729HF ความดัน 3 bar น้ำจากคลองประปาสามเสน)



รูปที่ 4.32 เปรียบเทียบ%กำจัดค่าความนำไฟฟ้าในการดำเนินระบบ 24 ชม. สำหรับการบำบัดขั้นต้นที่แตกต่างกัน (เมมเบรนชนิด NTR-729HF ความดัน 3 bar น้ำจากคลองประปาสามเสน)



รูปที่ 4.33 เปรียบเทียบ%กำจัดค่า TOC ในการดำเนินระบบ 24 ชม. สำหรับการบำบัดขั้นต้นที่แตกต่างกัน (เมมเบรนชนิด NTR-729HF ความดัน 3 bar น้ำจากคลองประปาสามเสน)

ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า UV260 และ TOC โดยเมมเบรนชนิด NTR-729HF กับน้ำที่บำบัดขั้นต้น โดย Cartridge Filter ทั้งสองขนาดสูงกว่าน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย MF 0.1 μm โดยจะสังเกตได้ว่า ความแตกต่างของ %กำจัดค่า UV260 ของน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย Cartridge Filter กับน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย MF 0.1 μm จะมีมากกว่าความแตกต่างของ %กำจัดค่า TOC ทั้งนี้ก็เนื่องมาจาก %กำจัดค่า TOC จะรวมถึง %กำจัด NOM และสารอินทรีย์อื่น ๆ ที่อาจมีขนาดเล็ก และสามารถแพร่ผ่านเมมเบรนได้ง่ายด้วย จึงทำให้ %กำจัดค่า TOC มีค่าน้อยกว่า %กำจัดค่า UV260 ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแทนของ NOM ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ และเมื่อพิจารณาถึง %กำจัดค่าความนำไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4.32 จะเห็นได้ว่า %กำจัดค่าความนำไฟฟ้าโดยเมมเบรนชนิด NTR-729HF ในน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นโดย Cartridge Filter ขนาด 5 μm จะมีค่าที่ต่ำกว่าน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย MF 0.1 μm และ Cartridge Filter ขนาด 1 μm เล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย Cartridge Filter ขนาด 5 μm จะมีค่าความนำไฟฟ้าที่สูงกว่าเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 4.5

4.9 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำ Permeate และน้ำ Influent

จากสมการของแบบจำลองการละลาย-การแพร่ ซึ่งสามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของน้ำ Permeate และน้ำ Influent ได้ดังแสดงในสมการที่ 4.2 (Taylor และ Jacobs, 1996) แต่เนื่องจากค่า UV260 จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของ NOM ในน้ำ ดังนั้นจึงเสนอสมการดัดแปลงจากสมการที่ 4.2 ดังแสดงในสมการที่ 4.6 คือ

$$UV260_p = \frac{K_s \cdot UV260_f}{K_w (\Delta P - \Delta \pi) \left[\frac{(2 - 2R)}{(2 - R)} \right] + K_s} \quad (4.6)$$

โดยที่ $UV260_p$ = ค่า UV260 ของน้ำ Permeate (cm^{-1})

$UV260_f$ = ค่า UV260 ของน้ำ Influent (cm^{-1})

R = Recovery (Q_p / Q_f)

K_s = สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของตัวถูกละลาย (m/s)

K_w = สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{-s-bar}$)

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $UV260_p$ และ $UV260_f$ เมื่อทำให้อยู่ในรูปกราฟเส้นตรงโดยใช้ Least Square Linear Regression จะทำให้ได้ค่าความชัน ซึ่งแทนด้วย Z_i (การหาค่า Z_i แสดงในตารางที่ ข1. ถึง ข6. ในภาคผนวก ข.) โดยที่ Z_i เป็นเทอมที่รวมผลของทั้งสัมประสิทธิ์

การซึมผ่านของน้ำ และตัวถูกละลาย ความดันที่ใช้ และ Recovery คำนึงถึงจึงสามารถเขียนสมการที่ 4.6 ให้อยู่ในรูปที่ง่ายขึ้นได้เป็น

$$UV260_p = Z_i UV260_f \quad (4.7)$$

โดยที่

$$Z_i = \frac{K_s}{K_w(\Delta P - \Delta\pi)\left[\frac{(2-2R)}{(2-R)}\right] + K_s} \quad (4.8)$$

หรือ

$$Z_i = \frac{K_s}{F_w\left[\frac{(2-2R)}{(2-R)}\right] + K_s} \quad (4.9)$$

จากสมการที่ 4.9 เมื่อทราบค่า Z_i , F_w และ R ก็จะสามารถหาค่า K_s ได้ (ดูตารางที่ ข1. ถึง ข6. ภาคผนวก ข.) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำ Permeate และน้ำ Influent

แหล่งน้ำ	ชนิดเมมเบรน	สมการ
คลองประปา สามเสน	ES-10	$UV260_p = \frac{2.518 * 10^{-8} UV260_f}{F_w\left[\frac{(2-2R)}{(2-R)}\right] + 2.518 * 10^{-8}}$
	NTR-729HF	$UV260_p = \frac{6.467 * 10^{-8} UV260_f}{F_w\left[\frac{(2-2R)}{(2-R)}\right] + 6.467 * 10^{-8}}$
	NTR-7410	$UV260_p = \frac{9.910 * 10^{-8} UV260_f}{F_w\left[\frac{(2-2R)}{(2-R)}\right] + 9.910 * 10^{-8}}$
เขื่อน วชิราลงกรณ์	ES-10	$UV260_p = \frac{3.157 * 10^{-8} UV260_f}{F_w\left[\frac{(2-2R)}{(2-R)}\right] + 3.157 * 10^{-8}}$
	NTR-729HF	$UV260_p = \frac{1.151 * 10^{-7} UV260_f}{F_w\left[\frac{(2-2R)}{(2-R)}\right] + 1.151 * 10^{-7}}$

ตารางที่ 4.6 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำ Permeate และน้ำ Influent
(ต่อ)

แหล่งน้ำ	ชนิดเมมเบรน	สมการ
เขื่อน วชิราลงกรณ์	NTR-7410	$UV260_p = \frac{2.721 * 10^{-6} UV260_f}{F_w \left[\frac{(2-2R)}{(2-R)} \right] + 2.721 * 10^{-6}}$

หมายเหตุ : สมการที่แสดงใช้ได้เฉพาะเมื่อใช้ค่าความดัน 3 bar สำหรับเมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF และความดัน 2 bar สำหรับเมมเบรนชนิด NTR-7410 โดยใช้ค่า Crossflow Velocity เท่ากับ 0.7 m/s

จากสมการในตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า เมื่อทราบค่า $UV260_f$ ค่าฟลักซ์ และค่า Recovery ก็จะสามารถคำนวณหาค่า $UV260_p$ ได้ แต่จากค่า R^2 ของสมการเส้นตรงที่ได้ (ดังแสดงในภาคผนวก ข.) จะเห็นว่ามียาค่าค่อนข้างต่ำถึงต่ำมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากในงานวิจัยใช้น้ำจากแหล่งน้ำจริงที่ทำการเก็บในช่วงเวลาใกล้เคียงกันมาทำการทดลอง ซึ่งทำให้ค่า $UV260_f$ มีค่าใกล้เคียงกันมากในแต่ละครั้งของการทดลอง ทำให้ค่า $UV260_p$ ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นค่าที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยของค่า $UV260_p$ ก็จะส่งผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $UV260_f$ กับค่า $UV260_p$ มีความกวัดแกว่ง ไม่แน่นอน ทำให้ค่า R^2 ที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งอาจจะแก้ไขได้โดยทำการเก็บน้ำตัวอย่างตลอดทั้งปี เพื่อให้ได้ค่า $UV260_f$ ที่หลากหลายมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจากค่า K_s ที่ได้ จะเห็นได้ว่า ในการทดลองกับน้ำจากทั้งสองแหล่ง เมมเบรนชนิด ES-10 จะมีค่า K_s ต่ำที่สุด รองลงมา คือเมมเบรนชนิด NTR-729HF และเมมเบรนชนิด NTR-7410 จะมีค่า K_s ที่สูงที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า NOM ซึ่งในที่นี้แสดงในรูปค่า $UV260$ สามารถเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนชนิด NTR-7410 ได้ดีที่สุด หรือสามารถกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า เมมเบรนชนิด ES-10 NTR-729HF และ NTR-7410 มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่า $UV260$ จากมากไปน้อย ตามลำดับ