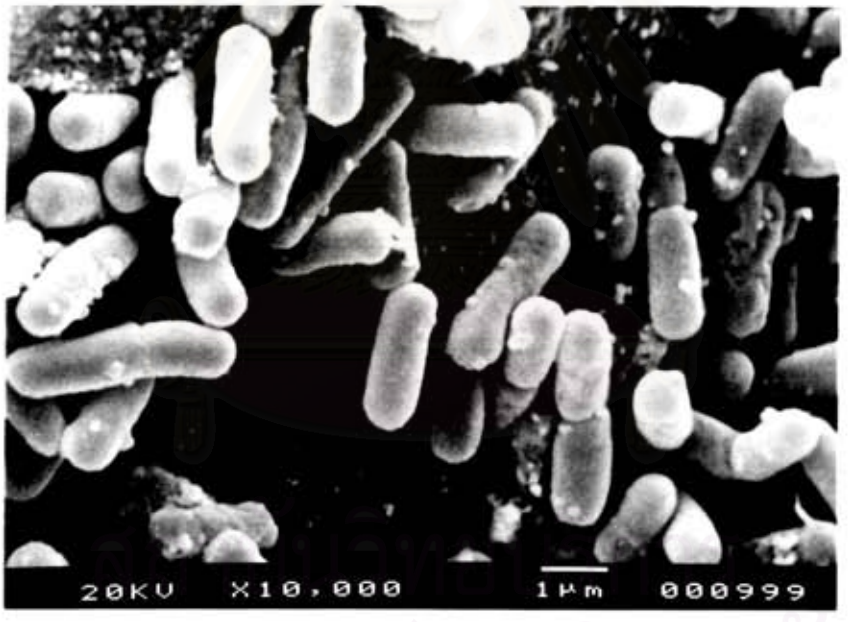
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

ลักษณะของอีโคไลที่ใช้ในการวิจัย

ลักษณะของอีโคไลที่ได้มาจาก การเก็บน้ำเสียจากท่อส่งน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดฯ ของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา แล้วมาทำการเพาะขึ้นในห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้ในการวิจัย แสดงดังรูปที่ 4.1 จากรูปร่างลักษณะของอีโคไลที่ได้ มีรูปร่างเป็นแท่ง (bacillus) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 ไมครอน ยาวประมาณ 2.8 ไมครอน

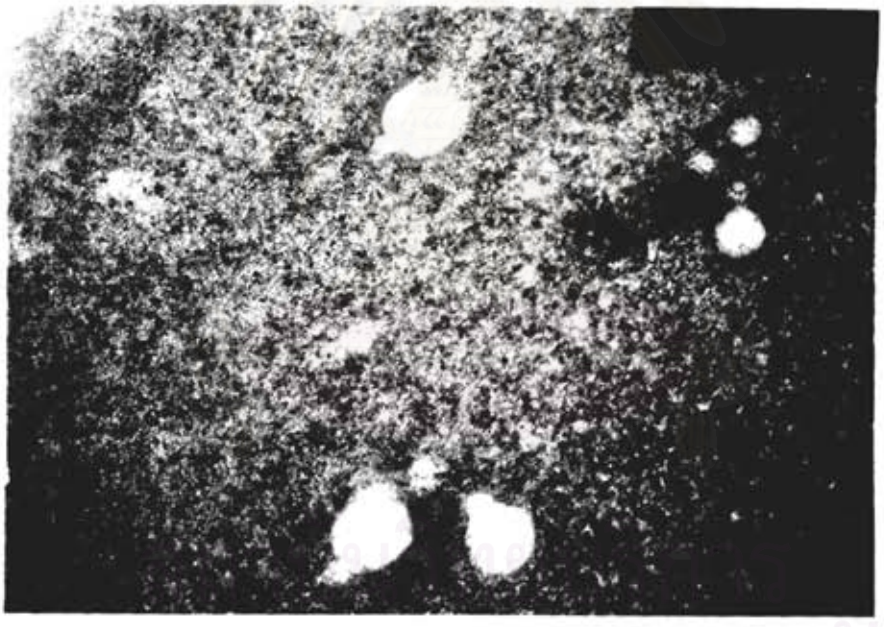


รูปที่ 4.1 ลักษณะของอีโคไลที่มองเห็นจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
กำลังขยาย 10,000 เท่า
ถ่ายที่ : ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลักษณะของโคลิฟาจที่ใช้ในการวิจัย

ลักษณะของโคลิฟาจที่ได้มาจาก การเก็บน้ำเสียจากท่อส่งน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดฯ ของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา แล้วนำมาทำการเพาะขึ้นในห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้ในการวิจัย แสดงดังรูปที่ 4.2 จากรูปร่างลักษณะของโคลิฟาจที่ได้ เป็นรูป icosahedral ด้านเท่า มีหาง มีขนาดส่วนหัวประมาณ 65 นาโนเมตร ส่วนหาง 13 x 20 นาโนเมตร เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับโคลิฟาจที่ได้มีการศึกษาผ่านมา ดังรูปที่ 2.17 และ 2.18 รวมทั้งตารางที่ 2.1 พอจะคาดว่า โคลิฟาจที่ได้ควรจะเป็นโคลิฟาจชนิด T-7



รูปที่ 4.2 ลักษณะของโคลิฟาจที่มองเห็นจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
กำลังขยาย 150,000 เท่า โดยวิธี Negative straining
ถ่ายที่ : ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสัมพันธ์ระหว่างอีโคไล และโคลิฟาจที่ระยะเวลาต่าง ๆ

จากการทดลองโดยการผสมอีโคไล และโคลิฟาจเพียงเล็กน้อย โดยเหลือความเข้มข้นของอีโคไลเริ่มต้นที่ 122 โคโลนี/มล. และโคลิฟาจเริ่มต้นที่ 22 พีเอฟยู/มล. ในน้ำ 1 ลิตร แล้วคนตลอดเวลาที่ทำการทดลองด้วย magnetic stirrer เพื่อให้อีโคไล และโคลิฟาจสัมผัสกันเป็นอย่างดี แล้วจึงทำการเก็บตัวอย่างมาหาค่าความเข้มข้นของทั้งอีโคไล และโคลิฟาจ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.1 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.3 ซึ่งจะพบว่าตัวอย่างน้ำจากการเก็บที่เวลา 50 นาทีมีค่าความเข้มข้นของโคลิฟาจเพิ่มขึ้นจากที่เวลา 40 นาที โดยมีค่าความเข้มข้นของโคลิฟาจอยู่ที่ 1020 พีเอฟยู/มล. ส่วนค่าความเข้มข้นของอีโคไลลดลงมาอยู่ที่ 108 โคโลนี/มล. แสดงว่าโคลิฟาจชนิด T-7 ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ใช้เวลาในการแพร่เข้าสู่เซลอีโคไลจนถึงการปล่อยตัวเองออกสู่ภายนอกประมาณ 40 นาที ในขณะที่ค่าความเข้มข้นของโคลิฟาจและอีโคไลที่เวลา 240 นาทีซึ่งเป็นจุดสิ้นสุดการทดลองอยู่ที่ 5760 พีเอฟยู/มล. และ 12 โคโลนี/มล. เมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นจะเห็นว่า ความเข้มข้นของโคลิฟาจเพิ่มขึ้น 5758 พีเอฟยู/มล. ส่วนอีโคไลลดลง 110 โคโลนี/มล. แสดงให้เห็นว่าจำนวนของโคลิฟาจตัวใหม่ที่ถูกปล่อยออกมาจากเซลอีโคไลหนึ่งตัว มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 50 ตัวต่อเซลอีโคไลหนึ่งตัว

ประสิทธิภาพในการกำจัดของเมมเบรน

1. ประสิทธิภาพในการกำจัดอีโคไลที่เติมในน้ำประปา

1.1 การกรองโดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน

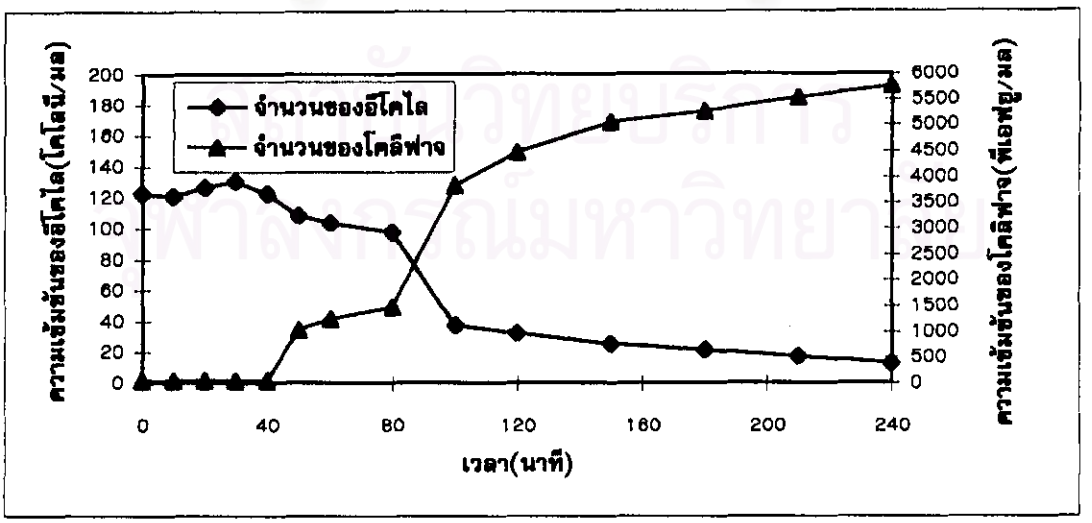
จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.4 พบว่าการกรองตัวอย่างน้ำที่มีอีโคไล โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน จะตรวจไม่พบอีโคไลในน้ำกรอง ทุกอัตรากรอง ประสิทธิภาพการกำจัดอีโคไล อยู่ระหว่าง $\geq$ 8 ล็อก ถึง $\geq$ 9 ล็อก เนื่องจากอีโคไลที่ใช้ในการทดลองมีขนาดประมาณ 0.8 x 2.8 ไมครอน ซึ่งมีขนาดเฉลี่ยใหญ่กว่า 0.1 ไมครอน จึงไม่สามารถทะลุผ่านช่องว่างของเมมเบรนขนาดเฉลี่ย 0.1 ไมครอนได้ กลไกการกรองที่เกิดขึ้นเป็นการติดค้างบนผิวเมมเบรน

1.2 การกรองโดยใช้เมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.4 พบว่าการกรองตัวอย่างน้ำที่มีอีโคไล โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน จะตรวจไม่พบอีโคไลในน้ำกรอง ทุกอัตรากรองเช่นเดียวกับในเมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน เนื่องจากเหตุผลเดียวกัน ประสิทธิภาพการกำจัดอีโคไล อยู่ระหว่าง $\geq$ 7.7 ถึง $\geq$ 8 ล็อก กลไกการกรองที่เกิดขึ้นเป็นการติดค้างบนผิวเมมเบรน

ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนของอีโคไล และโคลิฟาจที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เวลา (นาที)	จำนวนของอีโคไล (โคโลนี/มิลลิลิตร)	จำนวนของโคลิฟาจ (พีเอฟยู/มิลลิลิตร)
0	122	22
10	120	26
20	126	28
30	130	22
40	122	28
50	108	1020
60	103	1230
80	97	1460
100	37	3820
120	32	4460
150	25	5040
180	21	5260
210	17	5520
240	12	5760



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอีโคไล และโคลิฟาจที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ตารางที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดอีโคไลเฉลี่ย ที่อัตรากรองต่าง ๆ กัน โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.03 ไมครอน ตัวอย่างน้ำคือ น้ำประปาเติมอีโคไล

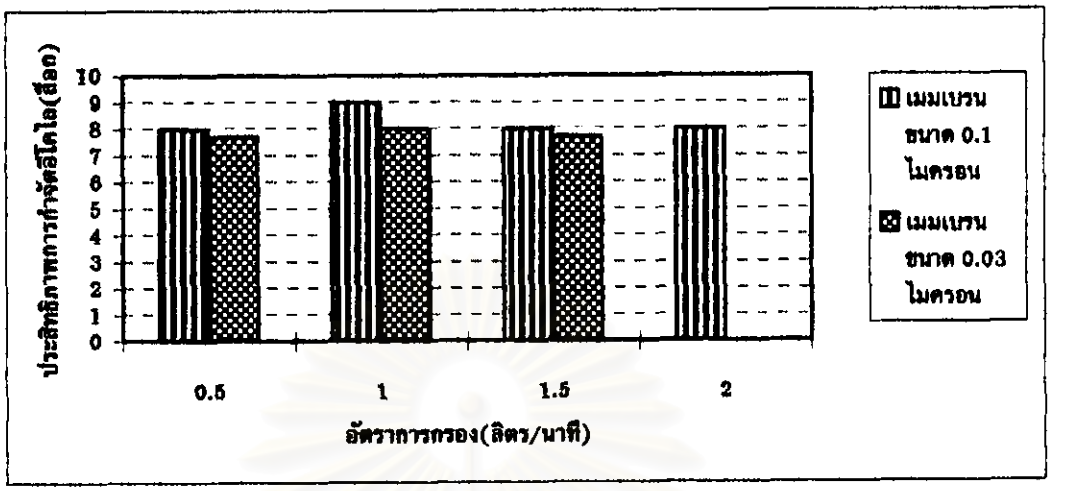
การทดลองชุดที่	ขนาดของเมมเบรน (ไมครอน)	อัตราการกรอง (ลิตร/นาที)	ความเข้มข้นเฉลี่ยของอีโคไล (โคโลนี/มิลลิลิตร)		ประสิทธิภาพการกำจัดอีโคไล	
			น้ำเข้า	น้ำกรอง	(ล็อก)	(%)
1	0.1	0.5	$1.1x10^8$	N.D.	≥8.0	99.9999991
2		1.0	$9.1x10^8$	N.D.	≥9.0	99.9999999
3		1.5	$1.0x10^8$	N.D.	≥8.0	99.9999990
4		2.0	$1.0x10^8$	N.D.	≥8.0	99.9999990
5	0.03	0.5	$4.5x10^7$	N.D.	≥7.7	99.9999978
6		1.0	$9.7x10^7$	N.D.	≥8.0	99.9999990
7		1.5	$4.5x10^7$	N.D.	≥7.7	99.9999978

หมายเหตุ N.D. = Non-Detectable

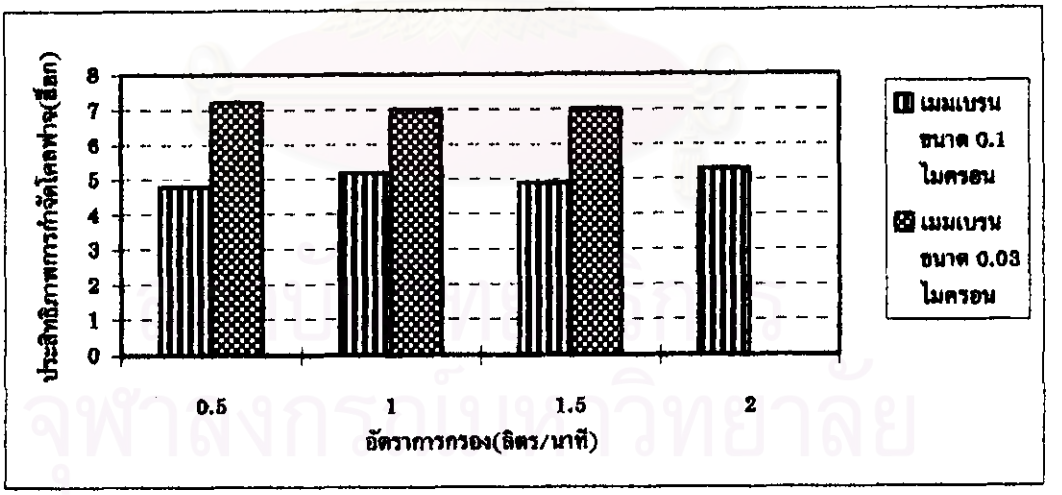
ตารางที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟาจเฉลี่ย ที่อัตรากรองต่าง ๆ กัน โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.03 ไมครอน ตัวอย่างน้ำคือ น้ำประปาเติมโคลิฟาจ

การทดลองชุดที่	ขนาดของเมมเบรน (ไมครอน)	อัตราการกรอง (ลิตร/นาที)	ความเข้มข้นเฉลี่ยของโคลิฟาจ (พีเอฟยู/มิลลิลิตร)		ประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟาจ	
			น้ำเข้า	น้ำกรอง	(ล็อก)	(%)
8	0.1	0.5	$1.2x10^7$	189	4.8	99.9984
9		1.0	$1.8x10^7$	122	5.2	99.9993
10		1.5	$1.0x10^7$	112	4.9	99.9989
11		2.0	$1.0x10^7$	50	5.3	99.9995
12	0.03	0.5	$1.5x10^7$	N.D.	≥ 7.2	99.999993
13		1.0	$9.1x10^6$	N.D.	≥ 7.0	99.999989
14		1.5	$9.1x10^6$	N.D.	≥ 7.0	99.999989

หมายเหตุ N.D. = Non-Detectable



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดอีโคไล โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.03 ไมครอน ที่อัตราการกรองต่าง ๆ กัน (การทดลองที่ 1 - 7)



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟาจ โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.03 ไมครอน ที่อัตราการกรองต่าง ๆ กัน (การทดลองที่ 8 - 14)

2. ประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟาจที่เติมในน้ำประปา

2.1 การกรองโดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5 พบว่าการกรองตัวอย่างน้ำที่มีโคลิฟาจ โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน จะพบโคลิฟาจในน้ำกรอง มีความเข้มข้นเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 50 - 200 พีเอฟยู/มิลลิลิตร โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟาจแตกต่างกันตามอัตรากรอง ซึ่งอัตรากรองที่ต่างกันให้ผลการกำจัดโคลิฟาจที่ไม่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

เมื่อใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน สามารถตรวจพบโคลิฟาจในน้ำกรองได้ แสดงว่าโคลิฟาจสามารถผ่านช่องว่างของเมมเบรนได้ เนื่องจากโคลิฟาจที่ใช้ในการทดลองมีขนาดส่วนหัวประมาณ 65 นาโนเมตร ส่วนหาง 13 x 20 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดเฉลี่ยเล็กกว่า 0.1 ไมครอน แต่ประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟาจซึ่งมีค่าประมาณ 5 ล็อก ก็ผ่านมาตรฐาน SWTR ซึ่งกำหนดให้ประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟาจ อย่างน้อย 4 ล็อก (Jacangelo et al., 1991) กลไกหลักในการกำจัดโคลิฟาจของเมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน ได้แก่

1. การติดค้างบนผิวเมมเบรน หรือการแยกขนาด
2. การดูดติดที่ผิวเมมเบรน หรือโครงสร้างภายใน

โดยมีกลไกอื่น ๆ ที่เป็นไปได้ในการกำจัด คือ

3. การกำจัดจากการเกิดชั้น cake ขึ้นที่ผิวของเมมเบรน
4. การกำจัดโดย membrane foulants ที่ไม่สามารถแก้ไขให้คืนสภาพเดิมได้ด้วยแรงดันน้ำ

2.2 การกรองโดยใช้เมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5 พบว่า การกรองตัวอย่างน้ำที่มีโคลิฟาจ โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน จะตรวจไม่พบโคลิฟาจในน้ำกรอง ทุกอัตรากรอง ประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟาจประมาณ $\geq$ 7 ล็อกขึ้นไป จากการที่ตรวจไม่พบโคลิฟาจ เนื่องจากโคลิฟาจที่ใช้ในการทดลองมีขนาดโดยเฉลี่ยใหญ่กว่า 0.03 ไมครอน ดังนั้นจึงไม่สามารถทะลุผ่านช่องว่างของเมมเบรนซึ่งมีขนาดเฉลี่ย 0.03 ไมครอนได้ กลไกการกรองที่เกิดขึ้นจึงเป็น กลไกการติดค้างบนผิวเมมเบรน

3. ประสิทธิภาพการกำจัดอีโคไล และโคลิฟาจที่เติมในน้ำประปา

3.1 การกรองโดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน

การกรองตัวอย่างน้ำที่มีทั้งอีโคไลและโคลิฟาจ โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าน้ำกรองที่ได้จะตรวจไม่พบอีโคไลในทุกอัตรา

ตารางที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดอีโคไล และโคลิฟาจเฉลี่ยที่อัตราการกรองต่าง ๆ กัน
โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน ตัวอย่างน้ำคือ น้ำประปาเติมอีโคไลและโคลิฟาจ

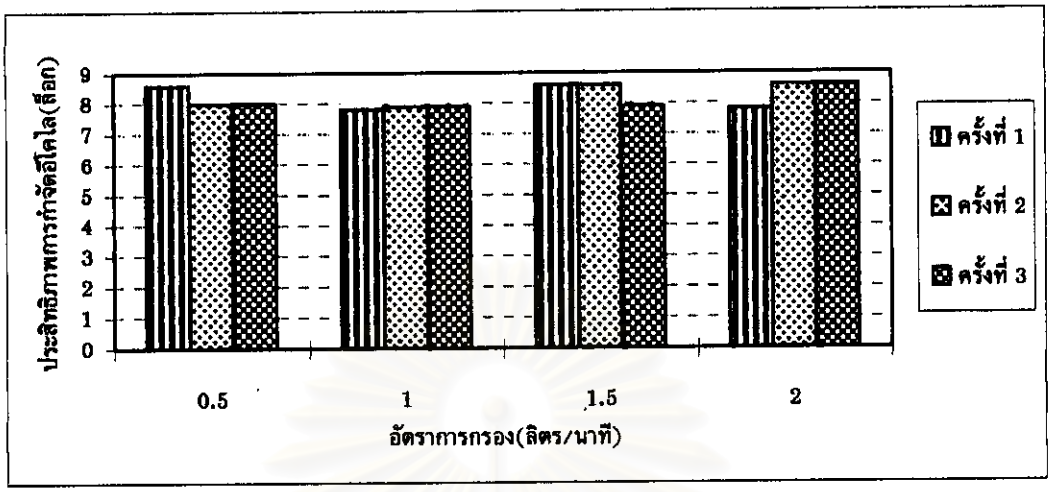
การทดลองชุดที่	ขนาดของเมมเบรน (ไมครอน)	อัตราการกรอง (ลิตร/นาที)	ความเข้มข้นเฉลี่ยของโคลิฟาจ (พีเอฟยู/มิลลิลิตร)		ประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟาจ		ความเข้มข้นเฉลี่ยของอีโคไล (โคโลนี/มิลลิลิตร)		ประสิทธิภาพการกำจัดอีโคไล	
			น้ำเข้า	น้ำกรอง	(ล็อก)	(%)	น้ำเข้า	น้ำกรอง	(ล็อก)	(%)
15	0.1	0.5	$2.1x10^7$	76	5.4	99.9996	$4.0x10^8$	N.D.	≥8.6	99.9999998
16			$7.7x10^6$	188	4.6	99.9976	$1.1x10^8$	N.D.	≥8.0	99.9999991
17			$1.3x10^7$	88	5.2	99.9993	$9.4x10^7$	N.D.	≥8.0	99.9999989
18		1.0	$5.6x10^5$	88	4.8	99.9984	$6.2x10^7$	N.D.	≥7.8	99.9999984
19			$1.7x10^7$	53	5.5	99.9997	$7.3x10^7$	N.D.	≥7.9	99.9999986
20			$1.7x10^7$	43	5.6	99.9997	$7.3x10^7$	N.D.	≥7.9	99.9999986
21		1.5	$1.5x10^7$	157	5.0	99.9990	$3.8x10^8$	N.D.	≥8.6	99.9999997
22			$1.5x10^7$	87	5.2	99.9994	$3.8x10^8$	N.D.	≥8.6	99.9999997
23			$9.1x10^6$	68	5.1	99.9993	$8.2x10^7$	N.D.	≥7.9	99.9999988
24		2.0	$1.1x10^7$	665	4.2	99.9940	$6.9x10^7$	N.D.	≥7.8	99.9999986
25			$8.0x10^5$	208	4.6	99.9974	$3.7x10^8$	N.D.	≥8.6	99.9999997
26			$8.0x10^6$	163	4.7	99.9980	$3.7x10^8$	N.D.	≥8.6	99.9999997

หมายเหตุ N.D. = Non-Detectable

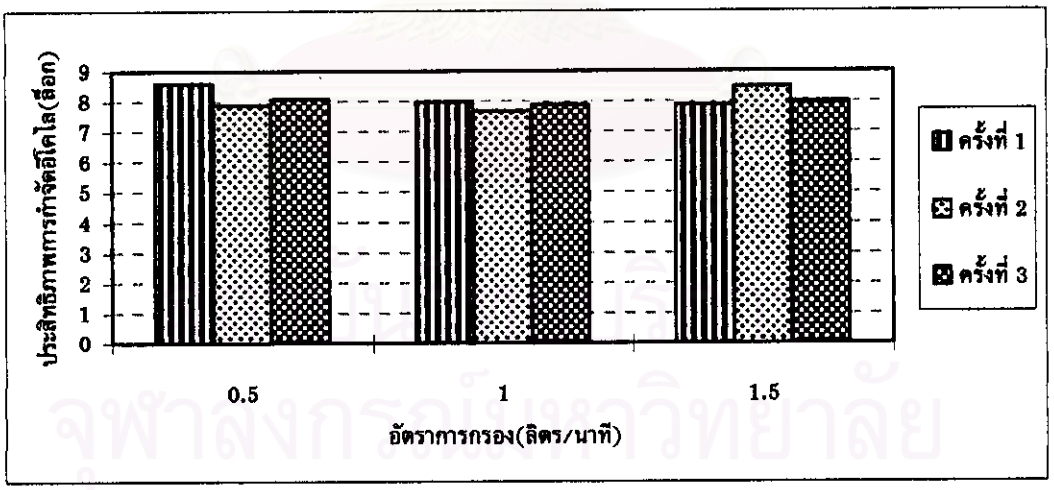
ตารางที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดอีโคไล และโคลิฟาจเฉลี่ยที่อัตราการกรองต่าง ๆ กัน
โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน ตัวอย่างน้ำคือ น้ำประปาเติมอีโคไลและโคลิฟาจ

การทดลองชุดที่	ขนาดของเมมเบรน (ไมครอน)	อัตราการกรอง (ลิตร/นาที)	ความเข้มข้นเฉลี่ยของโคลิฟาจ (พีเอฟยู/มิลลิลิตร)		ประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟาจ		ความเข้มข้นเฉลี่ยของอีโคไล (โคโลนี/มิลลิลิตร)		ประสิทธิภาพการกำจัดอีโคไล	
			น้ำเข้า	น้ำกรอง	(ล็อก)	(%)	น้ำเข้า	น้ำกรอง	(ล็อก)	(%)
27	0.03	0.5	$1.0x10^7$	N.D.	≥7.0	99.999990	$3.8x10^8$	N.D.	≥8.6	99.9999997
28			$1.1x10^7$	N.D.	≥7.0	99.999991	$8.5x10^7$	N.D.	≥7.9	99.9999988
29			$1.9x10^7$	N.D.	≥7.3	99.999995	$1.3x10^8$	N.D.	≥8.1	99.9999992
30		1.0	$1.1x10^7$	N.D.	≥7.0	99.999991	$1.0x10^8$	N.D.	≥8.0	99.9999990
31			$7.3x10^6$	N.D.	≥6.9	99.999986	$5.4x10^7$	N.D.	≥7.7	99.9999981
32			$9.6x10^6$	N.D.	≥7.0	99.999990	$7.3x10^7$	N.D.	≥7.9	99.9999986
33		1.5	$1.4x10^7$	N.D.	≥7.1	99.999993	$8.6x10^7$	N.D.	≥7.9	99.9999988
34			$7.3x10^6$	N.D.	≥6.9	99.999986	$3.3x10^8$	N.D.	≥8.5	99.9999997
35			$1.1x10^7$	N.D.	≥7.0	99.999991	$9.4x10^7$	N.D.	≥8.0	99.9999989

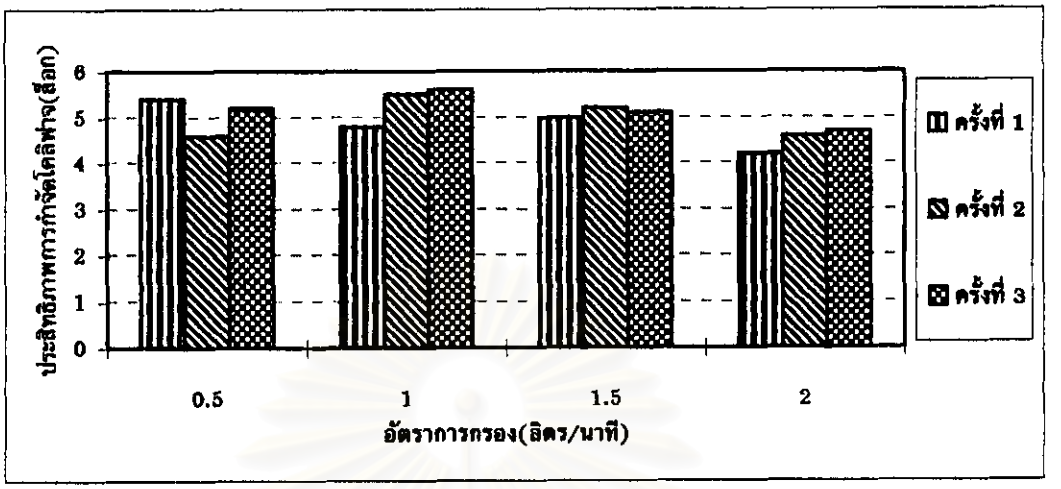
หมายเหตุ N.D. = Non-Detectable



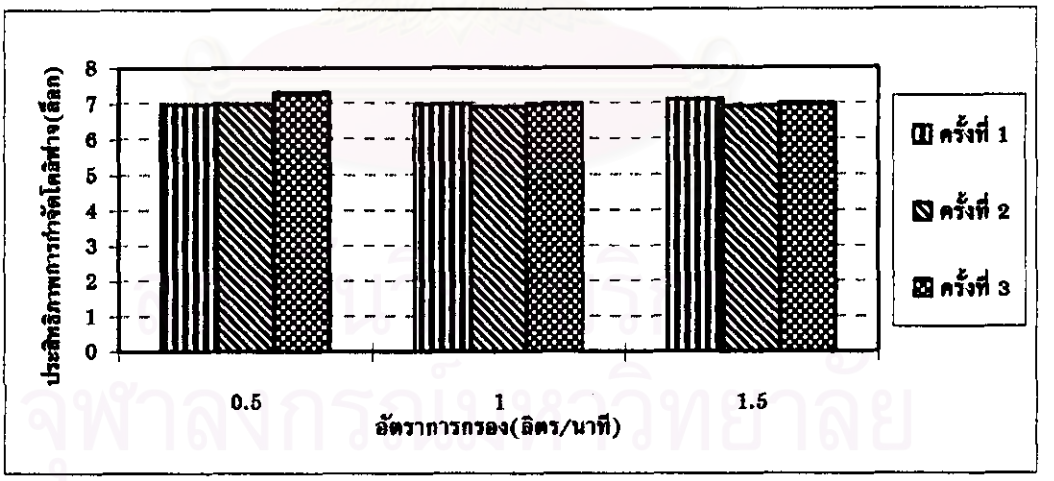
รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดอีโคไล โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน ที่อัตรากรองต่าง ๆ กัน (การทดลองที่ 15 - 26)



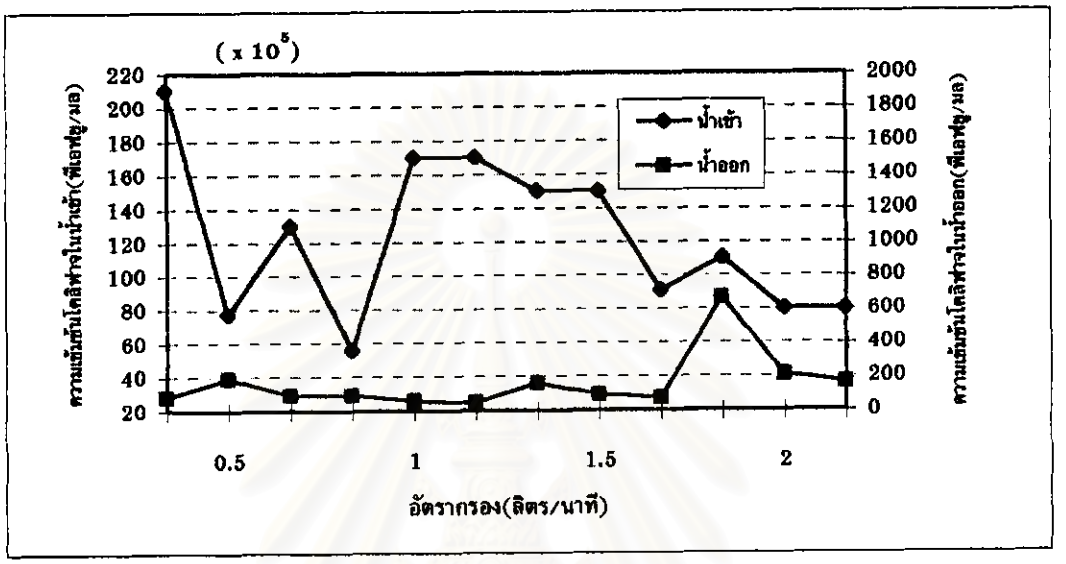
รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดอีโคไล โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน ที่อัตรากรองต่าง ๆ กัน (การทดลองที่ 27 - 35)



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟาจ โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน ที่อัตราการกรองต่าง ๆ กัน (การทดลองที่ 15 - 26)



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟาจ โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน ที่อัตราการกรองต่าง ๆ กัน (การทดลองที่ 27 - 35)



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโคลิฟาจของน้ำเข้า และน้ำออกที่อัตรากรองต่าง ๆ โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน ตัวอย่างน้ำคือ น้ำประปาเติมอีโคไล และโคลิฟาจ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรอง ส่วนโคลิฟาจจะตรวจพบ มีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 40 - 700 พีเอฟยู/มิลลิลิตร โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดอีโคไล ≥ 7.8 ล็อกจนถึง ≥ 8.6 ล็อก ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟาจอยู่ระหว่าง 4.2 - 5.6 ล็อก แตกต่างกันไปตามอัตรากรอง แสดงดังรูปที่ 4.6 และ 4.8 ซึ่งอัตรากรองที่ต่างกันให้ผลการกำจัดโคลิฟาจไม่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยอัตรากรองที่ใช้ยังอยู่ในช่วงที่ผู้ผลิตแนะนำให้ใช้ คือ ไม่เกิน 2.5 ลิตร/นาที

จากรูปที่ 4.10 จะพบว่าความเข้มข้นของน้ำดิบที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ไม่ทำให้ความเข้มข้นของน้ำกรองที่ได้แปรผันตามไปด้วยในแต่ละอัตรากรอง แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของน้ำดิบมีผลน้อยมากหรือแทบจะไม่มีผลต่อคุณภาพน้ำกรองที่ได้ จากการกำจัดโดยอาศัยเมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน

กลไกในการกำจัดที่เกิดขึ้น เหมือนกับในกรณีที่มีโคลิฟาจชนิดเดียว โดยที่อาจจะมีกลไกที่เป็นไปได้เพิ่มเติมจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น คือ การเกาะติดอนุภาค แล้วถูกกำจัดโดยเมมเบรนในภายหลัง (หมายถึง การที่โคลิฟาจแพร่เข้าสู่เซลอีโคไล ซึ่งมีขนาดที่ใหญ่กว่าช่องว่างของเมมเบรน ทำให้โคลิฟาจที่อยู่เซลอีโคไลถูกกรองติดบนผิวของเมมเบรนไปด้วย)

3.2 การกรองโดยใช้เมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน

จากตารางที่ 4.5 จะพบว่าการกรองตัวอย่างน้ำที่มีทั้งอีโคไล และโคลิฟาจโดยใช้เมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน ตรวจไม่พบทั้งอีโคไล และโคลิฟาจ ในทุกอัตรากรอง เนื่องจากขนาดโดยเฉลี่ยของทั้งอีโคไลและโคลิฟาจ มีขนาดเฉลี่ยที่ใหญ่กว่า 0.03 ไมครอน จึงไม่สามารถทะลุผ่านช่องว่างของเมมเบรนขนาดเฉลี่ย 0.03 ไมครอนได้ กลไกหลักในการกรองที่เกิดขึ้นจึงเป็นกลไกการติดค้างบนผิวเมมเบรน ประสิทธิภาพในการกำจัดอีโคไลอยู่ระหว่าง ≥ 7.7 ล็อก จนถึง ≥ 8.6 ล็อก ส่วนการกำจัดโคลิฟาจมีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง ≥ 6.9 ล็อก จนถึง ≥ 7.3 ล็อก ดังรูปที่ 4.7 และ 4.9

ผลของอีโคไลต่อการกำจัดโคลิฟาจของเมมเบรน

1. การกรองโดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน

จากการเปรียบเทียบกราฟรูปที่ 4.5 และ 4.8 จะพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดโคลิฟาจในกรณีที่น้ำมีอีโคไลปนอยู่ด้วยนั้น มีความแตกต่างน้อยมากหรือแทบจะไม่มีเลยจากในกรณีที่มีแต่โคลิฟาจเพียงชนิดเดียว แสดงว่า อีโคไลไม่มีผลต่อการกำจัดโคลิฟาจของเมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน เนื่องจากอีโคไลมีขนาดซึ่งใหญ่กว่าช่องว่างของเมมเบรนมาก ดังนั้น ถึงแม้ว่าจะมีการแพร่เข้าสู่เซลอีโคไลของโคลิฟาจ ก็ไม่สามารถทะลุผ่านช่องว่างของเมมเบรนไปได้ กลไกการกรองที่เกิดขึ้นจึงมี กลไกการเกาะติดอนุภาคแล้วถูกกำจัดโดยเมมเบรนในเวลาต่อมา เพิ่มเติมขึ้นมาจากกลไกที่เกิดขึ้นในกรณีที่มีแต่โคลิฟาจชนิดเดียว และจากการที่ประสิทธิภาพในการ

กำจัดโคลิฟาจไม่แตกต่างกับกรณีที่มีแต่โคลิฟาจชนิดเดียว แสดงให้เห็นว่าในกรณีที่โคลิฟาจซึ่งอยู่ในเซลอีโคไลขยายพันธุ์ แล้วปล่อยตัวมันเองออกมาจากเซลอีโคไล ทำให้ความเข้มข้นของโคลิฟาจเพิ่มขึ้นนั้น ไม่มีผลต่อคุณภาพของน้ำกรองที่ได้จากเมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน

2. การกรองโดยใช้เมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน

จากการเปรียบเทียบกราฟรูปที่ 4.5 และ 4.9 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโคลิฟาจในกรณีที่น้ำมีอีโคไลปนอยู่ด้วยนั้น ไม่แตกต่างจากกรณีที่มีแต่โคลิฟาจเพียงอย่างเดียวเท่าใดนัก แสดงให้เห็นว่า อีโคไลไม่มีผลต่อการกำจัดโคลิฟาจของเมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน เนื่องจากทั้งอีโคไล และโคลิฟาจมีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างของเมมเบรน ดังนั้นจึงไม่สามารถทะลุผ่านได้ การแพร่เข้าสู่เซลอีโคไลของโคลิฟาจ และการที่ความเข้มข้นของโคลิฟาจเพิ่มขึ้นจากการขยายพันธุ์ในเซลอีโคไลของโคลิฟาจ จึงไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด และคุณภาพของน้ำกรองที่ได้

เวลาที่ใช้ในการกรอง

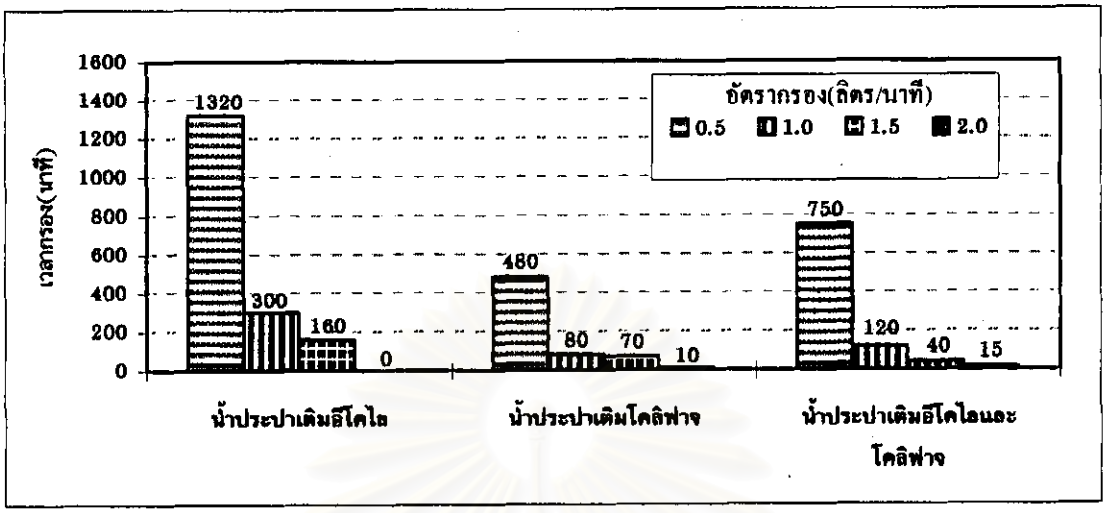
จากกราฟรูปที่ 4.11 และ 4.12 เวลาที่ใช้ในการกรองจนกระทั่งเมมเบรนอุดตัน คือ กำหนดให้เมื่อความดันขึ้นถึง 1 บาร์ หรือ 2 บาร์ โดยขนาดช่องว่าง และอัตรากรองคงที่ พบว่าตัวอย่างน้ำต่างชนิดกันใช้เวลากรอง(อายุกรอง)ต่างกัน เรียงตามลำดับ จากมากไปน้อยดังนี้ คือ 1. น้ำประปาเติมอีโคไล 2. น้ำประปาเติมอีโคไลและโคลิฟาจ 3. น้ำประปาเติมโคลิฟาจ

เนื่องจากขนาดของอีโคไลมีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างเฉลี่ยของเมมเบรนทั้งสองขนาด จึงไม่สามารถเข้าไปติดค้างภายในรูเมมเบรน (internal clogging) แต่จับอยู่บนผิวเมมเบรน เกิดการกรองติดค้างบนผิวเมมเบรน และเกิดช่องว่างระหว่างอีโคไลจำนวนมาก ทำให้อายุการกรองยาวนานที่สุด สำหรับอัตราการกรองที่สูงขึ้นจะมีอายุการกรองสั้นกว่าการใช้อัตราการกรองต่ำ เนื่องจากการใช้อัตรากรองสูง ต้องเพิ่มความดันสูงขึ้น อีโคไลที่ติดค้างอยู่บนผิวเมมเบรนถูกอัดตัวแน่นขึ้น ความต้านทานของเมมเบรนจึงสูงขึ้น อายุกรองจึงสั้นลง

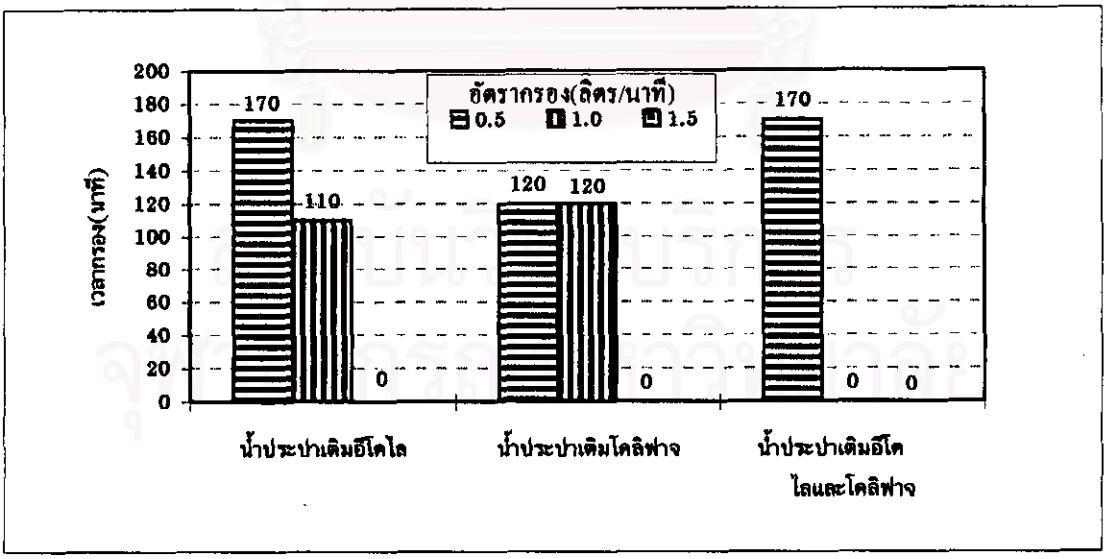
สำหรับการกรองตัวอย่างน้ำที่มีโคลิฟาจ โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน อนุภาคโคลิฟาจจะมีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างเฉลี่ยของเมมเบรน จึงกรองติดค้างบนผิวเมมเบรนเช่นกัน และอัตรากรองที่สูงขึ้นก็ให้ผลเช่นเดียวกับการกรองอีโคไล

การกรองตัวอย่างน้ำที่มีอีโคไล และโคลิฟาจ จะมีอายุกรองซึ่งยาวนานกว่าการกรองตัวอย่างน้ำที่มีโคลิฟาจ เนื่องจากอีโคไลจะถูกกรองติดค้างบนผิวเมมเบรน ทำให้เหมือนมีการกรองหยาบขึ้นชั้นหนึ่งก่อนถึงชั้นเมมเบรน

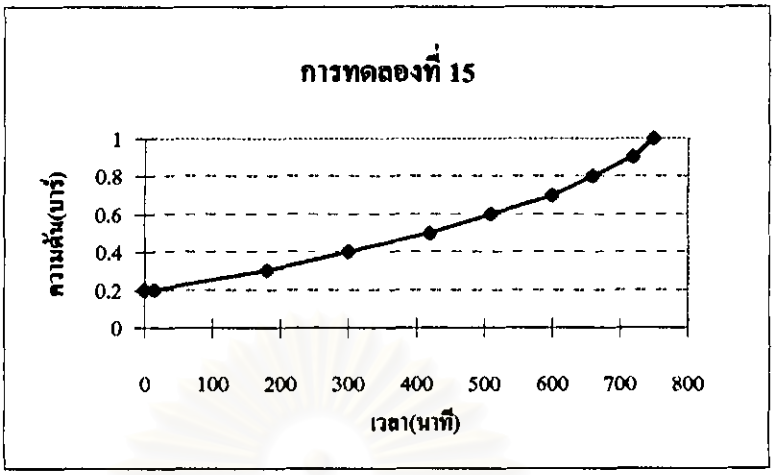
การกรองตัวอย่างน้ำที่มีโคลิฟาจ โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอนนั้น อนุภาคโคลิฟาจจะสามารถทะลุผ่านเข้าไปในช่องว่างของเมมเบรนได้ ความต้านทานที่เกิดขึ้นในระบบจึงเกิดจากการอุดตันภายในรูเมมเบรนด้วย ทำให้อายุกรองสั้นกว่าการกรองตัวอย่างน้ำอื่น ๆ

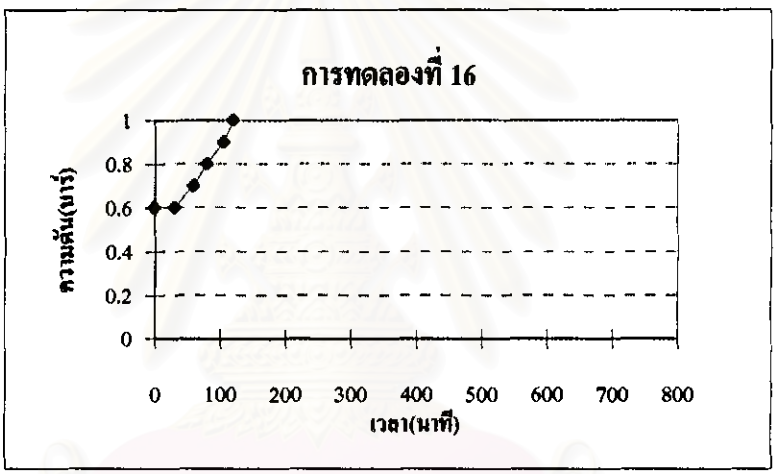


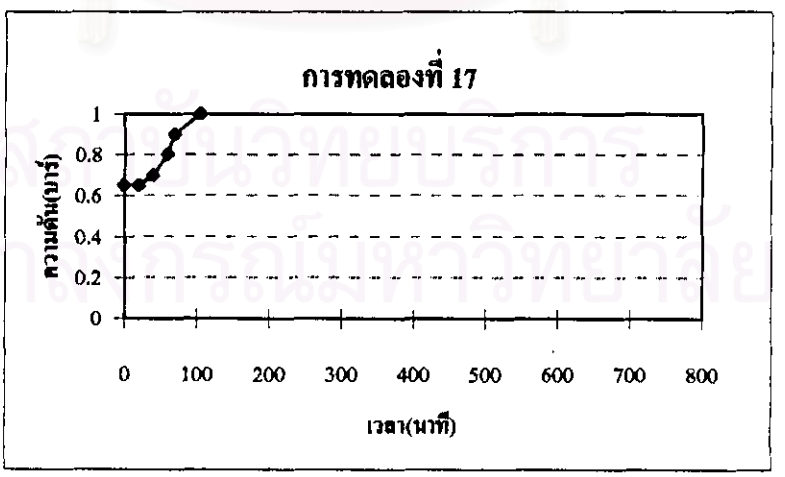
รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการกรองตัวอย่างน้ำจนเมมเบรนอุดตันที่ความดัน 1-2 บาร์ ที่อัตรากรองต่าง ๆ กัน โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน



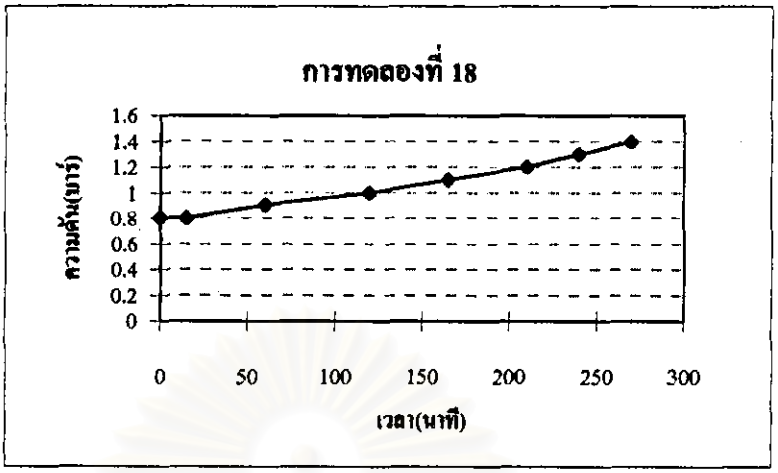
รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการกรองตัวอย่างน้ำจนเมมเบรนอุดตันที่ความดัน 1-2 บาร์ ที่อัตรากรองต่าง ๆ กัน โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน

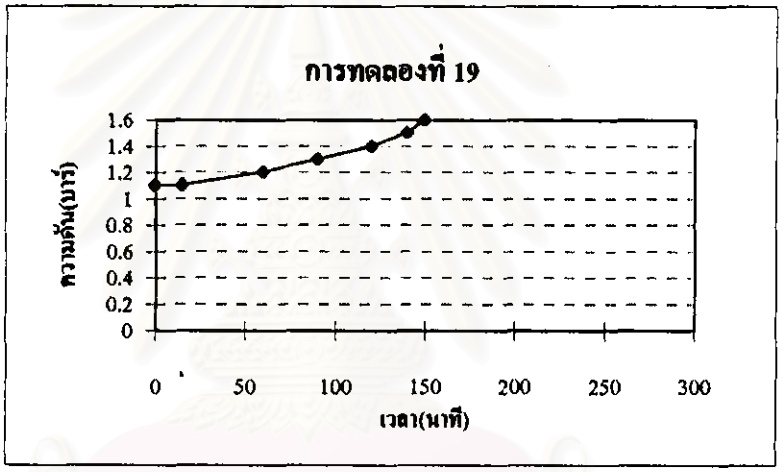


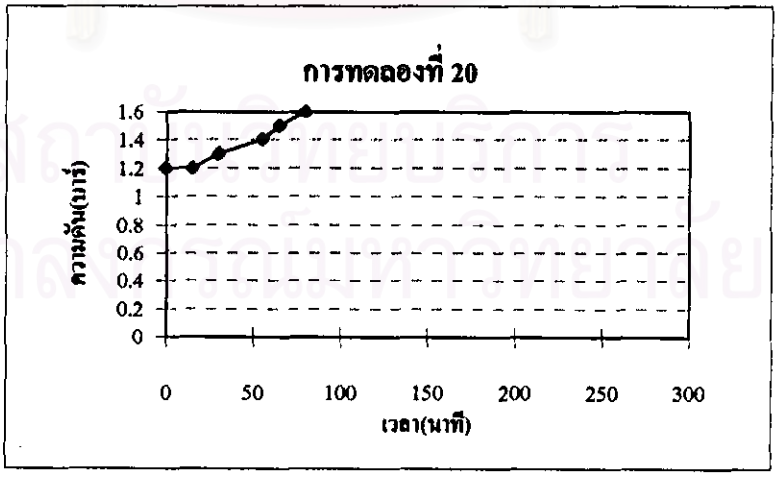




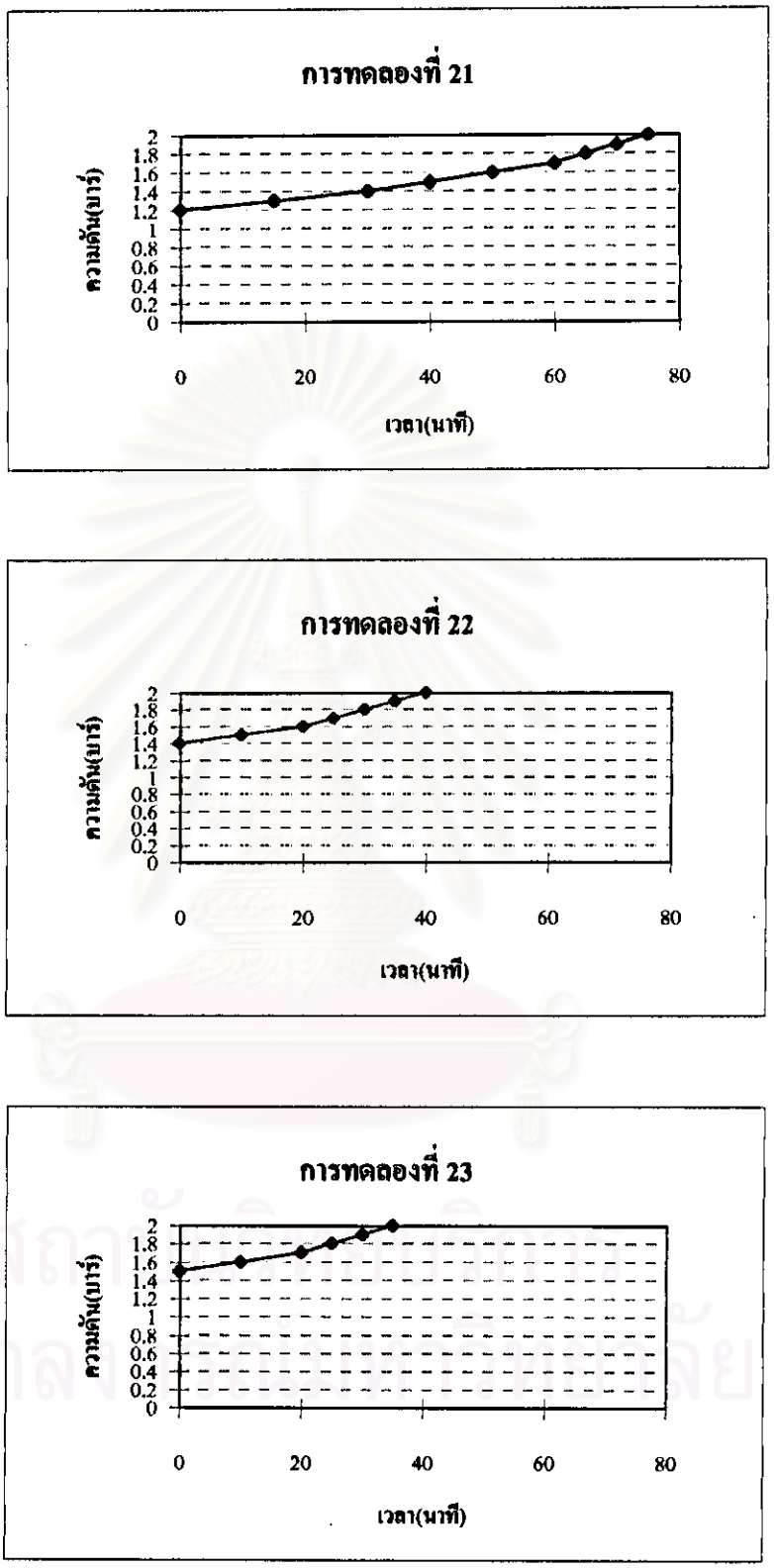
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากรอง และความดัน โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน ตัวอย่างน้ำคือ น้ำประปาเติมอีโคไล และโคลิฟาจ ที่อัตรากรอง 0.5 ลิตร/นาที



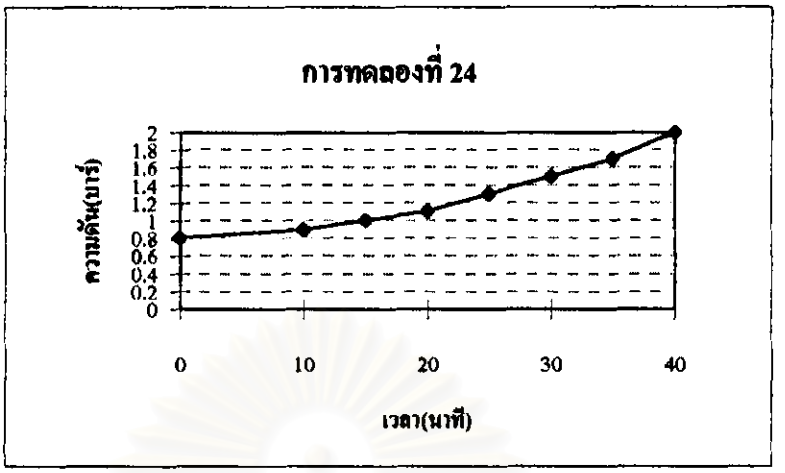


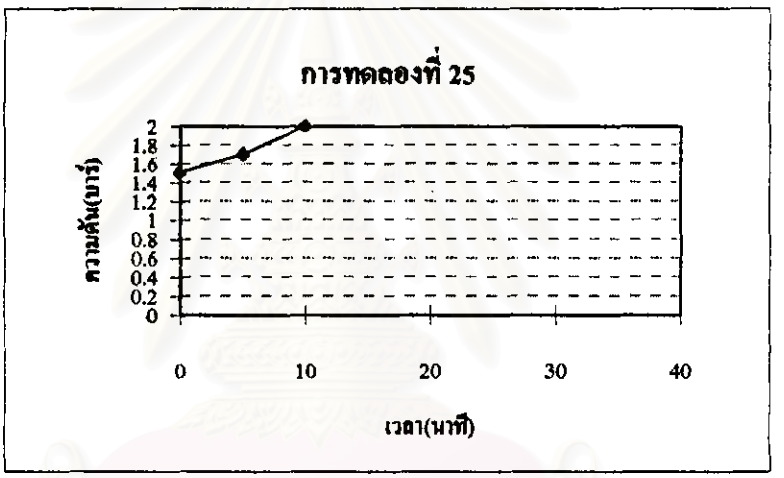


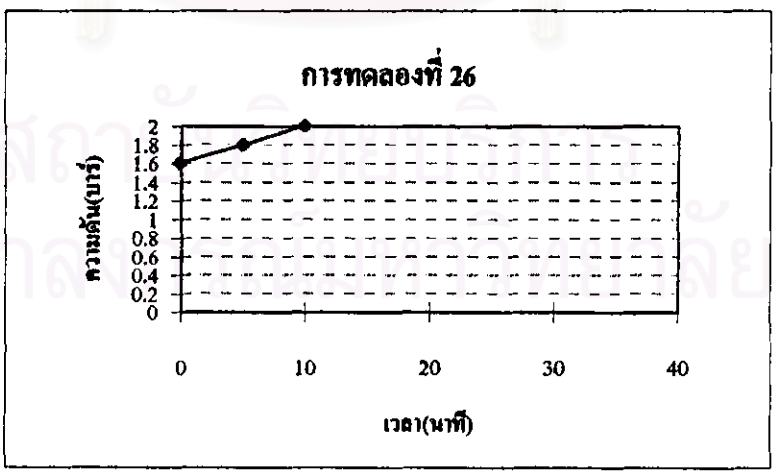
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากรอง และความดัน โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน ตัวอย่างน้ำคือ น้ำประปาเติมอีโคไล และโคลิฟาจ ที่อัตรากรอง 1.0 ลิตร/นาที



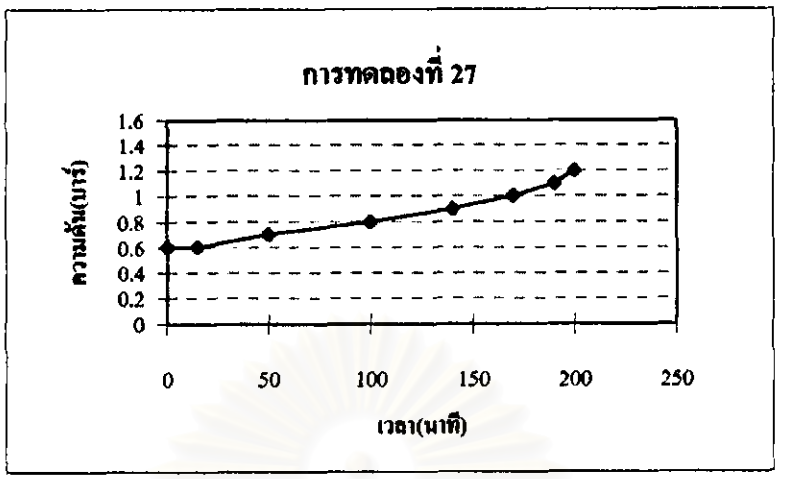
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากรอง และความดัน โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน ตัวอย่างน้ำคือ น้ำประปาเติมอีโคไล และโคลิฟาจ ที่อัตรากรอง 1.5 ลิตร/นาที

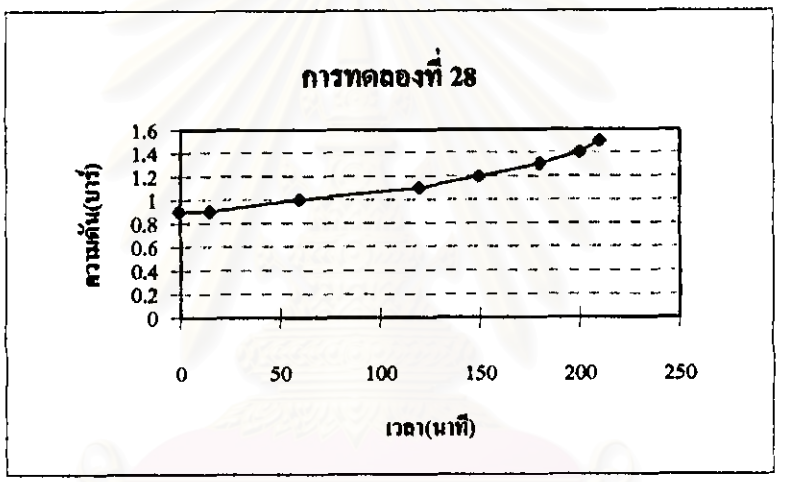


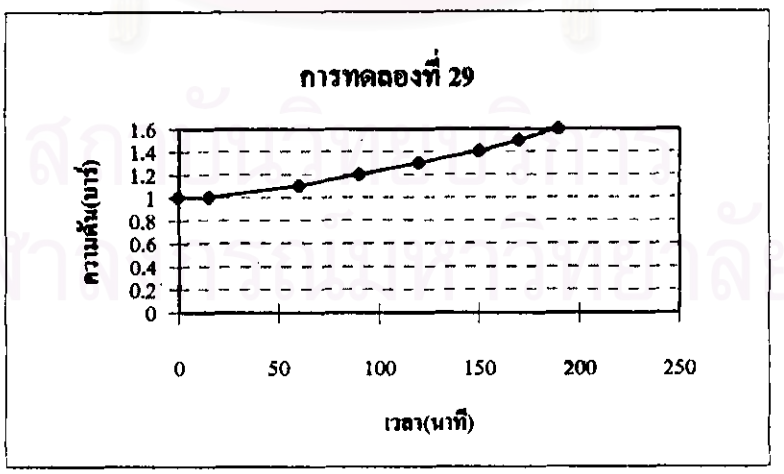




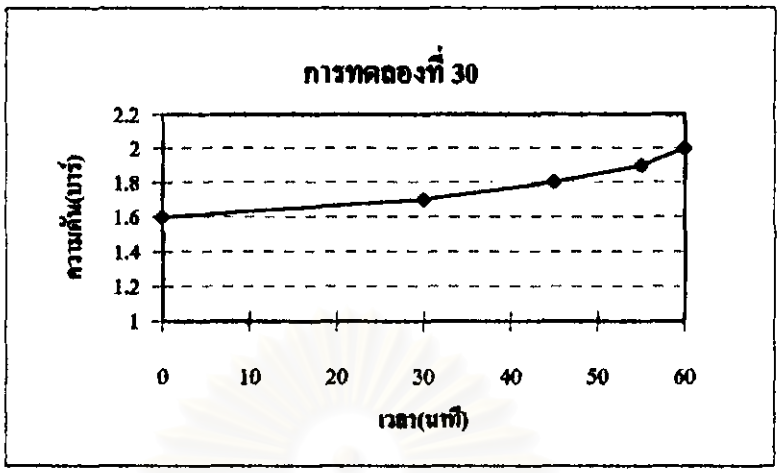
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากรอง และความดัน โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน ตัวอย่างน้ำคือ น้ำประปาเติมอีโคไล และโคลิฟาจ ที่อัตรากรอง 2.0 ลิตร/นาที

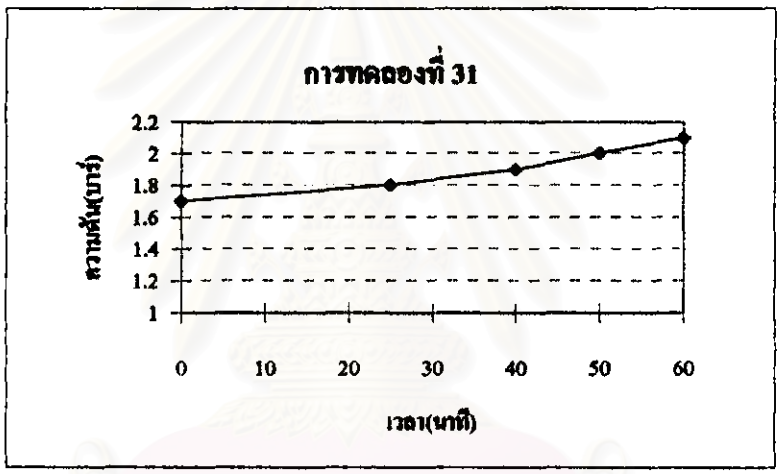


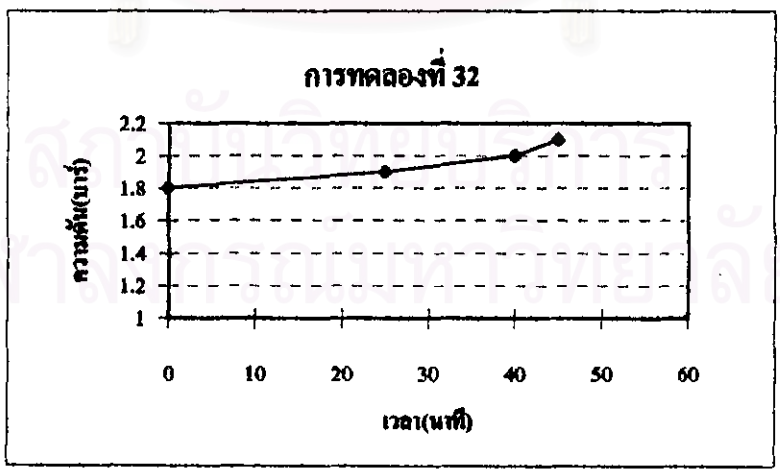




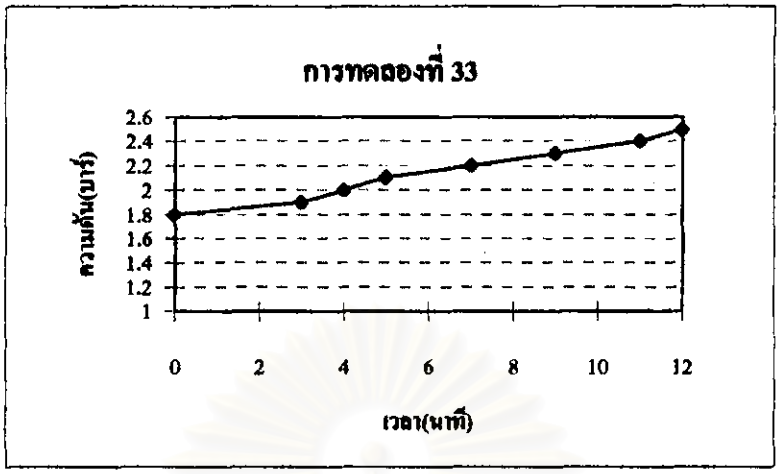
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากรอง และความดัน โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน ตัวอย่างน้ำ คือ น้ำประปาเติมอีโคไล และโคลิฟาจ ที่อัตรากรอง 0.5 ลิตร/นาที

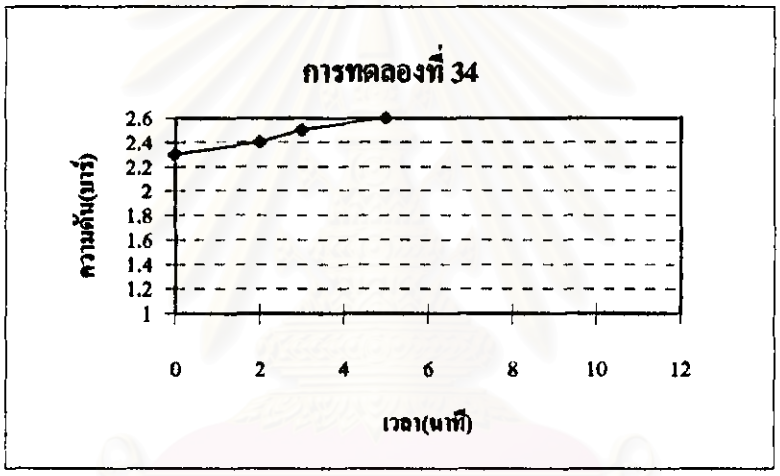


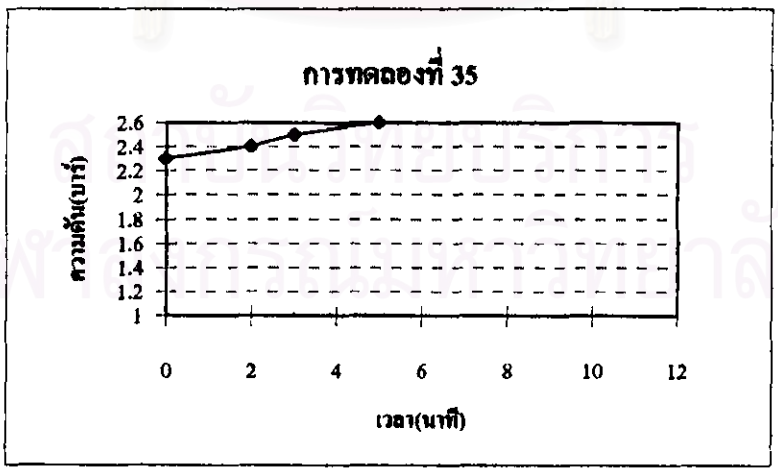




รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากรอง และความดัน โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน ตัวอย่างน้ำ คือ น้ำประปาเติมฮิโดไอ และโคลิฟาจ ที่อัตรากรอง 1.0 ลิตร/นาที







รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากรอง และความดัน โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน ตัวอย่างน้ำ คือ น้ำประปาเติมอีโคไล และโคลิฟาจ ที่อัตรากรอง 1.5 ลิตร/นาที

ความต้านทานเชิงชลศาสตร์ของเมมเบรน (Hydraulic resistance of the membrane)

จากกราฟรูปที่ 4.13 - 4.19 พบว่า เมื่อเวลากรองเพิ่มขึ้น ความดันที่ใช้ในการกรองจะเพิ่มตามไปด้วย เพื่อรักษาอัตรากรอง (อัตราการผลิตน้ำ) ให้คงที่ การเพิ่มความดันก็เพื่อลดความต้านทานเชิงชลศาสตร์ ที่เกิดขึ้นของเมมเบรน จากสมการที่ 4.1 (Vigneswaren, Ben Aim, 1991)

$$J = \Delta P/\mu R \quad \text{.....(4.1)}$$

โดยที่ J = อัตรากรองต่อพื้นที่เมมเบรน (ลิตร/นาที-ตารางเมตร)

ΔP = ผลต่างความดันระหว่างทางน้ำเข้า และน้ำออก (บาร์)

μ = ความหนืดของน้ำ = 0.001 นิวตัน-วินาที/ตารางเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส

R = ความต้านทานเชิงชลศาสตร์ซึ่งประกอบด้วย

R_a = ความต้านทานจริงของเมมเบรน ตามทฤษฎี

R_c = ความต้านทานที่เกิดจากการให้ความดันกับระบบ

R_f = ความต้านทานที่เกิดจากการอุดตันบนผิวเมมเบรน (fouling)

R_p = ความต้านทานที่เกิดจากปรากฏการณ์ Concentration Polarization

R_g = ความต้านทานที่เกิดจากชั้นของเจล (gel layer)

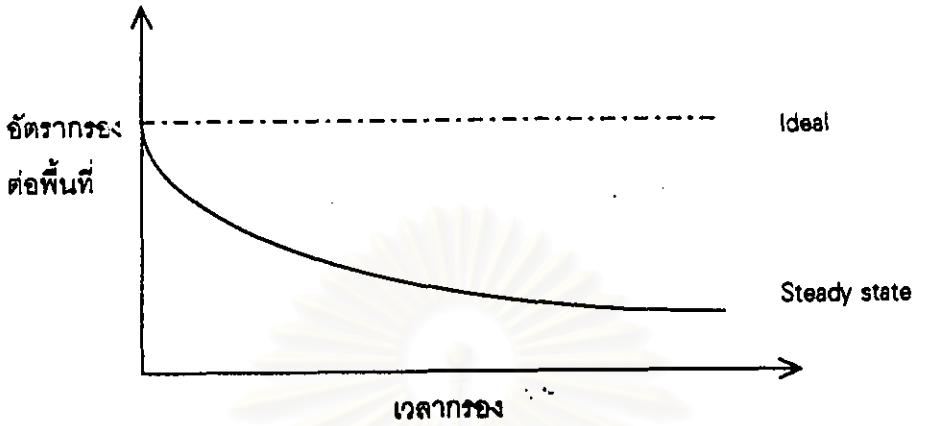
R_d = ความต้านทานที่เกิดจากการสะสมตะกอน (deposit)

R_i = ความต้านทานที่เกิดจากการอุดตันภายในช่องว่างของเมมเบรน (internal clogging

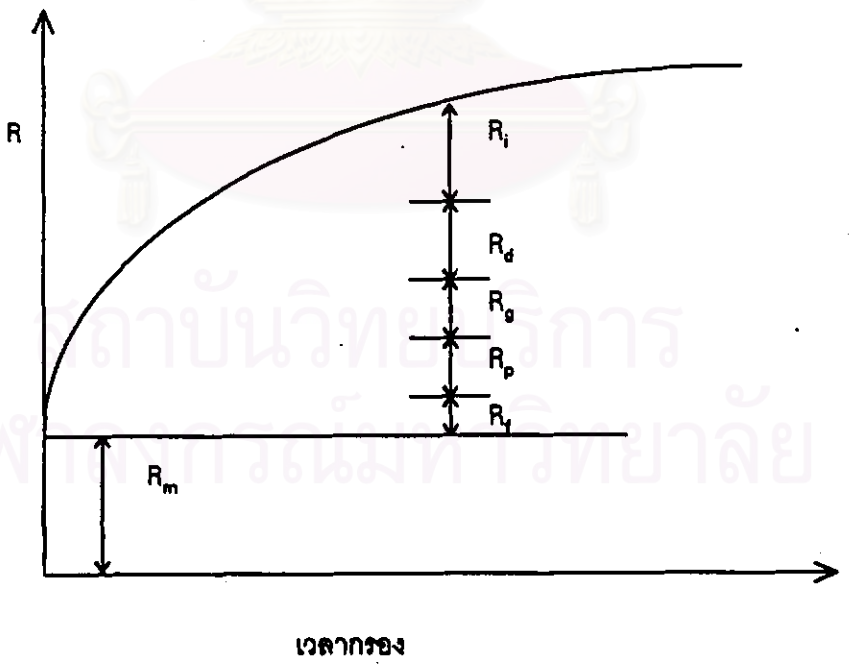
ค่า R_a เป็นความต้านทานจริงของเมมเบรน แต่ค่า R_a จะเปลี่ยนไประหว่างการกรอง ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการกรอง เช่น การเพิ่มความดันแก่ระบบ เมมเบรนจะถูกอัดตัวเพิ่มขึ้น ทำให้โครงสร้างของเมมเบรนเปลี่ยนไป ในทางปฏิบัติจึงรวมค่าความต้านทานจากการอัดตัว R_c กับ R_a เป็นค่าความต้านทานของเมมเบรน (R_m) ซึ่งมีค่าคงที่เมื่อทำการกรองน้ำสะอาด สำหรับการกรองน้ำที่มีอนุภาคปนอยู่ จะทำให้อัตรากรองลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเวลาผ่านไป ดังรูปที่ 4.20 เนื่องจากการอุดตันจากสาเหตุต่าง ๆ ทำให้ความต้านทานของระบบเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.21

จากสมการที่ 4.1 จะเห็นว่าความต้านทานเชิงชลศาสตร์ (R) ประกอบไปด้วยความต้านทานต่าง ๆ เป็นจำนวนมากทำให้ยากแก่การคำนวณหาความต้านทานแต่ละตัว ดังนั้น Laine' และคณะจึงได้ปรับสมการของ Hagen-Poiseulle ซึ่งเป็นสมการสำหรับการไหลแบบ laminar ผ่านท่อทรงกระบอก เพื่อเปลี่ยนผลของการเกิด fouling ไปเป็นค่าความต้านทานดังสมการที่ 4.2

$$J = \Delta P/\mu (R_m + R_c + R_i) = \Delta P/\mu R_t \quad \text{.....(4.2)}$$



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตรากรองต่อพื้นที่ และเวลากรอง



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทาน, R และเวลากรอง

โดยที่ J = อัตรากรองต่อพื้นที่เมมเบรน (ลิตร/นาที-ตารางเมตร)

ΔP = ผลต่างความดันระหว่างทางน้ำเข้า และน้ำออก (บาร์)

μ = ความหนืดของน้ำ = 0.001 นิวตัน-วินาที/ตารางเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส

R_m = ความต้านทานของเมมเบรน

R_c = ความต้านทานซึ่งเกิดจากชั้น cake สามารถแก้ไขให้คืนสภาพได้

R_i = ความต้านทานซึ่งเกิดจาก fouling ไม่สามารถแก้ไขให้คืนสภาพได้

R_t = ความต้านทานเชิงชลศาสตร์ทั้งหมด

ในการกรองโดยทั่ว ๆ ไป ค่า R_c กับ R_i จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ดังรูปที่ 4.21

จากรูปที่ 4.22 - 4.28 จะเห็นว่าค่าความต้านทานซึ่งสามารถแก้ไขให้คืนสภาพเดิมได้ด้วยการล้างย้อน (Reversible fouling) มีแนวโน้มว่าจะมีค่าลดลงสำหรับการกรองในครั้งต่อไป เนื่องจากความต้านทานจะเพื่อขึ้นตามเวลากรองที่เพิ่มขึ้น แต่ในการกรองครั้งถัดไปจะใช้เวลาในการกรองน้อยลง ทำให้ค่าความต้านทานซึ่งสามารถแก้ไขให้คืนสภาพได้ด้วยการล้างย้อนลดลง ตรงกันข้ามกับค่าความต้านทานซึ่งไม่สามารถแก้ไขให้คืนสภาพเดิมได้ด้วยการล้างย้อน (Irreversible fouling) มีแนวโน้มว่าจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นในการกรองครั้งต่อ ๆ ไป ทั้งนี้เนื่องจากความต้านทานที่เกิดจาก fouling ไม่สามารถแก้ไขให้คืนสภาพเดิมได้ด้วยการล้างย้อนทำให้ในการกรองครั้งต่อไปมีการสะสมของค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นในการ กรองครั้งต่อไปจึงต้องเพิ่มความดันเริ่มต้นให้แก่ระบบ เพื่อลดความต้านทานเชิงชลศาสตร์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการลดความต้านทานก็เพื่อที่จะรักษาอัตรากรองให้ได้ตามที่ต้องการ

ความต้านทานของระบบเมมเบรน (membrane resistance, R_m)

เมื่อทำการกรองน้ำประปาผ่านเมมเบรนที่ความดันต่าง ๆ กัน แล้วบันทึกค่าอัตรากรองที่ได้นำมาเขียนกราฟระหว่าง ความดันต่อความหนืดของน้ำ และอัตรากรองต่อพื้นที่ ดังรูปที่ 4.29 ความชันที่ได้จากกราฟ คือค่า R_m จากสมการที่ 4.1 ค่า R ในการกรองน้ำประปาคือ ค่า R_m

$$Jw = \Delta P/\mu R_m \quad \text{.....(4.3)}$$

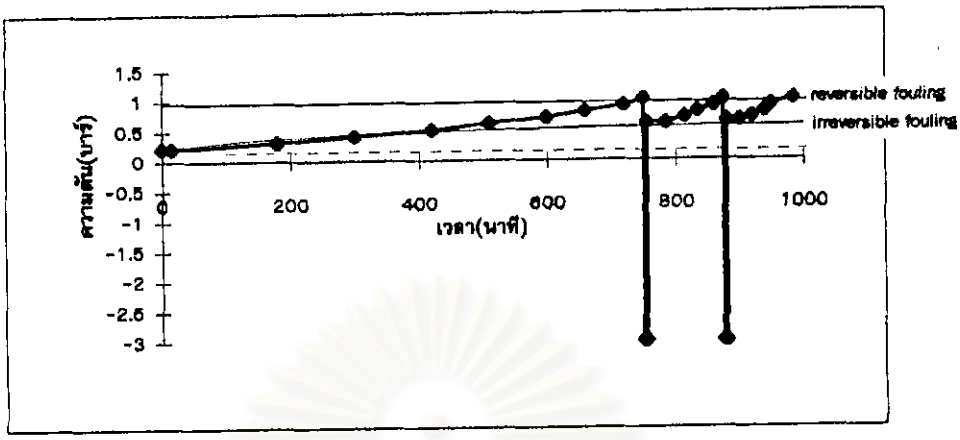
โดยที่ Jw = อัตรากรองน้ำประปาต่อพื้นที่เมมเบรน (ลิตร/นาที-ตารางเมตร)

ΔP = ผลต่างความดันระหว่างทางน้ำเข้า และน้ำออก (บาร์)

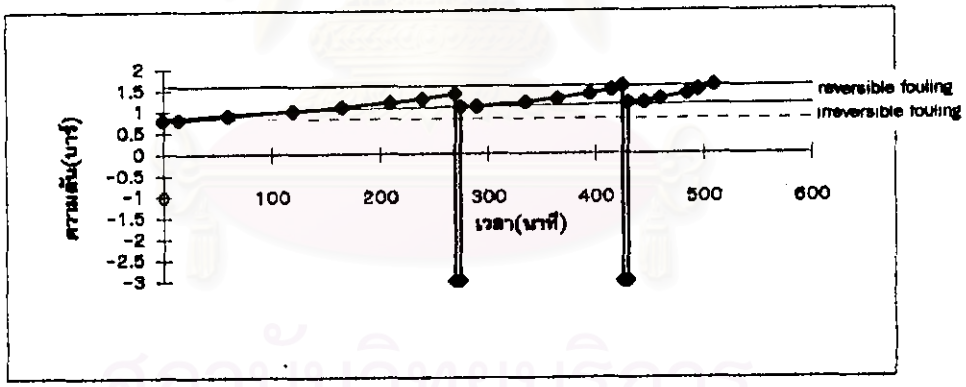
μ = ความหนืดของน้ำ = 0.001 นิวตัน-วินาที/ตารางเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส

R_m = ความต้านทานของเมมเบรน (เมตร-1)

พื้นที่ของเมมเบรน = 0.3 ตารางเมตร

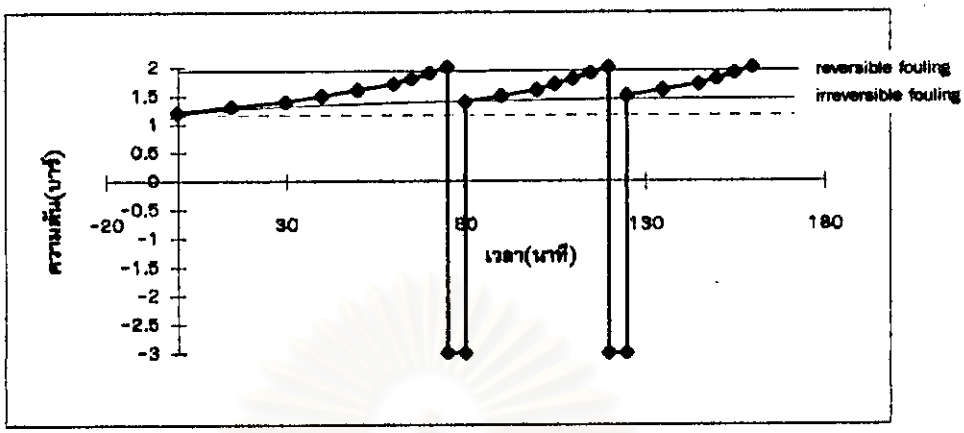


รูปที่ 4.22 กราฟแสดง Pressure Profile ของ เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน ที่อัตราการกรอง 0.5 ลิตร/นาที

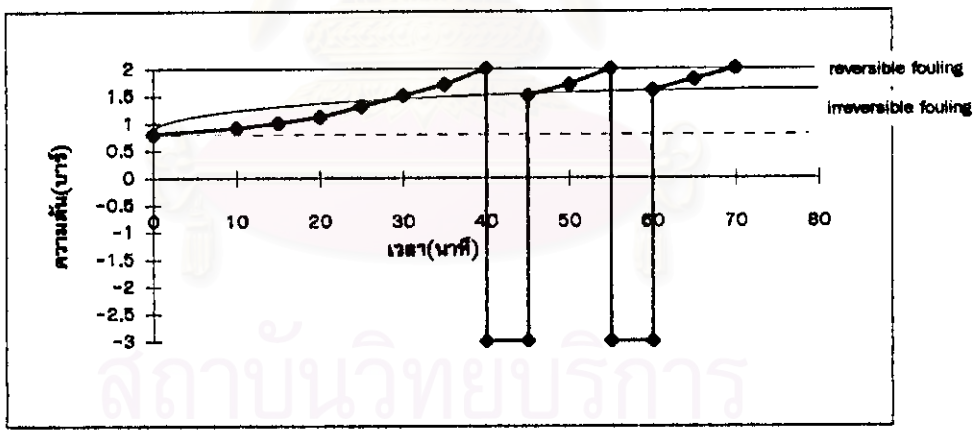


รูปที่ 4.23 กราฟแสดง Pressure Profile ของ เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน ที่อัตราการกรอง 1.0 ลิตร/นาที

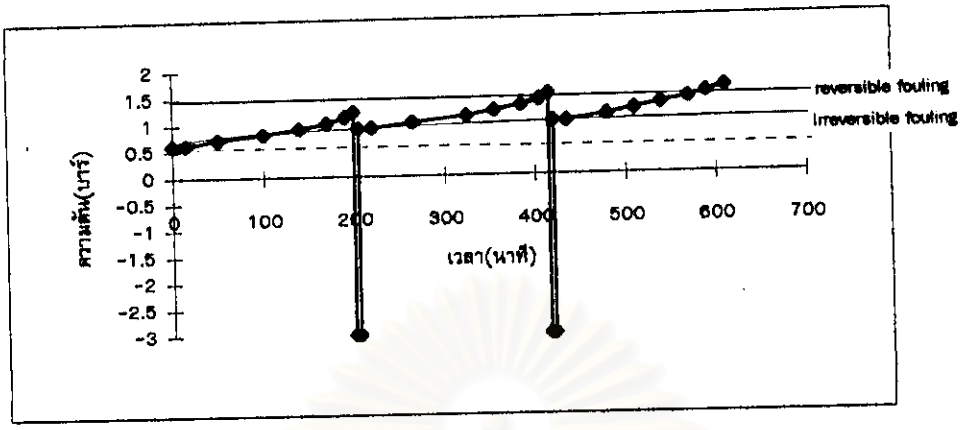
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



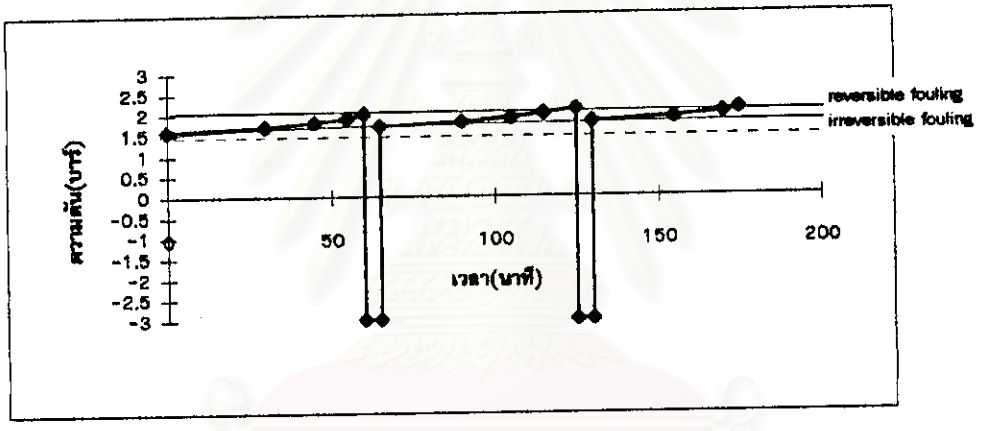
รูปที่ 4.24 กราฟแสดง Pressure Profile ของ เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน ที่อัตรากรอง 1.5 ลิตร/นาที



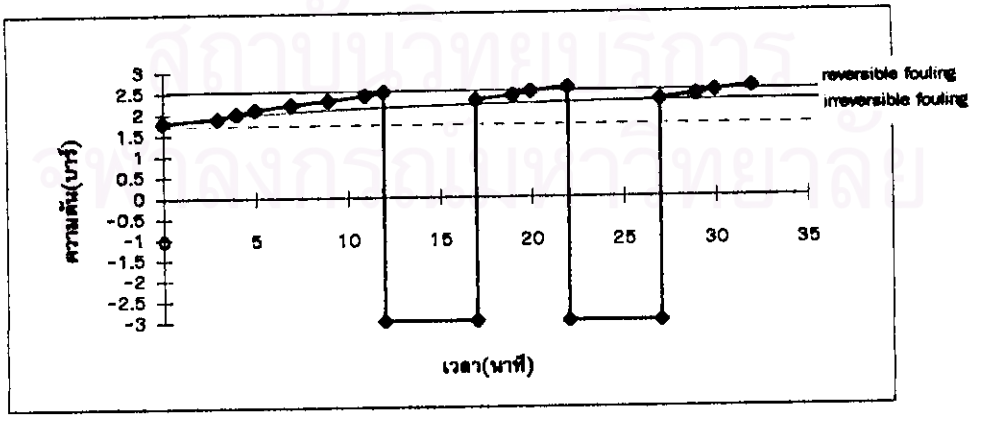
รูปที่ 4.25 กราฟแสดง Pressure Profile ของ เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน ที่อัตรากรอง 2.0 ลิตร/นาที



รูปที่ 4.26 กราฟแสดง Pressure Profile ของเมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน ที่อัตรากรอง 0.5 ลิตร/นาที



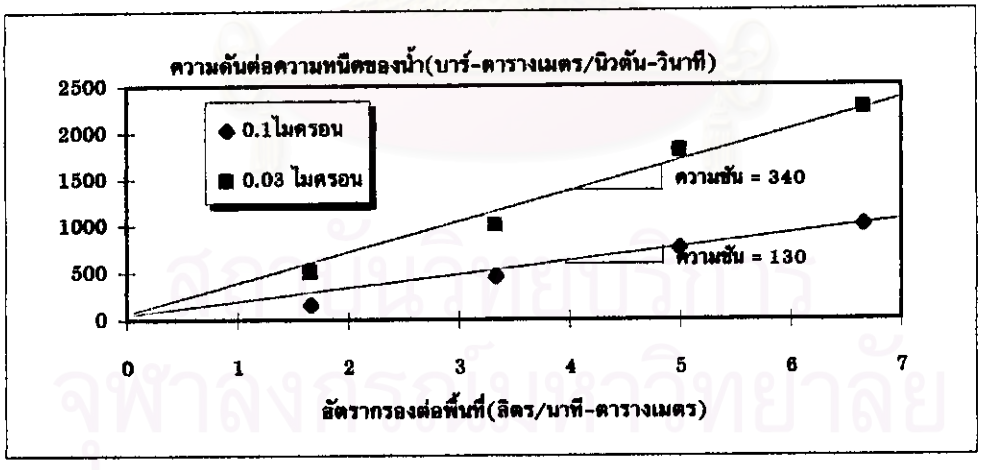
รูปที่ 4.27 กราฟแสดง Pressure Profile ของเมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน ที่อัตรากรอง 1.0 ลิตร/นาที



รูปที่ 4.28 กราฟแสดง Pressure Profile ของเมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน ที่อัตรากรอง 1.5 ลิตร/นาที

ตารางที่ 4.6 ผลของการกรองน้ำประปา เพื่อหาค่า R_m

ขนาดรูเมมเบรน (ไมครอน)	ความดัน (บาร์)	P/m	อัตราการกรอง (ลิตร/นาที)	อัตราการการองต่อพื้นที่ (ลิตร/นาที-ตารางเมตร)	ความต้านทานเมมเบรน (R_m, m^{-1})
0.1	0.15	150	0.5	1.67	1.3×10^{11}
	0.45	450	1	3.33	
	0.75	750	1.5	5.00	
	1.00	1000	2	6.67	
0.03	0.50	500	0.5	1.67	3.4×10^{11}
	1.00	1000	1	3.33	
	1.80	1800	1.5	5.00	



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตรากรองต่อพื้นที่ และความดันต่อความหนืดของน้ำในการกรองน้ำประปา เพื่อหาค่าความต้านทานของเมมเบรน (membrane resistance, Rm)

ค่า R_m ที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7

ความต้านทานของตะกอน (cake resistance, Mα)

Hoogland และคณะ (1986) ได้กำหนดให้ ค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นระหว่างการกรองเป็นค่า R_{op} ดังสมการที่ 4.4

$$R_{op} = R_f + R_p + R_g + R_d + R_i = M\alpha \quad \text{.....(4.4)}$$

โดยที่ M = น้ำหนักของตะกอนบนผิวเมมเบรน (cake loding)

α = ความต้านทานเฉพาะ (specific resistance)

ค่า Mα เรียกว่า ความต้านทานของตะกอน (cake resistance)

ในการวิจัยครั้งนี้ทำการทดลองโดยการรักษาอัตรากรองให้คงที่ ดังนั้นค่าความต้านทานของตะกอนจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จึงไม่ได้คำนวณไว้ในผลการทดลอง แต่เปลี่ยนกราฟรูปที่ 4.13 - 4.19 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน และเวลากรอง ให้อยู่ในรูปสมการถดถอยเชิงเส้น แสดงในภาคผนวก ฉ

ค่าดัชนีความต้านทาน (Resistance Index, RI)

RI คือ ค่าที่ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการล้างย้อน แสดงดังสมการที่ 4.4

$$RI = \frac{R_2 - R_m}{R_1 - R_m} \quad \text{.....(4.4)}$$

โดยที่ R_1 = ความต้านทานก่อนการล้างย้อนเมมเบรน

R_2 = ความต้านทานหลังการล้างย้อนเมมเบรน

R_m = ความต้านทานของเมมเบรน

ค่า R_1 และ R_2 คำนวณจากสมการที่ 4.1

เมื่อค่า RI เข้าใกล้ 1 การล้างย้อนจะไม่มีประสิทธิภาพ ค่า RI น้อยลง ประสิทธิภาพการล้างย้อนจะมากขึ้น และประสิทธิภาพการล้างย้อนจะดีมาก ถ้าค่าที่ได้เข้าใกล้ศูนย์

ตัวอย่างการหาค่า RI สำหรับการทดลองชุดที่ 15 โดยค่า R_m สำหรับเมมเบรนขนาด 0.1

ไมครอนเท่ากับ 1.3 x 10^{11} m^{-1} (จากตารางที่ 4.7) ค่า R_1 และ R_2 คำนวณจากสมการที่ 4.1 ดังนี้

$$R_1 = \Delta P/\mu J$$
$$= (1.0 \text{ bar})/(0.001 \text{ N.S/m}^2 \text{ x } 1.67 \text{ L/min m}^2)$$
$$= 600 \text{ bar min m}^4 \text{ / N.S.L}$$
$$= 3.6 \text{ x } 10^{12} \text{ m}^{-1}$$
$$R_2 = (0.6\text{bar})/(0.001 \text{ N.S/m}^2 \text{ x } 1.67 \text{ L/min m}^2)$$
$$= 2.2 \text{ x } 10^{12} \text{ m}^{-1}$$

(1 bar min m^4 / N.S.L. = 6 x 10^9 m^{-1})

จากข้อมูลในการทดลองชุดที่ 15-35 ซึ่งศึกษาผลของการล้างย้อน นำมาหาค่า RI แสดงดังตารางที่ 4.8

การล้างย้อน (backwash)

จากรูปที่ 4.30 และ 4.31 ความดันที่เพิ่มขึ้นในแต่ละชุดการทดลองหลังจากทำการล้างย้อน เกิดจากความต้านทานภายในเมมเบรน โดยที่การล้างย้อนไม่สามารถทำให้เมมเบรนคืนสภาพดีเหมือนเดิมได้ เนื่องจากเกิดการอุดตันแบบ irreversible fouling

สาเหตุของการเกิดการอุดตันแบบ irreversible fouling อาจเนื่องมาจาก

1. วัสดุที่ใช้ทำเมมเบรนเป็นแบบไม่ชอบน้ำ (hyfrophobic) จึงดูดซับสารอินทรีย์ อีโคไล และโคลิฟาจได้ดี

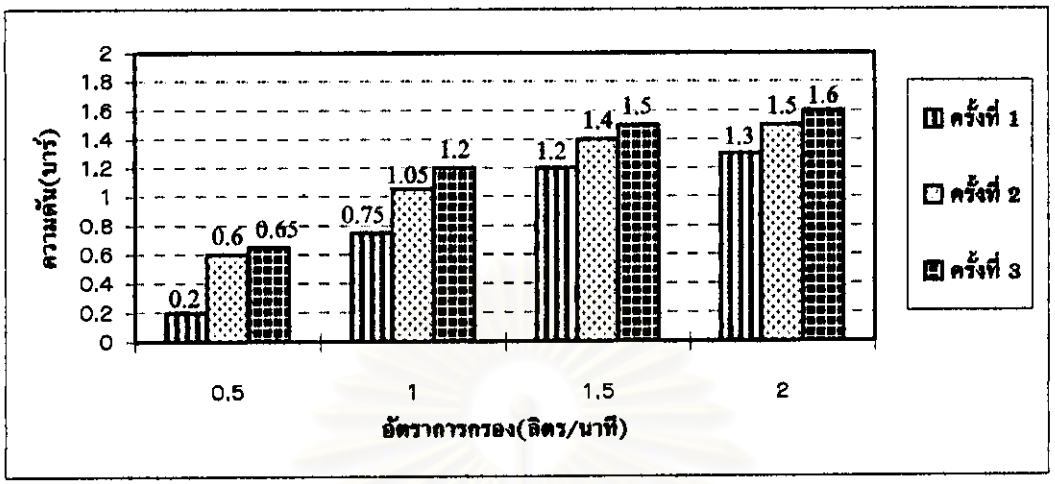
2. การอุดตันภายในรูเมมเบรนของโคลิฟาจ ซึ่งองค์ประกอบของโคลิฟาจจะคล้ายโปรตีนและโมเลกุลของโปรตีน มีคุณสมบัติที่จะดูดซับบนผิวเมมเบรนได้ดี

จากตารางที่ 4.8 ค่า RI ที่ได้แสดงให้เห็นว่า การล้างย้อนที่ใช้ในการทดลอง มีประสิทธิภาพที่ต่ำ เนื่องจากค่า RI ที่ได้มีค่าสูง เข้าใกล้ค่า 1 แสดงว่าไม่สามารถทำให้เมมเบรนคืนสภาพดีเหมือนเดิมได้ จากเหตุผลข้างต้น และเนื่องจากการใช้อัตรากรองที่ค่อนข้างสูงในการทดลองครั้งนี้ทำให้เกิดการอัดตัวของอีโคไล และโคลิฟาจบนผิวของเมมเบรนมาก ทำให้เกิดการดูดซับบนผิวเมมเบรน และการอุดตันภายในรูเมมเบรนสูง ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวไม่สามารถแก้ไขให้เมมเบรนคืนสภาพเดิมได้ด้วยการล้างย้อน ดังนั้นประสิทธิภาพการล้างย้อนจึงต่ำ ประกอบกับสภาพของเมมเบรนที่ได้รับการใช้งานมาเป็นเวลานานแล้ว ทำให้ตัวของเมมเบรนเองมีการสะสมของ irreversible fouling เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ความดันที่ต้องให้กับเมมเบรนค่อนข้างสูงในการลดความต้านทานเพื่อให้ได้อัตรากรองตามที่ต้องการ

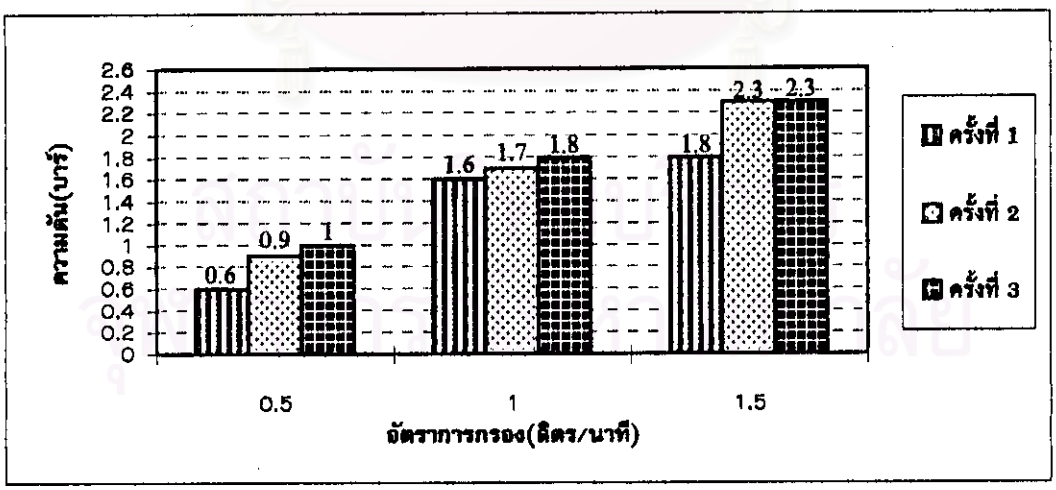
ตารางที่ 4.7 ตารางเปรียบเทียบค่า RI โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน และเมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน ที่อัตรากรองต่าง ๆ กัน

อัตรากรอง	เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน				เมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน			
(ลิตร/นาที)	R_1 (m^{-1})	R_m (m^{-1})	R_2 (m^{-1})	RI	R_1 (m^{-1})	R_m (m^{-1})	R_2 (m^{-1})	RI
0.5	3.6×10^{12}	1.3×10^{11}	2.2×10^{12}	0.60	4.3×10^{12}	3.4×10^{11}	3.2×10^{12}	0.72
			2.3×10^{12}	0.63			3.6×10^{12}	0.82
1.0	2.5×10^{12}	1.3×10^{11}	1.9×10^{12}	0.75	3.6×10^{12}	3.4×10^{11}	3.1×10^{12}	0.85
			2.3×10^{12}	0.92			3.2×10^{12}	0.88
1.5	2.4×10^{12}	1.3×10^{11}	1.7×10^{12}	0.69	3.0×10^{12}	3.4×10^{11}	2.8×10^{12}	0.92
			1.8×10^{12}	0.74			2.8×10^{12}	0.92
2.0	2.4×10^{12}	1.3×10^{11}	1.3×10^{12}	0.54	-	-	-	-
			1.4×10^{12}	0.58				

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.30 กราฟเปรียบเทียบความดันที่เพิ่มขึ้นหลังจากการล้างย้อนแต่ละครั้ง ที่อัตรากรองต่าง ๆกัน โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน ตัวอย่างน้ำ คือ น้ำประปาเติมอีโคไล และโคลิฟาจ



รูปที่ 4.31 กราฟเปรียบเทียบความดันที่เพิ่มขึ้นหลังจากการล้างย้อนแต่ละครั้ง ที่อัตรากรองต่าง ๆกัน โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน ตัวอย่างน้ำ คือ น้ำประปาเติมอีโคไล และโคลิฟาจ

ในแต่ละอัตรากรอง เมื่อทำการล้างย้อนครั้งต่อไป ค่า RI จะเพิ่มขึ้น แสดงว่า ประสิทธิภาพการล้างย้อนลดลง และที่อัตรากรองที่สูงขึ้น แนวโน้มของประสิทธิภาพการล้างย้อนจะลดลง เนื่องจากที่อัตรากรองที่สูงขึ้น จะเกิดการอัดตัวของอีโคไล และโคลิฟาจ บนผิวของเมมเบรนมากขึ้น

ตารางที่ 4.8 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดอีโคไล และโคลิฟาจเฉลี่ย ของเมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.03 ไมครอน ที่อัตรากรองต่าง ๆ จากตัวอย่างน้ำทั้งสามชนิด

อัตรากรอง (ลิตร/นาที)	เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน			เมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน		
	น้ำประปาเติมอีโคไล	น้ำประปาเติมโคลิฟาจ	น้ำประปาเติมโคลิฟาจและอีโคไล	น้ำประปาเติมเติมอีโคไล	น้ำประปาเติมโคลิฟาจ	น้ำประปาเติมโคลิฟาจและอีโคไล
0.5	≥ 8.0 (99.999999%)	4.8 (99.998%)	≥ 8.2 (99.9999993%)	≥ 7.7 (99.999998%)	≥ 7.2 (99.999993%)	≥ 8.2 (99.9999993%)
1.0	≥ 9.0 (99.9999999%)	5.2 (99.9993%)	≥ 7.9 (99.999999%)	≥ 8.0 (99.999999%)	≥ 7.0 (99.99999%)	≥ 7.9 (99.999999%)
1.5	≥ 8.0 (99.999999%)	4.9 (99.999%)	≥ 8.4 (99.9999996%)	≥ 7.7 (99.999998%)	≥ 7.0 (99.99999%)	≥ 8.1 (99.9999992%)
2.0	≥ 8.0 (99.999999%)	5.3 (99.9995%)	≥ 8.3 (99.9999995%)			

หมายเหตุ หน่วยเป็น ล็อก

ตารางที่ 4.9 ตารางเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการกรองเฉลี่ย ของเมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.03 ไมครอน ที่อัตรากรองต่าง ๆ จากตัวอย่างน้ำทั้งสามชนิด

อัตรากรอง (ลิตร/นาที)	เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน			เมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน		
	น้ำประปาเติมอีโคไล	น้ำประปาเติมโคลิฟาจ	น้ำประปาเติมโคลิฟาจและอีโคไล	น้ำประปาเติมเติมอีโคไล	น้ำประปาเติมโคลิฟาจ	น้ำประปาเติมโคลิฟาจและอีโคไล
0.5	1320	480	750	170	120	170
1.0	300	80	120	110	120	0
1.5	160	70	40	0	0	0
2.0	0	10	15			