

J(플럭스)/k(물질이동계수) 비를 이용한 멤브레인 공정 효율평가

박노연, 조재원
광주과학기술원 환경공학과

Can We Equally Evaluate the Membrane Performance with a J/K Ratio?

Noeon Park and Jaeweon Cho
Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)

1. 서론

정수처리, 물재이용 및 해수 담수화 사업 등 우리 주변 여러곳에서 멤브레인공정이 적용 및 응용되고 있다. 공학도로서 우리의 임무는 오염물질을 최대한 제거할 수 있는 적절한 멤브레인의 제시 및 적절한 공정 평가방법의 개발이다. 기존의 방법은 Constant pressure(동일압력), Constant flux(동일 유량) 및 recovery(회수율) 등을 이용하여 멤브레인 효율을 평가하여 왔다. 하지만 멤브레인 효율(제거율, 플럭스 감소)은 수리학적인 인자(평행유속, 압력, 및 회수율) 뿐만 아니라 멤브레인/용질 특성에 따라 다양한 이동현상을 나타낸다. 기존의 평가방법들을 보완하기 위해 이번연구에 사용된 J/k ratio는, 멤브레인으로 다가갈려는 힘(Convection)과 확산에 의해 멀어질려는 힘(Diffusion)의 비이다. 물질이동계수(k)는 일반적으로 Sherwood relationship (RO-Salt system)에 의해 산정이 된다. 하지만 자연유기물질(Natural organic matter) 및 semi-permeable membrane (UF/NF)의 경우 RO-salt system에서 구한 값과는 맞지 않기 때문에 물질이동계수의 실험적 산정이 필요하다. 따라서 이번 연구의 목적은 NOM-UF 시스템에 있어 물질이동계수의 실험적 산정 및 J/k 비를 이용하여 두개의 멤브레인 공정효율 평가이다.

2. 실험방법

이번 연구에서는 성질이 서로 다른 두가지 울트라 막과 자연유기물질(Suwanee River NOM과 동북호 원수)을 비교평가하였다. 표 1은 사용된 멤브레인의 특성분석 결과를 나타낸 것으로 PT 멤브레인이 상대적으로 소수성 및 투수율이 높게 나타났다. 반면, 제타전위의 경우, PL10K 멤브레인이 높게 나타났다. 거칠기의 경우는 두 멤브레인 모두 비슷한 값을 나타냈다. UF멤브레인에서 자연유기물질의 물질이동계수는 열역학적 모델(Spiegler-Kedem model)과 film model을 이용하여 평행유속을 변화시켜가면서 산정하였다. 이렇게 구해진 물질이동계수를 이용하여 NOM-UF 시스템을 위한 Sherwood relationship을 완성하였고, 멤브레인 효율 평가하는데 사용하였다.

표 1. 멤브레인 특성분석

Code	Material ¹	Roughness (nm)	Zeta potential (mV, at pH6)	Contact angle (°) ²	MWCO (Daltons) ³	Permeability (L/day-m ² -kPa) ⁴
PL10K (Millipore)	RC	1.6	-15.0	<10.0	10,000	8.6
PT (GE-Osmonics)	Polyether sulfone	1.6	-9.0	74.5	5,000	6.8

¹RC: regenerated cellulose membrane, PES: polyether sulfone

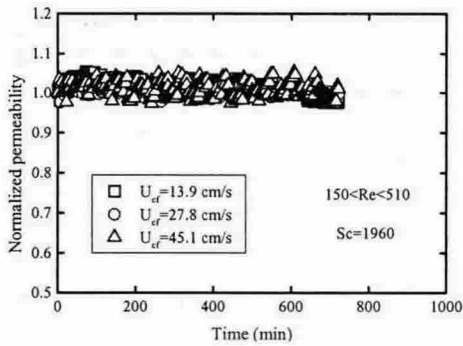
²Contact angle was measured by the sessile drop method with ultra pure water

³MWCO of tested membranes was provided by manufacturers

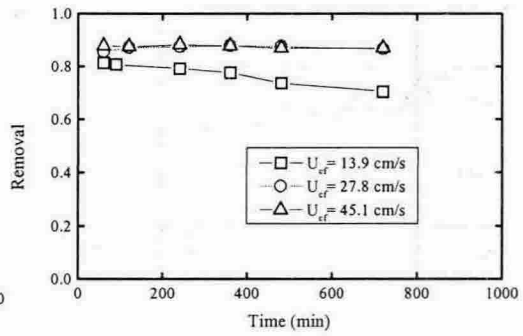
⁴Permeability of various membranes were measured at 25°C using ultrapure water

3. 결과 및 토론

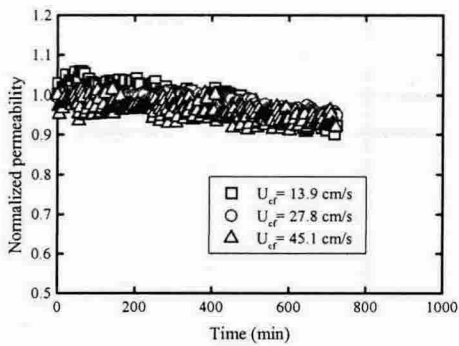
그림 1은 동일한 J/k 비(= 1.0)에서 Suwanee River NOM에 대한 두 멤브레인의 플럭스 감소 및 제거효율을 평행유속에 따라 평가한 것으로 플럭스의 경우 크게 영향을 받지 않았지만, NOM 제거율의 경우, 두 멤브레인 모두 평행유속이 클수록 제거율이 약간 증가하였다. 또한 PT 멤브레인의 제거율이 PL10K 멤브레인보다 약간 높았다. 이것은 PT멤브레인의 막공이 상대적으로 작고 소수성정도가 커기 때문에 제거율이 약간 더 높게 나타났다.



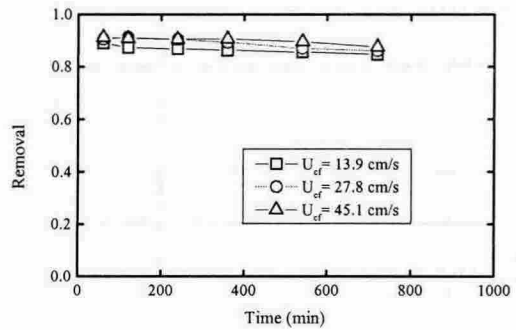
(a) Flux decline



(b) 제거율



(c) Flux decline



(d) 제거율

그림 1. 플럭스 및 제거율 경향 [(a-b): PL10K, (c-d): PT]

그림 2는 동일한 J/k 비에서 PT-동복호 원수에 대한 멤브레인 효율을 평가한 것으로 플럭스의 경우, 평행 유속에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다. 하지만, 제거율의 경우 Suwanee River NOM에 비해 상대적으로 낮은 제거율 값을 나타냈다. 좀 더 정확하게 J/k ratio에 따른 멤브레인 효율을 평가하기 위해, 실험적으로 물질이동계수를 산정하였다. 표 2에서 알 수 있듯이 RO-Salt의 실험조건에서 구한 물질이동계수와 UF-NOM의 조건에서 구한 물질이동계수에는 큰 차이가 남을 알 수 있다. UF-NOM에 의해 구한 값이 상대적으로 작게 나타남을 알 수 있다.

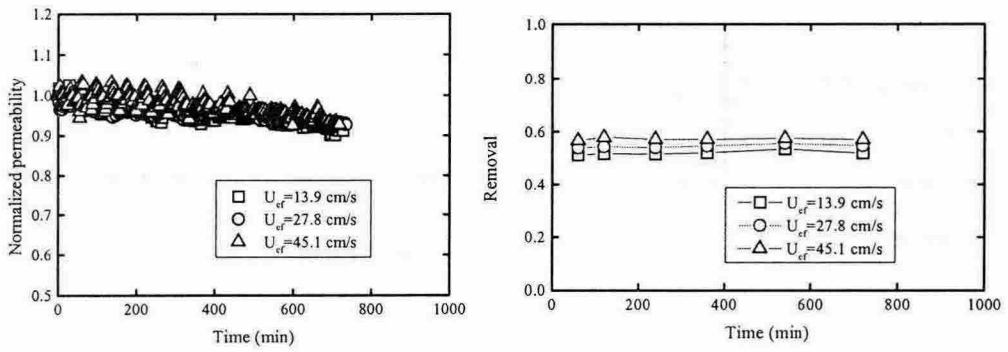


그림 2. 플럭스 및 제거율 경향 (PT-동복호 원수)

표 2. RO-Salt 및 UF-NOM system의 J/k 비 비교

U_{cf} (cm/s)	J_v (ml/min)	$J/k_{RO-Salt}^1$	J/k_{UF-NOM}^2	J/k_{diff}^3
13.9	1.71	0.33	0.12	63.6
27.8	2.15	0.33	0.13	60.6
45.1	2.53	0.33	0.14	57.6
13.9	2.57	0.50	0.18	64
27.8	3.23	0.50	0.20	60
45.1	3.8	0.50	0.20	60
13.9	3.42	0.66	0.25	62.1
27.8	4.31	0.66	0.26	60.6
45.1	5.07	0.66	0.27	59.1
13.9	4.3	0.83	0.31	62.7
27.8	5.4	0.83	0.33	60.2
45.1	6.33	0.83	0.34	59.0
13.9	8.56	1.65	0.62	62.4
27.8	10.82	1.65	0.65	60.6
45.1	12.67	1.65	0.68	58.8

1: $k_{RO-Salt} = 1.85(Re \times Sc)^{0.33}$

2: $k_{UF-NOM} = 0.91(Re \times Sc)^{0.25}$

3: $k_{diff} = \frac{(k_{theory} - k_{exp})}{k_{theory}} \times 100$

4. 결론

두 멤브레인의 공정효율을 평가하기 위해서 J/k 비를 변화시켜가면서 플럭스 감소율 및 제거율을 측정하였다. 동일한 J/k 비에서 두 멤브레인의 플럭스 감소 및 제거율이 평행유속에 크게 영향을 받지 않았다. 하지만 용질이 다를 경우 제거율에 큰 영향을 주었다. 그러한 이유는 비록 동일한 Sherwood relationship(i.e., RO-Salt system)으로 구한 J/k 비라도 용질이 다르면 물질이동계수(k)도 변하기 때문에 동일한 J/k 비가 아니다. 따라서 실험적으로 물질이동계수의 산정(UF-NOM)이 필요하다. 열역학적 모델과 Film model을 결합하여 실험적으로 물질이동계수를 산정한 결과 RO-salt system에서 구한 값과는 상당한 차이를 나타냈다.

5. 감사의 글

이번 연구는 한국과학재단의 환경 모니터링 신기술 연구센터(ADEMRC)의 지원 하에 이루어졌습니다.