

세라믹 한외여과막으로 제지폐수 처리시 물에 의한 역세척 시스템의 조업조건이 막오염에 미치는 영향

김미희 · 박진용
한림대학교 생명과학부

Effect of Operation Condition of Water-Backflushing system on Membrane Fouling in Paper Wastewater Treatment Using Ceramic Ultrafiltration

Mi Hee Kim · Jin Yong Park
Division of Life Science, Hallym University

1. 서론

최근 원수의 수질오염이 심해짐에 따라 안심하고 마실 수 있는 물을 얻고자 상수처리 방법에 대한 연구가 이루어지고 있다. 20세기 중엽에 이르러서 기능성 고분자등 기능성 재료의 개발, 에너지 파동으로 에너지 소모가 적은 분리 공정의 필요성, 인구 과밀로인 한 최소 용적을 공정의 필요성 등이 고조되어 막분리는 급성장하게 되었다.

분리막은 고분자 재료의 물질 선택투과성을 이용한 분리기술의 하나로 세계적으로 해수의 담수화, 폐수 재이용을 위한 고도 수처리 공법에 사용되고 있다. 분리막 이용기술은 기존의 정수처리 방법과 비교해서 여러 가지 장점을 가지고 있다. 분리막에 의한 정수처리공정의 경제성은 운전동력비 및 막의 투과 플럭스와 수명에 크게 좌우된다. 막의 수명은 운전할 때 발생하는 막오염과 가장 밀접한 관계를 갖는다[1]. 이러한 막오염의 해결을 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 그 중 A.G. Fane 등은 막오염 분석과 막오염을 일으킨 원인을 밝혀 막오염을 조절하는 방법에 대하여 연구하였다[2]. M. Heran 등은 부유물질을 함유한 폐수를 여과할 때 역세척을 해 줌으로써 높은 투과수를 얻을 수 있다고 하였고[3], P. Srijaroonrant등은 오일 에멀전을 여과할 때 역세척을 해 줌으로 막오염을 줄 일 수 있음을 밝혔고[4], S. Redkar등은 효모 부유물질 폐수를 정밀여과 모듈로 실험하였을 때 역세척을 자주 할수록 높은 투과 플럭스를 얻었다고 발표하였다[5].

본 연구에서는 알루미늄 세라믹막 1종류와 탄소 세라믹막 3종류를 사용하여 제지공장의 방류수를 재사용하기 위해 운전조건에 따른 막오염 진행을

살펴보고자 하였다. 이를 위해 역세척주기(BT/FT)와 막간압력차(TMP), 유입유량을 변화시켜 실험하였다. 그 결과로부터 막오염을 최소화할 수 있는 최적운전조건을 찾고자 하였다.

2. 세라믹 한외여과막의 특성 및 실험방법

본 실험에 사용한 세라믹 한외여과막은 Tech-Sep회사 제품으로 분획분자량(MWCO)이 150,000 daltons인 M8 탄소막과 분획분자량이 300,000 daltons인 M9와, Koch사의 0.1 μ m C010 탄소막, 동서산업(주)에서 생산한 기공 0.02 μ m인 알루미나 막을 사용하였다. 4종의 관형 세라믹막에 대한 특성을 Table 1에 제시하였다. 실험에 사용한 대상 시료는 B제지공장의 생물학적처리와 응집침전을 거친 방류수이다. 이를 4종의 세라믹 한외여과막을 사용하여 투과수로 역세척하면서 역세척 주기변화(0초, 15초, 30초, 60초), 막간압력차 변화(1.00, 1.55, 2.00, 2.50 kg/cm²), 유입유량 변화(0.25, 0.75, 1.25, 1.75 L/min)에 따른 막오염 진행과정과 투과선속 변화과정을 살펴보았다. 그리고 투과수와 원수의 수질은 총용존고형물(TDS) 및 탁도(Turbidity), COD_{Cr}을 측정하여 분석하였다.

Table 1. Specification of tubular ceramic membranes used in this study.

Material	Carbon (M8)	Carbon (M9)	Alumina	Carbon (C010)
MWCO (Daltons)	150,000	300,000	0.02 μ m	0.1 μ m
Outer diameter (mm)	10	10	11	8
Inner diameter (mm)	6	6	7	6
Length (mm)	250	250	250	250
Surfac area (cm ²)	47.1	47.1	55.0	47.1

3. 결과 및 고찰

역세척 주기 및 막간압력차, 유량 변화에 따라 최적 운전 조건을 초기 투과선속으로 무차원화한 최종투과선속(J_{180}/J_0)과 막오염에 의한 최종저항($R_{f,180}$), 경계층에 의한 저항(R_b), 총여과부피(V_T) 측면에서 살펴보았다. 연구결과에 따른 최적 운전조건은 Table 3에 제시하였다.

3-1. 역세척 주기 변화

역세척 주기 변화에서는 알루미늄 및 탄소 M8 세라믹 분리막의 경우 J_{180}/J_0 와 $R_{f,180}$ 측면에서 볼 때 최적 역세척주기는 0.10이었고, V_T 측면에서는 0.20이었다. M9의 경우는 최적 역세척주기는 V_T 와 $R_{f,180}$ 측면에서 볼 때 역세척을 가장 빈번히 하여 준 0.20이었으나, J_{180}/J_0 측면에서는 0.05이었다. 마지막으로 실험에 사용한 막 중 분획분자량이 가장 큰 C010의 경우는 모두 역세척을 가장 자주 한 0.20이었다. Fig.1에서는 각각의 분리막 특성에 따른 J_{180}/J_0 값을 나타내었다.

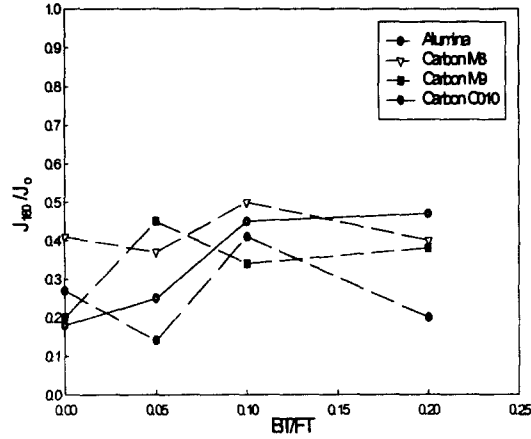


Fig. 1. Effect of the backflushing period on the dimensionless permeate flux after 180 min.

분획분자량이 큰 막일수록 역세척의 효과가 잘 나타나어지는 것으로 실험에서 보여졌다. 4종류의 분리막 모두 R_b 는 역세척을 가장 자주 하여 준 0.20이었다. 역세척 주기를 자주하여 주면 막표면에 오염물질이 쌓일 수 있는 기회를 감소시켜 Fig. 2에서와 같이 높은 총여과부피를 얻었고, 경계층의 저항을 줄인 것으로 보여진다.

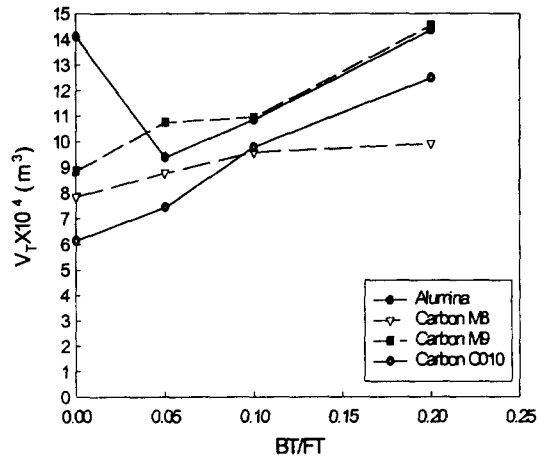


Fig. 2. Effect of the backflushing period on the total filtration volume.

3-2. 막간압력차의 변화

최적의 막간압력차(TMP)는 우선 3종의 세라믹 분리막을 살펴보았다. 3종의 막이 모두 J_{180}/J_0 및 $R_{f,180}$, R_b 측면에서 가장 낮은 TMP인 1.00

kg/cm²이었다. V_T 측면에서는 알루미나와 M9의 경우 TMP=1.55 kg/cm²였고, M8은 TMP=1.00 kg/cm²이었다. 이와 같은 결과는 압력이 높을수록 농도분극 현상이 심화됨에 따라 막오염도 급격히 발생하기 때문인 것으로 볼 수 있다. 따라서, 낮은 압력에서 운전하면 막오염이 덜 발생함을 알 수 있었다.

3-3. 유입유량의 변화

최적유량 조건은, 알루미나 분리막의 경우 J₁₈₀/J₀와 R_{f,180} 측면에서 높은 유량인 1.75 L/min이었으나, 탄소 M8 분리막의 경우는 다소 낮은 1.25 L/min이었고, M9의 경우는 알루미나 분리막과 마찬가지로 높은 유량인 1.75 L/min이었다. 이와 같은 결과는 높은 유량인 경우 막표면에 강한 난류가 발생하여 막오염을 억제하는 것을 볼 수 있다. R_b 측면에서는 3종류의 막이 모두 다른 경향을 보여 주어 유량 변화에 따른 영향을 찾기 어려웠다.

Table 3. Optimal filtration conditions for the various tubular ceramic membranes.

Membrane	M8	M9	Alu- mina	C010	M8	M9	Alu- mina	C010	M8	M9	Alu- mina	C010
operation condition view points	Backflushing period (BT/FT:0.00~0.20)				TMP (kg/cm ²): 1.00~2.50				Flow rate (L/min): 0.25~1.75 (Re= 490~3590)			
J ₁₈₀ /J ₀	0.10	0.05	0.10	0.20	2.50	1.00	1.00	-	1.25	1.75	1.75	-
R _{f,180}	0.10	0.20	0.10	0.20	1.00	1.00	1.00	-	1.25	1.75	1.75	-
R _b	0.20	0.20	0.20	0.20	1.00	1.00	1.00	-	1.75	0.25	1.00	-
V _T	0.20	0.20	0.20	0.20	1.00	1.55	1.55	-	0.25	1.75	0.50	-

4. 참고문헌

- 1) 권은미, 유영진, 대한환경공학회지, Vol.22 No.7, pp.1183~1191 (2000).
- 2) A.G. Fane, P. Beatson and H. Li, Water Sci. and Technology, Vol. 41.No. 10-11, pp.303~308 (2000).
- 3) M. Heran and S. Elmaleh, Water Sci. and Technology, Vol. 41.No. 10-11, pp.337~343 (2000).
- 4) P. Srijaroonrat, E. Julien, Y. Aurelle, J. Membrane Sci., Vol.159, 11~20 (1999).
- 5) S. Redkar, V. Kuberkar and R. H. Davis, J. Membrane Sci. Vol.121, 229~242 (1996).