

다채널 세라믹 정밀여과막으로 제지폐수 처리시 질소 역세척 시간 및 막간 압력차의 영향

박보름, 박진용
한림대학교 환경생명공학과

Effect of N₂-back-flushing Time and TMP in Paper Wastewater Treatment Using a Multichannel Ceramic Microfiltration Membrane

Bo Reum Park and Jin Yong Park
Dept. of Environmental Sciences & Biotechnology, Hallym University

1. 서론

폐수처리용으로 널리 사용되기 시작하는 분리막이 해결해야 할 과제는 막오염에 의한 처리 효율의 급격한 감소이다. 따라서 이러한 막오염 제어 기술에 대한 연구가 세계적으로 다양하게 이루어져 왔다[1,2]. 또한, 본 연구실에서는 관형 탄소 및 알루미늄 세라믹 여과막으로 제지폐수 처리시 질소 및 물 역세척의 최적 조건에 대한 연구를 꾸준히 진행하여 왔다[3,4].

본 연구에서는 관형보다 월등히 단위면적당 투과량이 많은 다채널 알루미늄 세라믹 정밀여과막으로 제지폐수를 처리할 경우, 분리막 표면에서 발생하는 막오염 현상을 최소화하기 위하여 질소 기체로 주기적 역세척을 수행하였다. 역세척 주기 및 막간압력차(TMP)를 변화시켜 얻은 실험결과를 직렬여과저항식을 사용하여 분석하였으며, 무차원 투과유속 및 막오염 저항, 총여과부피 측면에서 최적 운전조건을 조사하였다. 또한 원수 및 처리수의 수질을 평가하기 위하여 총용존고형물(TDS)과 화학적 산소요구(COD_{cr}), 탁도(Turbidity)를 측정하였다.

2. 이론

막분리 현상을 해석하는데 널리 사용되고 있는 직렬 여과저항 모델(Resistance-in-series model)[5]으로 실험 결과를 해석하였다.

$$J = \frac{\Delta P}{R_m + R_b + R_f} \quad (1)$$

여기서, ΔP 는 막간압력차(TMP), R_m 은 막 자체의 고유저항, R_b 는 경계층에 의한 저항, R_f 는 오염에 의한 저항이다.

3. 실험

본 연구에서는 종이팩 용기를 재생하여 화장지를 생산하는 제지공장의 2차 처리 방류수를 대상으로 다채널 정밀여과막으로 처리시 발생하는 막오염을 억제하기 위하여 Fig. 1에서 보는 바와 같이 질소 가스로 주기적인 역세척을 수행하였다. 공급탱크에 5 L의 원수를 채우고 역세척 주기의 영향을 살펴보기 위하여 각각 정상 운전시간(FT)을 8분 또는 16분으로 일정하게 설정하고, 막간압력차 TMP는 $2.0 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ 로, 역세척시 질소의 압력은 $5.0 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ 로 유량은 $2 \text{ L}/\text{min}$ 으로 일정하게 유지시켰다. 이들 각각의 경우에 대해서 역세척 시간(BT)을 역세척없을때, 10초, 20초, 40초, 50초로 변화시키면서 전체 운전시간에 따른 막오염에 대한 저항(R_f)과 투과유속(J/J_0) 및 총 여과부피(m^3)의 변화 거동을 관찰하였다. 또한 최적의 압력 조건을 찾기 위해 TMP를 0.5, 0.8, 1.0, 1.5, $2.0 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ 로 각각 변화시켰고, 역세척 시간은 40초, 정상운전시간은 16분, 유량은 $2.0 \text{ L}/\text{min}$ 으로 일정하게 유지하였다.

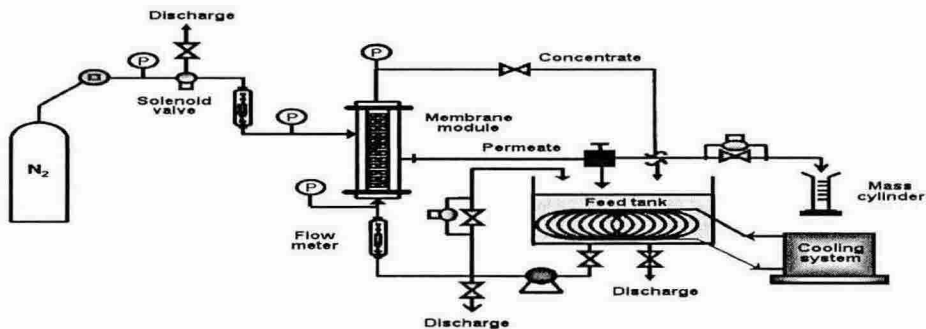


Fig. 1. Microfiltration with periodic N_2 -backflushing system.

본 연구에서 사용한 7개의 채널을 갖고 있는 다채널 알루미나 분리막의 재원은 Table 1과 같으며, 처리 대상으로 한 제지공장 방류수의 수질은 Table 2에 정리하였다.

Table 1. Specification of ceramic membrane used in this study.

Material	Alumina
Pore size (μm)	0.4
No. of channel	7
Outer diameter (mm)	20
Inner diameter (mm)	4
Length (mm)	245
Surface area (cm^2)	216

Table 2. Quality of source wastewater used in this study.

		Range	Average
FT=8min	TDS ($\text{m}\ell/\text{L}$)	563~722	623.0
	Turbidity (NTU)	8.56~19.20	12.3
	COD (mg/L)	78~1785	131.3
FT=16min	TDS ($\text{m}\ell/\text{L}$)	638~738	679.3
	Turbidity (NTU)	9.26~13.30	11.4
	COD (mg/L)	90~165	115.6
TMP	TDS ($\text{m}\ell/\text{L}$)	156~172	164.6
	Turbidity (NTU)	7.94~9.62	8.78
	COD (mg/L)	296.8~491.8	361.3

4. 결과 및 고찰

다채널 세라믹 정밀 여과막으로 제지폐수를 처리할 경우 막오염의 문제를 해결하기 위해 여과시간(FT)을 일정하게 설정하고 질소 역세척시간(BT) 및 TMP의 영향을 알아보았다. 그 결과 Fig. 2에서 보는 바와 같이 여과시간(FT)을 8분으로 고정하고 질소 역세척 시간(BT)을 변화하였을 경우 BT=50초일 때 가장 높은 초기투과선속(J_0)에 대한 현재투과선속(J)인 J/J_0 값을 보였다. 또한, Table 3에서 알수 있듯이 BT=50초일 때 막오염에 대한 저항(R_f)이 효과적으로 억제되어 가장 많은 총여과부피(V_T) 55.92 m^3 를 얻을 수 있었다.

Fig. 3은 여과시간(FT)을 16분으로 고정하고 역세척 시간(BT)의 영향을 알아본 결과이다. FT=16분 역시 BT=50초일때 가장 높은 J/J_0 값을 보였고, Table 3에서 보는 바와 같이 R_f 가 FT=8분 보다 낮아 더 많은 총여과부피(V_T) 96.34 m^3 를 얻을 수 있었다. 따라서 제지폐수처리에서는 막교환 없이 최대 처리수를 얻는 것이 이상적이므로, 본 실험 범위에서 최적 역세척 조건은 FT=16분, BT=50초임을 알 수 있었다. 그 원인은 역세척을 자주 해주는 것보다 16분 간격으로 가장 길게 50초 정도 질소 역세척하여 주는 것이 막오염 제어에 유리하기 때문인 것으로 생각된다.

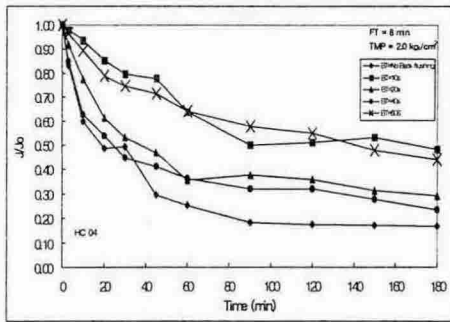


Fig. 2. Effect of Back-flushing time on J/J_0 at constant TMP.

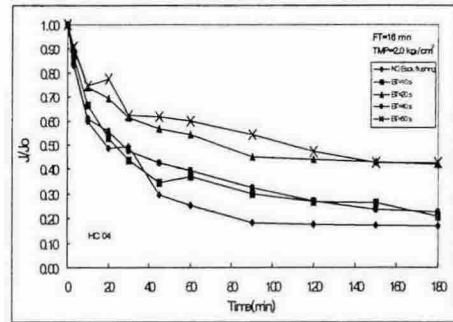


Fig. 3. Effect of Back-flushing time on J/J_0 at constant TMP.

Table 3. Filtration factors in the experiments for effect of BT.

		No back-flushing	BT=10s	BT=20s	BT=40s	BT=50s
$V_T(m^3)$	FT=8 min	23.61	55.87	39.28	53.31	55.92
	FT=16min		51.15	79.28	64.59	96.34
$R_{f,180} \cdot 10^{-9}$ ($kg/m^2 \cdot s$)	FT=8 min	26.33	5.36	11.41	9.62	5.98
	FT=16min		12.00	4.03	8.50	3.39
$J_0 \cdot 10^5$ (m/s)	FT=8 min	3.62	3.92	4.15	6.63	4.31
	FT=16min		6.26	6.69	7.91	7.83
$J_{180} \cdot 10^5$ (m/s)	FT=8 min	0.62	1.89	1.21	1.56	1.90
	FT=16min		1.30	2.81	1.78	3.33

한편, 최적 여과시간인 FT=16분에서 역세척 시간 BT=40초로 고정하고, 막간압력 차 TMP를 변화하면서 실험한 결과, 가장 낮은 TMP 조건인 0.5 kg/cm^2 에서 막오염이 서서히 진행되어 가장 완만한 투과선속의 변화를 보였고, 가장 높은 TMP 조건인 2.0 kg/cm^2 에서 급격한 투과선속의 변화를 나타내고 있다.

이것은 가장 높은 TMP= 2.0 kg/cm^2 조건에서는 신속하게 R_f 가 증가하지만 식(1)를 보면 J값 역시 증가하는 것을 알 수 있다. 결국, TMP= 2.0 kg/cm^2 일때 구동력이 높은 TMP로 인해 3시간 동안 본 실험조건 중에서 가장 많은 $V_T=45.16 \text{ m}^3$ 를 얻을 수 있다. 또한, 처리수의 수질을 분석한 결과 부유물질을 나타내는 탁도는 90% 이상 제거가 가능하였으나 COD 제거율은 10~25%이고, 총용존고형물(TDS)의 제거율은 1~2%였다.

5. 결론

막분리 공정의 경제성을 결정하는 막오염 문제를 해결하기 위해, 효과적으로 질소 역세척을 수행하면서 다채널 세라믹 정밀여과막으로 제지폐수를 처리하였다. 그 결과, 총여과부피(V_T)로 볼 때 최적 질소 역세척 주기는 $BT=50$ 초일 때 $FT=16$ 분이고, 최적 TMP 조건은 2.0 kg/cm^2 인 것을 알 수 있었다.

6. 참고문헌

1. J.Y. Park, C.K. Choi and J.J. Kim, *J. Membrane Sci.*, **97**, 263 (1994).
2. M. Heran and S. Elmaleh, *J. Membrane Sci.*, **188**, 181 (2001).
3. H.J. Hwang and J.Y. Park, *Membrane J.*, **12**(1), 8 (2002).
4. M.H. Kim and J.Y. Park, *Membrane J.*, **11**(4), 190 (2001).
5. M. Cheryan, "Ultrafiltration Handbook", Technomic Pub. Co., Pennsylvania (1984).