

다채널 세라믹 정밀여과막으로 제지폐수 처리시 질소 역세척의 막오염 제어 효과

최성진, 박진용
한림대학교 환경시스템공학과

Effect of N₂-back-flushing on membrane fouling in paper wastewater treatment using a multichannel ceramic microfiltration membrane

Sung Jin Choi and Jin Yong Park
Dept. of Environmental System Engineering, Hallym University

1. 서론

세라믹 분리막을 포함한 대부분의 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, 주기적 질소 역세척이 막오염에 미치는 영향을 살펴 봄으로써 최적 질소 역세척 주기를 규명하고자 하였다. 또한, 최적 질소 역세척 주기 조건에서 막간압력차(TMP)가 막오염에 작용하는 영향도 알아보았다.

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 역세척 시간 (BT)을 40초로 일정하게 설정하고, 막간압력차 TMP는 1.0 kg/cm²로, 역세척시 질소의 압력과 유량은 2.0 kg/cm², 2 L/min으로 모든 조건에서 일정하게 유지시켰다. 이들 각각의 경우에 대해서 정상 운전시간 (FT)을 4분, 8분, 16분, 32분으로 변화시키면서 전체 운전시간에 따른 투과유속의 변화 거동을 관찰하였다. 최적의 압력 조건을 찾기 위해 TMP를 0.5, 0.8, 1.0, 1.2 kg/cm²로 각각 변화시켰고, 역세척 시간은 40초, 정상운전시간은 16분, 유량은 2.0 L/min으로 일정하게 유지하였다.

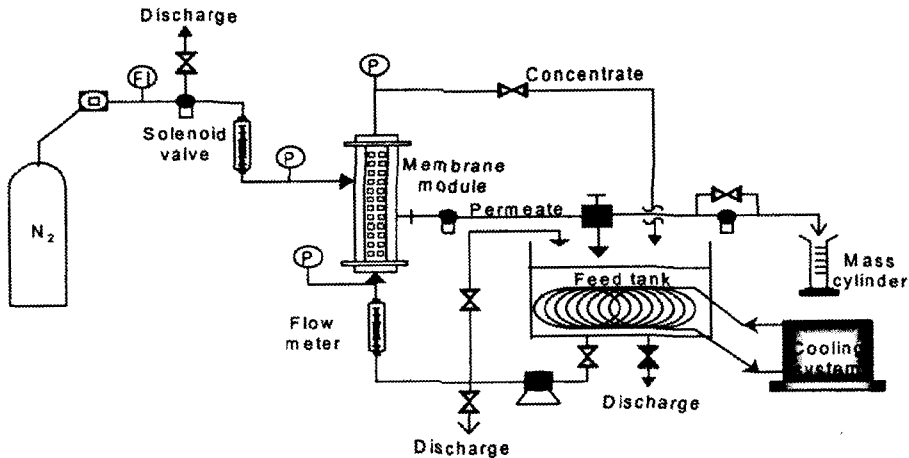


Fig. 1. Microfiltration with periodic N₂-backflushing system.

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)	1.0
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	TDS ($\text{m}\ell/\text{L}$)	115~120	117.0
	Turbidity (NTU)	18.1~31.5	26.7
	COD (mg/L)	293.3~489.5	405.3
TMP	TDS ($\text{m}\ell/\text{L}$)	108~117	113.3
	Turbidity (NTU)	25.4~35.9	29.4
	COD (mg/L)	208.3~489.5	329.9

4. 결과 및 고찰

다채널 세라믹 정밀 여과막으로 제지폐수를 처리할 경우 막오염의 문제를 해결하기 위해 질소 역세척을 주기적으로 하면서 여과시간(FT) 및 TMP의 영향을 알아보았다. 그 결과, Fig. 2에서 보는 바와 같이 역세척 시간(BT)을 40초로 고정하고 FT를 변화하였을 경우 FT=8 min일 때 막오염이 효과적으로 억제되어 가장 높은 초기투과선속(J_0)에 대한 현재투과선속(J)인 J/J_0 값을 보였다. 하지만, FT=16 min일 때 가장 많은 총여과부피(V_T)를 얻을 수 있었다. 따라서 제지폐수처리에서는 막교환 없이 최대 처리수를 얻는 것이 이상적이므로, 최적 질소 역세척 주기가 BT=40 s일 때 FT=16 min임을 알 수 있었다.

한편, 최적 질소 역세척 주기인 BT=40 s에서 FT=16 min로 고정하고, 막간압력차 TMP를 변화하면서 실험한 결과를 Fig. 3에 제시하였다. 그 결과, 가장 낮은 압력 조건인 $0.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 에서 막오염이 서서히 진행되어 가장 완만한 투과선속의 변화를 보였고, 가장 높은 압력 조건이 $1.2 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 에서 급격한 투과선속의 변화를 나타내고 있다. 하지만 최적의 TMP 조건은 3시간 운전한 후 최대 총여과부피 2.53 L를 얻은 $1.0 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 인 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 높은 TMP 조건에서 막오염이 신속하게 이루어지며 질소 역세척으로 다채널 분리막의 막오염을 효과적으로 억제하기가 곤란하다는 것을 의미한다.

또한, 처리수의 수질을 분석한 결과 부유물질을 나타내는 탁도는 90% 이상 제거가 가능하였으나 COD 제거율은 20~30%이고, 총용존고형물(TDS)의 제거율은 1% 미만이었다. 이러한 결과는 본 연구에서 사용한 분리막이 평균공극의 크기가 $1.0 \mu\text{m}$ 인 정밀여과막이기 때문이다.

5. 결론

막분리 공정의 경제성을 결정하는 막오염 문제를 해결하기 위해, 주기적 질소 역세척을 수행하면서 다채널 세라믹 정밀여과막으로 제지폐수를 처리하였다. 그 결과, 최적 질소 역세척 주기는 $BT=40$ s일 때 $FT=16$ min이고, 최적 TMP 조건은 1.0 kg/cm^2 인 것을 알 수 있었다.

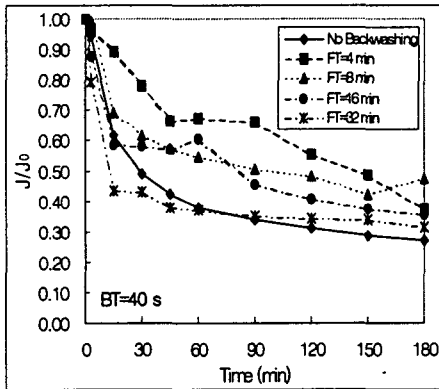


Fig. 2. Effect of filtration time on J/J_0 at constant TMP.

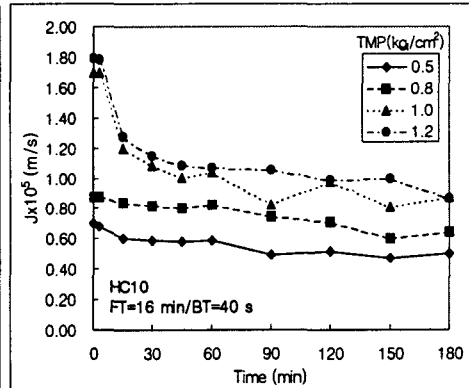


Fig. 3. Effect of TMP on J at constant FT and BT.

6. 참고문헌

1. J.Y. Park, C.K. Choi and J.J. Kim, "A study on dynamic separation of silica slurry using a rotating membrane filter: 1. experiments and filtrate fluxes", *J. Membrane Sci.*, **97**, 263 (1994).
2. M. Heran and S. Elmaleh, "Microfiltration through an inorganic tubular membrane with high frequency retrofiltration", *J. Membrane Sci.*, **188**, 181 (2001).
3. H.J. Hwang and J.Y. Park, "Effect of periodic N_2 -back-flushing in paper wastewater treatment using carbon ceramic ultrafiltration and microfiltration membranes", *Membrane J.*, **12**(1), 8 (2002).
4. M.H. Kim and J.Y. Park, "Membrane fouling control effect of periodic water-back-flushing in the tubular carbon ceramic ultrafiltration system for recycling paper wastewater", *Membrane J.*, **11**(4), 190 (2001).
5. M. Cheryan, "Ultrafiltration Handbook", Technomic Pub. Co., Pennsylvania (1984).