

## 공기로 주기적 역세척을 하는 탄소 세라믹 한외여과장치에 의한 제지폐수 처리

황현정 · 박진용

한림대학교 생명과학부

### Paper Wastewater Treatment Using Carbon Ceramic Ultrafiltration System with Periodic Air-Backflushing

Hyun Jeong Hwang · Jin Yong Park

Division of Life Science, Hallym University

#### 1. 서론

최근 분리막 공정을 이용하여 공장 폐수 및 하수에 대한 처리 및 재활용을 하여 경제적, 환경적 측면에 대한 여러 장점을 이용하는 추세로 발전하고 있다. 폐수처리 분야에 대한 분리막 기술의 적용은 단순히 폐수를 처리한다는 개념이 아니라 폐수중에 함유된 유효물질을 회수하여 재활용한다는 점과 폐수중의 물을 높은 수율로 회수하여 재이용하여 폐수 오염의 부하를 크게 줄여 준다는 측면에서 많은 잇점을 가지고 있다.

반면에 분리막공정에서 큰 문제중에 하나는 투과율의 감소로 원인은 크게 두가지로 나타낼 수 있다. 첫째는 막의 오염으로 인한 투과율의 감소 및 막의 특성변화로 분리기능이 저해되는 경우이며 다른 하나는 농도분극현상으로 용액이 막을 통과시 막표면에서의 용질의 농도 증가로 인한 유효압력의 감소 때문에 나타나는 투과율의 감소 현상이다[1].

분리막 공정시 막오염으로 인한 투과유속의 감소를 줄이기 위해 역세척 방법이 수행되고 있으며, 이러한 방법은 많은 학자들에 의해 연구 보고되고 있다. P. Srijaroonrat 등은 한외여과막을 이용하여 oil/water emulsion을 처리하는 동안 역세척에 의한 막오염을 감소시켰고[2], Vinod T. Kuberkar는 BAS용액을 가지고 여과하는 동안 막 내부에 오염된 물질을 제거하기 위하여 역세척을 수행하였다[3].

본 연구에서는 제지폐수에서의 점도와 부유물질로 인하여 농도분극과 막오염으로 인한 투과플럭스 감소를 억제하기 위하여 질소기체로 역세척을 수행하였다.

## 2. 실험

### (1) 막의 특성

본 실험에 사용한 탄소막은 Rhone-Poulenc계열사인 Tech-Sep회사 제품으로 분획분자량(MWCO)이 300,000 Daltons인 관형 분리막이며, 막의 재원을 Table 1에 제시하였다.

Table 1. Specification of carbon tubular membrane ( $M_9$ ) used in this study.

Material	MWCO (Daltons)	Outer diameter (mm)	Inner diameter (mm)	Length (mm)	Surface area (cm <sup>2</sup> )
Carbon	300,000	10	6	250	47.1

### (2) 실험방법

본 실험에서는 우유팩을 재생하여 화장지를 생산하는 B제지공장의 방류수를 사용하였으며, 공급탱크에 5 l의 원수를 채우고 유량은 2 L/min, 정상운전 시간은 4분, 역세척 시간은 40초로 설정하고, 최적의 압력 조건을 찾기 위해 TMP를 1.01, 1.59, 2.02, 3.02로 각각 변화시켜 실험한 후 최적 막간 압력차의 조건 아래 역세척 주기의 영향을 알아보았다. 역세척 주기의 영향을 살펴보기 위하여 각각 역세척 시간(BT, Backflushing)을 40초로 일정하게 설정하고, 이들 각각의 경우에 대해서 정상 운전시간(FT, Filtration)을 0에서 4분, 8분, 16분, 32분으로 변화시키면서 전체 운전시간에 따른 투과선속의 변화 거동을 관찰하였다. 이 경우 B제지회사의 방류수 농도는 거의 일정하고 최적 막투과 압력인 TMP는 1.59 kg/cm<sup>2</sup>로, 역세척시 공기의 압력과 유량은 2 kg/cm<sup>2</sup>, 2 L/min으로 모든 조건에서 일정하게 유지시켰다. 최적 TMP조건과 최적 역세척 주기 조건을 찾은 후, 유량 변화에 따른 투과선속을 알아보기 위해 유량을 1.5 L/min, 2.0 L/min, 2.5 L/min, 3.0 L/min로 변화시켜가면서 실험하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### (1) 오염물질의 제거율

B제지회사의 방류수를 대상으로 탄소 한외여과막을 사용하여 처리하면서 공기로 주기적 역세척을 실시하였을 때, TMP 및 역세척 주기, 유량 변화에 따른 오염물질의 제거율을 Table 1에 정리하였다. 탁도의 경우 TMP, 역세척 주기, 유량 변화 모두 97% 이상의 평균 제거율을 보였고, COD는 TMP=1.01 kg/cm<sup>2</sup>일 때 가장 높은 제거율을 보였다. 역세척 주기 변화시 COD 제거율은 BT/FT=0.021일 때 가장 높은 값을 보였고, 유량은 1.5 L/min일 때 COD 제거율이 가장 높았다. TDS의 제거율은 대체적으로 5.4%이하의 낮은 값을 보이고 있다.

Table 1. Rejection rate of the carbon membrane in the air-backflushing system.

Items		Turbidity (%)	COD (%)	TDS (%)
BT/FT	0.000	96.92	45.85	3.03
	0.167	98.86	40.59	1.69
	0.083	96.15	41.08	2.69
	0.042	98.42	43.49	2.42
	0.021	96.92	47.62	3.03
TMP (kg/cm <sup>2</sup> )	1.01	99.78	57.14	1.28
	1.59	99.41	45.66	3.17
	2.02	99.87	53.17	3.01
	3.03	99.52	57.11	4.76
Flow rate (L/min)	1.5	98.44	46.18	1.01
	2.0	97.50	44.39	1.03
	2.5	98.42	41.49	1.47
	3.0	98.32	36.28	0.51

(2) 역세척 주기의 영향

Fig. 1은 역세척을 하지 않을 때와 역세척 주기를 변화시켜가며 실험한 결과이다. 초기에는 투과선속이 급격히 감소하다가 30분 이후에는 완만해지고 역세척 주기가 가장 짧은 4분 (BT/FT=0.167)일 때  $J/J_0$  값은 높게 유지되었다. 총여과부피 ( $V_T$ ) 또한 역세척 주기가 짧아질수록 높은 값을 유지하였으며 이러한 결과의 원인은 투과선속이 시간이 경과함에 따라 감소하는 것으로 잘 알려진 바와 같이 막오염이 진행됨에 기인한 것으로 볼 수 있고, 역세척을 자주해 주면 역세척 효과로 막오염 속도가 둔화되어 투과선속이 상대적으로 덜 감소한 것으로 판단된다. 따라서 본 실험에서 최적 역세척 주기 조건은 4분 (BT/FT=0.167)임을 알 수 있었다.

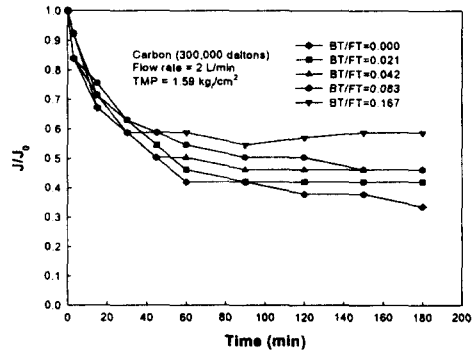


Fig. 1. Change of dimensionless permeate flux according to air-backflushing period.

(3) 막간압력차의 영향

주기적으로 공기를 역세척시 TMP 변화에 따라  $J/J_0$  값의 변화를 여과시간에 대하여 도시한 것이 Fig. 2이다. 그 결과 TMP가 1.59 kg/cm<sup>2</sup>일 때  $J/J_0$  값이 가장 높게 유지되었고, TMP가 3.02 kg/cm<sup>2</sup>일 때 가장 낮은 값을 유지하였다. 이러한 결과의 원인은 TMP가 1.59, 1.01 kg/cm<sup>2</sup>일 때 역세척 압력 2.00 kg/cm<sup>2</sup>이 TMP보다 더 크기 때문에, 막세공에 붙은 오염물질이

쉽게 제거되기 때문인 것으로 보인다. 총여과부피는 TMP가 증가할수록 증가하였으며 TMP=3.02 kg/cm<sup>2</sup>일 때 가장 높은 값이 유지되었다.

#### (4) 유량의 영향

공기 역세척시 유량 변화값을 Reynolds수로 환산하여 J/J<sub>0</sub>의 변화값을 Fig. 3에 제시하였다. 유량 변화시 시간에 따라 모든 J/J<sub>0</sub>가 서서히 감소하였으며, 3시간 여과 실험 후 최종 J/J<sub>0</sub>값은 유량이 2.0 L/min (Re=4.0×10<sup>3</sup>)일 때 가장 낮은 값을 보였고, 3.0 L/min (Re=6.0×10<sup>3</sup>)일 때 가장 높게 유지되었다. 총여과부피 또한 유량이 증가할수록 증가하였고 2.5 L/min (Re=5.0×10<sup>3</sup>)일 때 가장 높은 값을 유지하였다. 이러한 원인은 유량이 많을 때 강한 난류가 형성되어 막표면의 오염물질을 탈착 시키는 현상이 발생하기 때문인 것으로 보인다.

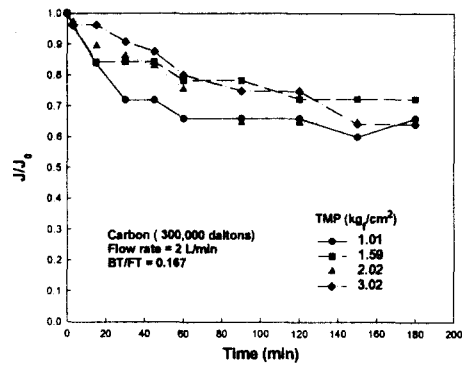


Fig. 2. Change of dimensionless permeate flux according to TMP.

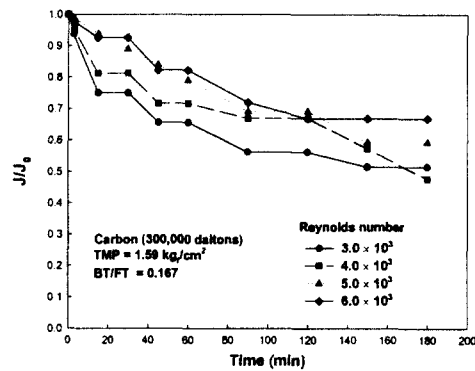


Fig. 3. Change of dimensionless permeate flux according to flow rate.

#### 4. 참고문헌

- 1) R. Sondhi, Y.S. Lin, F. Alvarez, "Crossflow filtration of chromium hydroxide suspension by ceramic membrane: fouling and minimization by backpulsing", J. Membrane Sci., Vol.174, pp.111~122 (2000).
- 2) P. Srijaroonrat, E. Julien, Y. Aurelle, "Unstable secondary oil/water emulsion treatment using ultrafiltration", J. Membrane Sci., Vol.159, pp.11~20 (1999).
- 3) Vinod T. Kuberkar, Robert H. Davis, "Microfiltration of protein-cell mixtures with crossflushing or backflushing", J. Membrane Sci., Vol.183, pp.1~14 (2001).