

세라믹 한외여과막으로 제지폐수 처리시 막오염 문제의 해결전략: 1. 탄소 분리막 사용시 주기적 역세척 및 막간압력차의 영향

황현정, 김나리, 박진용
한림대학교 생명과학부

Strategy to Solve the Fouling Problem in Paper Wastewater Treatment Using Ceramic Ultrafiltration Membrane: 1. Effect of Periodic Backflushing and Transmembrane Pressure for a Carbon Membrane

Hyun Jeong Hwang, Na Ri Kim, and Jin Yong Park
Division of Life Science, Hallym University

1. 서론

최근 각종 유기 및 무기오염물질, 탁도 및 병원성 미생물에 의한 상수원수의 오염이 심화되면서 이를 효율적으로 제거하기 위해 고액분리 기술로서 막분리 기술이 주목받고 실용화되고 있다. 수처리 분야에서 분리막 공정을 적용할 경우에는 그 설비가 간소하여 설치 면적에 대한 장애가 적고 물리적인 처리 방법이므로 폐수의 성질 상태의 변동 등에 따라서 처리수질이 크게 좌우되지 않고 비교적 안정적이며 양호하다[1].

탄소 분리막을 포함한 대부분의 분리막에 의한 폐수처리에서 해결해야 할 과제가 막오염에 의한 처리 효율의 감소이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 기술이 연구되고 있으며 발전되어지고 있다[2, 3, 4]. 분리막의 분리 특성은 그 재질에 따라서 폐수처리에도 한계가 있고 분리막의 선정에도 중요한 변수가 된다. 그러나 분리막 공정은 그 단점보다도 우수한 효율과 기능으로 인해서 그 사용 범위가 점차 확대되어 보급되고 있다[5].

본 연구에서는 분리막을 폐수처리에 적용하기 위한 기초적인 운전 인자의 파악과 이를 통해 폐수의 재이용 가능성을 확인하기 위해서 수행되었다. 이를 위해 관형 형태의 탄소 한외여과막을 사용하여 제지공장의 폐수처리 배출수로부터 총용존고형물(TDS), 탁도(Turbidity), 유기물질을 제거

하고 COD_{cr}법으로 분석하였다. 이러한 제지폐수를 한외여과 처리할 때 막 표면의 농도분극을 억제하기 위하여 세척수로 주기적 역세척 (Backflushing)을 수행하고 막간압력차(TMP)에 의한 영향을 분석하였다.

2. 한외여과 실험

2.1 막의 특성

본 실험에 사용한 탄소막은 Rhone-Poulenc 계열사인 Tech-Sep 회사 제품으로 분획분자량(MWCO)이 150,000 Daltons인 관형 분리막이며, 막의 재원을 Table 1에 제시하였다.

Table 1. Specification of carbon tubular membrane used in this study.

Material	Carbon
MWCO (Daltons)	150,000
Outer diameter (mm)	10
Inner diameter (mm)	6
Length (mm)	250
Surface area (cm ²)	47.1

2.2 제지폐수의 특징

제지폐수는 여러 종류의 식물성 원료를 기계적, 화학적으로 처리하여 섬유질을 분해할 때 생기는 폐수로서 본 연구에 사용한 B제지사의 경우 폐수유액을 사용하여 폐수의 상태가 팍에 남아있는 우유찌꺼기, 글씨의 색소 등으로 인해 매우 혼탁하였으며 냄새도 좋지 않았다. 본 연구에서 사용한 폐수에 대한 수질을 조사하여 Table 2에 제시하였다.

Table 2. Water quality of source used in this study.

Item	Exp. of Backflushing time		Exp. of TMP	
	Range	Average	Range	Average
Turbidity (NTU)	8.00~8.60	8.32	8.64~8.88	8.74
COD (mg/l)	4.9~8.6	7.3	4.1~6.6	5.4
TDS (mℓ/l)	213~224	219	344~355	348

2.3 실험방법

공급탱크에 5ℓ의 원수를 채우고 역세척 주기의 변화를 각각 역세척 시간을 3초로 일정하게 설정하고 이들 각각의 경우에 대해서 정상 운전 시간을 0에서 15초, 30초, 60초로 변화시키면서 전체 운전 시간에 따른 투과선속의 변화 거동을 관찰하였다. 이 경우 제지폐수의 농도는 거의 일정하고 막투과 압력은 1.5 kg/cm²로, 역세척시 세척수의 압력은 1 kg/cm²로 일정하게 유지하였다. 또, 세척수의 사용시 처음에는 1차 증류수를 사용하였고,

후에는 투과수를 세척수로 사용하였다. 최적의 압력의 조건을 찾기 위해 TMP를 1.0, 1.55, 2.0, 2.5로 각각 변화시켜 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 제지 폐수에 대한 탄소막의 여과 특성

우유팩을 재생하여 화장지를 생산하는 제지회사의 응집 침전수를 대상으로 역세척과 TMP에 의한 수질 검사 결과를 Table 3에 제시하였다. 여기서, BT는 역세척 시간(Backflushing time)이고, FT는 정상운정시간(Filtration time)을 의미한다. 역세척 주기가 15초로 가장 짧은 경우(BT/FT=0.2) TDS와 COD의 제거율이 가장 우수하다. 그러나 탁도는 역세척을 하지 않은 정상운전할 경우(BT/FT=0) 제거율이 가장 높았다. 또한 TMP에 따른 실험 결과 TDS과 COD, 탁도, 모두 제거율이 TMP가 1.0일 때 가장 우수하였다.

Table 3. Water quality and removal efficiency by the carbon membrane.

Item	BT/FT				TMP (kg/cm ²)			
	0	0.05	0.1	0.2	1.0	1.55	2.0	2.5
Turbidity (%)	93.8	93.4	92.8	91.0	92.8	92.0	91.6	92.2
COD (%)	58.2	58.7	58.9	61.0	73.3	69.3	66.8	61.7
TDS (%)	68.7	75.0	79.1	81.3	71.8	68.4	67.3	66.6

3.2 제지 폐수에 대한 탄소막의 여과 저항

분획 분자량이 150,000인 탄소 분리막을 사용하여 얻은 투과량의 변화값을 직렬 여과저항식 ($J = \Delta P / (R_m + R_b + R_f)$)으로 계산한 초기투과 선속(J_0)과 막 자체에 의한 저항(R_m), 경계층에 의한 저항(R_b)을 Table 4에 정리하였다. 실험전 충분히 세척하여, 막상태를 보여주는 R_m 을 모든 조건에서 일정하게 유지시켰다. 역세척시 R_b 는 역세척을 하지 않은 정상운전일 때 가장 높게 나왔으며, 역세척 주기가 가장 긴 60초(BT/FT=0.05)일 때 R_b 이 가장 적었다. TMP에 따른 R_b 는 TMP가 증가할수록 높은 저항값을 나타내었다.

Table 4. Initial Permeate flux and filtration resistance.

Item	BT/FT				TMP (kg/cm ²)			
	0	0.05	0.1	0.2	1.0	1.55	2.0	2.5
R_b ($\times 10^3$ kg/m ² · sec)	2.63	1.28	1.88	2.18	0.16	1.85	3.79	6.0
R_m ($\times 10^3$ kg/m ² · sec)	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
J_0 ($\times 10^{-3}$ m/sec)	0.26	0.33	0.29	0.28	2.8	2.9	2.8	2.6

3.3 투과선속에 대한 역세척 주기의 영향

조업 시간에 따른 투과선속(J)을 구한 다음 J_0 로 무차원하여 각각 역세척

주기의 영향을 살펴 본 것이 Fig. 1이다. 초기에는 J/J_0 값이 급격히 감소하다가, 60분까지는 FT가 15초(BT/FT=0.2)일 때 J/J_0 값이 높은 값을 나타내었다. 그러나, 90분부터는 FT가 30초(BT/FT=0.1)일 때 J/J_0 값이 가장 높게 나타났다. 확인 실험결과 30초일 때 J/J_0 값이 가장 높은 값을 나타내었다. 따라서 B제지회사에 대한 한외여과 실험시 최적 주기 조건이 BT/FT=0.1임을 알 수 있었다.

3.4 투과선속에 대한 TMP의 영향

운전 시간에 따른 J/J_0 값의 변화를 조사하여 TMP에 따른 막오염의 진행에 미치는 영향을 살펴본 것이 Fig. 2이다. 그 결과 TMP가 2.5 kgf/cm²일 때 J/J_0 값 가장 높게 유지되었다. 여과초기에는 TMP=1.0 kgf/cm²으로 적게 유지하였을 때 J/J_0 가 서서히 감소하였으나, 120분 이후 TMP=2.5 kgf/cm²일 때 J/J_0 값이 더 높게 유지되었다. 따라서 본 실험에서 최적 TMP조건은 2.5 kgf/cm²인 것으로 판단된다.

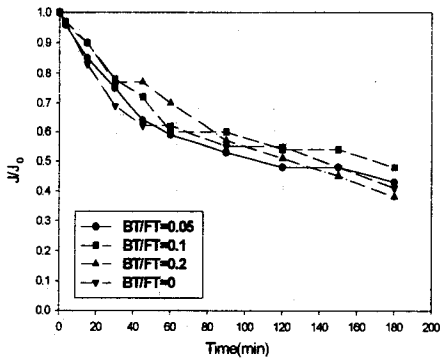


Fig. 1. Change of dimensionless permeate flux according to backflushing period during operation for paper wastewater.

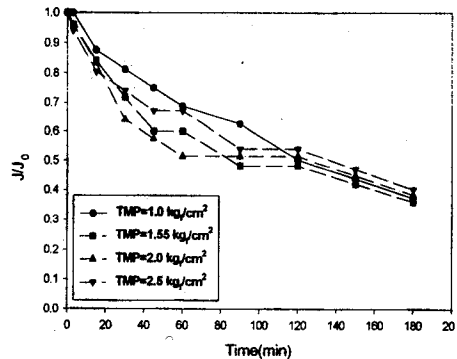


Fig. 2. Change of dimensionless permeate flux according to TMP during operation for paper wastewater.

4. 참고문헌

- 1) 안규홍, 권지향, *화학공업기술*. 11권 6호, 32~37 (1993).
- 2) J.Y. Park, C.K. Choi and J.J. Kim, *J. Membrane Sci.*, Vol.97, 263~273 (1994).
- 3) C.K. Choi, J.Y. Park, W.C. Park, J.J. Kim, *J. Membrane Sci.*, Vol.157, 177~187 (1999).
- 4) 장진호, 김용석, 노수홍, *대한환경공학회지*, 20권 1호, 107~118 (1998).
- 5) W.S. Winston and K.K. Sirkar, "Membrane Handbook", Van Nostrand Reinhold, New York (1992).