

세라믹 정밀여과 및 활성탄 흡착 혼성공정에 의한 고탁도 원수의 고도정수처리: 1. 유·무기물질의 영향

이혁찬, 박진용*
한림대학교 환경생명공학과

Advanced water treatment of high turbidity source by hybrid process of ceramic microfiltration and activated carbon adsorption: 1. Effect of organic/inorganic materials

Hyuk Chan Lee, Jin Yong Park*
Dept. of Environmental Sciences & Biotechnology, Hallym University

1. 서론

최근에 정수처리 공정에서 소독제와 반응하여 THMs (Trihalomethanes)와 같은 소독부산물 (DBPs, disinfection by-products)을 생성하는 전구물질로 알려져 있는 자연산유기물 (NOM, natural organic matters)을 효과적으로 제거하는 것이 정수처리의 주요한 현안으로 대두되고 있다[1]. 또한, 자연산유기물은 고도정수처리공정으로 새로이 부각되고 있는 막분리 공정에서 막오염을 유발하는 주요 원인이며, 이러한 자연산유기물 중 용존성 유기물은 정밀여과만으로는 제거하기 힘든 것으로 알려져 있다[2]. 따라서 정밀여과 방식의 막여과를 이용하여 고도정수처리를 구현하기 위해서는 기존 활성탄 처리, 오존 처리, 생물학적 처리 등의 고도정수처리 공정과 조합한 공정구성이 필요하다.

본 연구에서는 정수처리에서 탁질 제거를 위한 세라믹 정밀여과와 용존성 유기물 제거를 위한 입상활성탄 (GAC, granular activated carbon) 흡착공정을 하나의 막모듈 형태로 구성 하였다. 이러한 혼성공정에서 무기 및 유기물질이 막오염에 끼치는 영향을 살펴보았으며, GAC에 의한 용존 유기물의 처리 효율을 알아보았다.

2. 재료 및 방법

2.1 세라믹 분리막 및 GAC

본 연구에서 사용한 관형 세라믹 분리막 (NCMT-7231)은 α -alumina 지지층에 α -alumina로 코팅 한 것으로 나노기공소재(㈜)에서 구입하였으며, 유효막면적은 47.5 cm^2 , 평균기공크기는 $0.1 \mu\text{m}$, 외경은 8 mm, 내경은 6 mm, 길이는 252 mm 이다. GAC는 수처리용 야자계 활성탄 (8×30 mesh)을 구입하여 사용하였으며, 실험 전에 구입한 GAC를 9 mesh (2 mm) 와 16

mesh (1 mm) 크기의 체로 체분리하여 일정한 1~2 mm 사이의 입도로 선별하고, 증류수로 3~4 번 행군 다음 105 °C에서 건조시켜 사용하였다.

2.2 모사용액 제조

실험에 사용한 모사용액은 탁도를 유발하는 점토성 무기물과 같은 미세 무기 입자와 정수처리의 대상이 되는 자연산유기물 중 상당 부분을 차지하는 휴믹물질을 모사하기 위하여, kaolin 과 humic acid 일정량을 증류수에 녹여 모사용액으로 사용하였다.

2.3 실험방법

Fig. 1에 본 실험에 사용한 십자흐름(cross-flow) 여과방식의 처리수로 역세척이 가능한 정밀여과 장치를 나타내었으며, 탁질 및 용존 유기물 제거를 위하여 세라믹 분리막과 모듈(Module) 사이를 일정한 입자크기로 준비한 GAC로 채워 하나의 막모듈 형태로 구성 하였다. 또한 분리막과 GAC를 통과한 처리수를 GAC의 입자보다 훨씬 작은 공경을 갖는 100 mesh 크기의 망을 통과하여 처리수 관로로 이동되도록 하여, 막모듈 안의 GAC가 처리수의 관로로 유실되는 것을 방지 하였다.

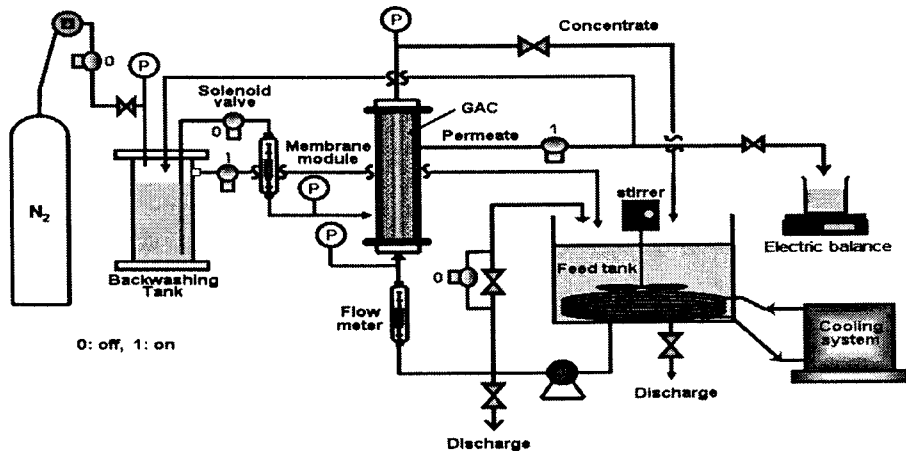


Fig. 1. Apparatus of microfiltration system with water-backflushing.

막모듈에 60 g의 GAC를 채워 실험 장치에 설치한 다음, 공급탱크에 준비된 모사용액 10 L를 채우고, 무기물질에 따른 영향을 살펴보기 위해 일정한 10 mg/L의 humic acid 농도에서 kaolin의 농도를 10~50 mg/L로 변화 시켰다. 또한, 유기물질의 영향 실험에서는 kaolin 농도를 30 mg/L로 일정하게 하고 humic acid의 농도를 2~10 mg/L로 변화시켰으며, 각 조건에서 180분 여과하는 동안 막오염에 대한 저항(R_f) 및 투과 플럭스(J), 무

차원적인 투과선속(J/J_0), 총여과부피(V_T)의 변화를 관찰하였다. 한편, GAC의 주입량에 따른 처리효율의 변화를 알아보려고 GAC의 양을 30, 40, 50, 60, 64 g으로 변화시켰으며, 이때 모사용액은 kaolin의 농도를 30 mg/L로, humic acid의 농도는 6 mg/L로 하였다. 그리고 모든 조건에서 막간압력차는 1.77 bar, 역세척 압력 2.50 bar, 유입유량 1.0 L/min, 공급액의 온도는 20 ± 0.5 °C로 일정하게 유지 하였으며, 10분 여과마다 10초 동안 처리수로 역세척 하였다. 그리고 탁질 및 용존 유기물의 제거율을 알아보기 위해 탁도(Turbidity)와 UV absorbance (UV_{254})를 측정하였다.

3. 결과 및 토론

3.1 유·무기물질의 농도에 따른 영향

모사용액의 humic acid의 농도를 10 mg/L로 일정하게 하고 kaolin의 농도를 10~50 mg/L로 변화시킨 결과, Table 1에서 알 수 있듯이 180분 운전 후 R_f 의 값은 $4.89 \times 10^{-9} \sim 5.15 \times 10^{-9}$ kg/m²·s의 범위로 큰 차이가 나지 않음을 알 수 있었다. 따라서 Fig. 2에 나타내었듯이 투과 플럭스는 비교적 비슷하게 나타났으며, 막오염은 운전초기 30분 이내에 급격하게 발생하여 투과 플럭스가 급격히 감소하는 것을 알 수 있었다.

반면, kaolin을 30 mg/L로 일정하게 유지하고 humic acid의 농도를 변화시킨 결과, Table 1에 나타낸 것과 같이 $R_{f,180}$ 의 값이 $1.65 \times 10^{-9} \sim 4.96 \times 10^{-9}$ kg/m²·s의 범위로 큰 변화를 나타내었다. 또한 Fig. 3에서 알 수 있듯이 humic acid의 농도가 낮을수록 투과 플럭스가 향상되어, humic acid 10 mg/L의 보다 2 mg/L에서 180분 운전 후 플럭스는 약 2.5배 높았다. 이러한 결과로 볼 때, humic acid와 같은 자연산 유기물이 미세 무기 입자에 비해 세라믹 분리막을 이용한 정수처리시 막오염을 일으키는 더 큰 요인이라는 것을 입증하는 것이다.

한편, 본 실험범위에서 처리효율은 탁도의 경우 97.4 % 이상, 유기물을 나타내는 UV_{254} 의 경우 92.0 % 이상으로 높게 나타났다.

3.2 GAC 주입량에 따른 제거율 변화

모사용액의 kaolin 농도를 30 mg/L로, humic acid의 농도는 6 mg/L로 일정한 조건에서 GAC의 주입량을 변화시켜 180분 동안 운전하면서 유입수 및 처리수의 UV_{254} 를 측정 하였다. 그 결과, 유입수의 평균 UV_{254} 는 0.142~0.147 cm⁻¹ 범위로 거의 일정하였으며, GAC를 64, 60, 50, 40, 30 g 으로 주입했을 때 처리수의 평균 UV_{254} 는 각각 0.001, 0.004, 0.008, 0.040, 0.014로 측정 되었다. 막모듈을 활성탄으로 가득 채운 64 g의 GAC 주입량에서는 99.4 %의 높은 제거율을 나타내었으며, GAC 주입량을 감소시킬수록 처리수의 UV_{254} 값이 조금씩 높아져 처리효율은 감소하였다.

Table 1. Filtration factors in the experiments for effect of kaolin and humic acid concentration.

Experimental Conditions		$R_{f,180}$ ($\text{kg/m}^2\text{s}) \cdot 10^{-9}$	J_{180} ($\text{m/s}) \cdot 10^5$	J_{180}/J_0	V_T (L)
kaolin conc. (mg/L)	humic acid conc. (mg/L)				
10	10	4.89	3.26	0.098	2.545
20		5.02	3.19	0.092	2.331
30		4.96	3.22	0.093	2.379
40		5.02	3.19	0.092	2.353
50		5.15	3.11	0.093	2.302
30	2	1.65	8.17	0.238	5.608
	4	3.16	4.82	0.135	3.694
	6	4.44	3.55	0.106	2.791
	8	4.69	3.40	0.097	2.478
	10	4.96	3.22	0.093	2.379

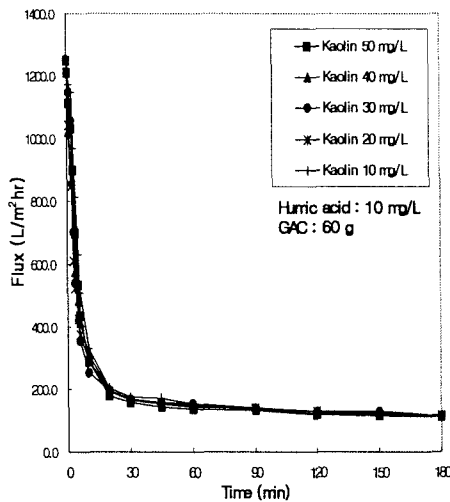


Fig. 2. Effect of kaolin concentration variation on permeate flux.

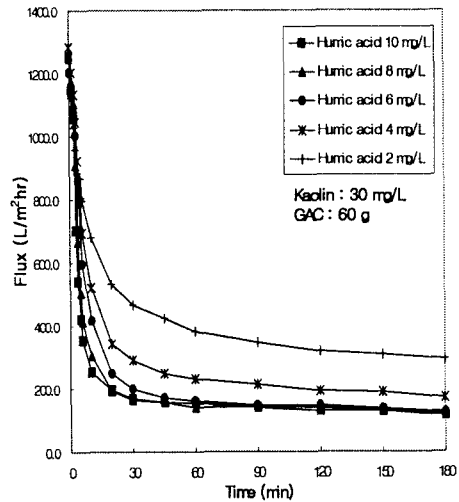


Fig. 3. Effect of humic acid concentration variation on permeate flux.

감사

이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2007-511-D00137)

5. 참고문헌

1. 박지혜, 이상윤, 박홍석, “개질 Clay를 첨가한 응집공정에서의 자연유기물 제거”, *상하수도학회지*, 21(1), 37 (2007).
2. M. H. Cho, C. H. Lee and S. H. Lee, “Effect of flocculation conditions on membrane permeability incoagulation-microfiltration”, *Desalination*, 191, 386-396 (2006).