

흡착/한외여과 정수처리 공정에서 흡착제와 자연산유기물 및 분리막 간의 상호작용

강석기, 추광호

대구대학교 건설환경공학부

Interaction between Adsorbents, Natural Organic Matter and Membrane in Adsorption/Ultrafiltration Systems for Drinking Water Treatment

Suck-Ki Kang, Kwang-Ho Choo

Department of Architectural, Civil and Environmental Engineering,
Daegu University

1. 서론

최근 수자원 오염의 심각성이 알려지면서 먹는 물에 대한 불신이 심화되고 있으며 음용수의 안전성에 대한 논란도 끊이지 않고 제기되고 있다. 양질의 음용수를 생산하기 위해서는 입자성 물질, 콜로이드, 용존성 오염물질 등에 대한 효과적인 제거가 요구되는데 기존의 표준처리법으로는 오염물질을 완벽히 제어하는 데는 한계가 있다. 따라서 기존 정수처리공정의 한계점을 극복하고 병원균 및 미세콜로이드 등 미세한 오염물질들을 효과적으로 제거할 수 있는 막분리 기술에 대한 관심이 증가하고 있다[1]. 그러나 용존성 오염물질 제거의 한계점과 소독부산물 생성 및 막오염 현상 등은 여전히 막분리 공정의 장해요인으로 작용하고 있다.

이와 같은 문제점을 해결하고 음용수의 수질을 향상시키기 위해 흡착과 한외여과를 결합한 혼성공정이 적절한 대안으로 대두되고 있다. 흡착제의 사용은 소독부산물의 전구체가 되는 자연산유기물의 제거율을 향상시키고 막오염을 최소화함으로써 양질의 수질 확보와 막오염 제어 측면에서 상승효과를 가져올 수 있기 때문이다[2,3]. 그러나 최근 몇몇 연구보고에 의하면 분말활성탄을 한외여과에 투입하였을 경우 유기물의 제거율은 향상되었지만 오히려 막오염이 심화되는 현상이 보고되었다[4,5]. 그리고 산화철과 같은 무기 산화물 흡착제가 기존의 활성탄 흡착제에 비해 자연산 유기물 제거에 보다 효과적이며 막오염도 크게 감소시키는 것으로 보고되고 있다

[6,7]. 그러나 왜 활성탄이 유기물의 제거율은 상승시키지만 막오염을 제어하지 못하는지, 반면 산화철과 같은 무기물 흡착제는 막오염도를 감소시키는지에 대한 원인규명은 전혀 이루어지지 않은 상태이다.

따라서 본 연구에서는 고도정수처리를 위한 흡착/한외여과를 조합한 하이브리드 공정 적용에서 흡착제 종류에 따른 막오염 현상을 규명하고자 한다. 특히, 본 시스템의 주요 세 요소인 흡착제, 자연산유기물, 분리막 간의 상호작용을 비교분석 함으로써 흡착제의 역할, 흡착성 물질과 비흡착성 물질의 분포, 막오염의 원인규명 및 제어방법 등을 심도 있게 고찰하고자 한다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 막여과장치

본 연구에 사용된 실험장치는 교반셀(Amicon 8200)을 이용하였고 회분식으로 운전하였다(Fig. 1). 운전부피는 180 mL이고 압력조절은 질소 실린더에 연결된 압력조절기를 이용하여 운전압력을 0.5-3.0 bar로 유지하였으며 교반은 자석 교반기를 이용하여 150 rpm으로 유지하였다. 막투과도(flux)의 측정은 투과수(permeate)의 질량을 저울을 이용하여 측정하고 직렬 인터페이스(RS232)를 통해 컴퓨터로 데이터를 전송하여 계산함으로써 이루어졌다.

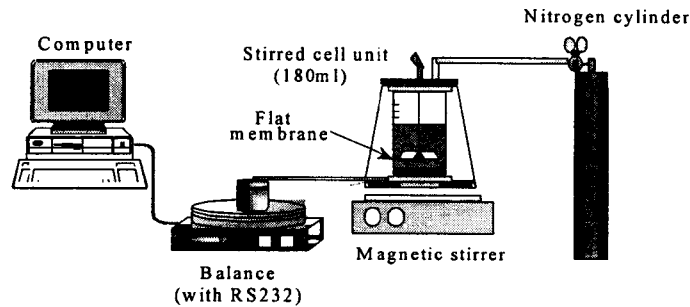


Fig. 1. Schematic of a stirred cell filtration device.

2.2. 분리막

본 실험에 사용되어진 막은 교반셀 장치에 사용할 수 있도록 63.5 mm의 평판형 막이고 교반셀(stirred cell)안에서의 유효막면적은 28.7 cm²이다. 막의 재질은 재생 셀룰로오즈(regenerated cellulose)이고 분획분자량(molecular weight cut-off, MWCO)은 1,000-100,000의 범위를 가지는 한외분리막을 선정하여 여과실험을 수행하였다.

2.3. 흡착제 및 흡착능 실험

사용된 산화철(iron oxide particles, IOP)은 ferrihydrite인데, ferric chloride hexahydrate($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)를 5 N의 NaOH로 중화하여 제조하였다. 사용된 분말활성탄(powdered activated carbon, PAC)은 NORIT DARCO KBB였다. 분말활성탄과 산화철의 자연산 유기물에 대한 흡착능력을 알아보기 위해 각각의 주입량을 0~500 mg/L로 변화시키며 실험을 하였으며, 흡착시간은 30분으로 하였다. 그리고 흡착 후 0.45 μm 여과지로 입자를 제거하였다.

2.4. 원수 및 분석

실험에 사용된 원수는 학교 인근의 호소수를 0.45 μm 여과지(Millipore, mixed cellulose esters MF filter)로 입자를 제거한 후 사용하였다. 원수와 투과수의 DOC는 총유기탄소분석기(SIEVERS 820, USA)를 이용해 분석하였고, UV 흡광도는 분광광도계(HACH DR/4000U, USA)를 사용해 254 nm에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 흡착성능 평가

동일한 DOC 농도에서 산화철과 분말활성탄을 비교해 볼 때 흡착제의 단위무게 당 흡착된 유기물의 양이 거의 유사한 것으로 나타났다(Fig. 2). 따라서 IOP와 PAC가 주어진 조건에서 자연산 유기물에 대해 거의 유사한 흡착능을 가지는 것으로 판단되었다.

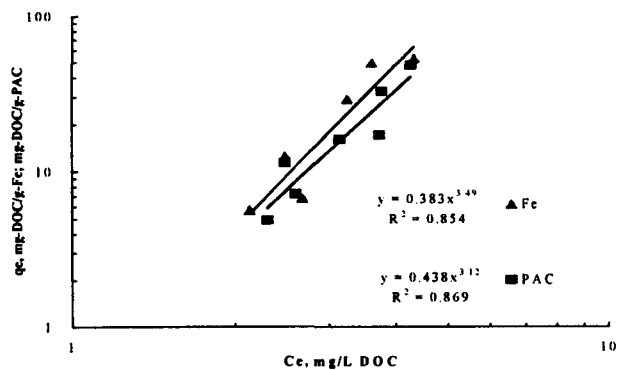


Fig. 2. Equilibrium adsorption isotherms of IOP and PAC: C_e , equilibrium concentration; q_e , the amount of organic matter adsorbed per unit mass of adsorbent

3.2. 흡착/한외여과 공정에서의 막투과 특성평가

흡착/한외여과 공정에서의 막투과 특성은 분말활성탄이나 산화철 입자 자체에 의한 막투과도의 감소보다는 분말활성탄 및 산화철에 흡착되는 용존성 유기물질이 막투과도 감소에 더 많은 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 그리고 막투과도에 영향을 끼치는 요인에 대해 알아보기 위해 흡착제 입자를 제거한 후 막투과도 변화를 관찰하였는데 분말활성탄이나 산화철 주입량의 증가에 따라 막오염이 감소되는 현상이 관찰되었으며 산화철인 경우에 그 현상이 더욱 두드러지게 나타났다. 특히, 분말활성탄 흡착제의 경우는 분말활성탄을 이용해 50%의 총유기탄소 제거에도 불구하고 막오염이 여전히 심하게 일어났으나 산화철 흡착제는 산화철을 이용해 25% 정도의 탄소제거에도 막오염이 크게 감소하는 상반된 현상을 보였다. 이것은 각 흡착제가 동일한 탄소제거율을 나타내지만 실제 제거된 유기물의 성상이 다르기 때문으로 파악되었다. 결국, 흡착/한외여과 공정에서 흡착제의 종류가 막투과도 변화에 상이한 영향을 미침을 확인할 수 있었다.

4. 참고문헌

- [1] S.S. Adham, J.G. Jacangelo, J-M. Laine, Coagulation and costs of MF and UF plants, *J. AWWA*, **88**(5), 22-31, (1994).
- [2] S.S. Adham, V.L. Snoeyink, M.M. Clark, and J-L. Bersillon, Predicting and verifying organics removal by PAC in an ultrafiltration system, *J. AWWA*, **83**(12), 81-91, (1991).
- [3] K. Konieczny and G. Klomfas, Using activated carbon to improve natural water treatment by porous membrane, *Desalination*, **147**, 109-116, (2002).
- [4] C. Lin, T. Lin, and O. J. Hao, Effects of humic substance characteristics on UF performance, *Wat. Res.*, **34**(4), 1097-1106, (2000).
- [5] S.J. Lee, K.H. Choo, and C.H. Lee, Conjunctive use of ultrafiltration with powdered activated carbon adsorption for removal of synthetic and natural organic matter, *J. Ind. Eng. Che.*, **6**(6), 357-364, (2000).
- [6] B. Gu, J. Schmitt, Z.Chen, L. Liang, and J. K. MCarthy, Adsorption and desorption of NOM on Iron Oxide: Mechanisms and models, *J. ES&T*, **28**(1), 38-46, (1994).
- [7] Y-J. Chang, K-H. Choo, M.M. Mark, and S. Reiber, Combined adsorption-UF process increases TOC removal, *J. AWWA*, **90**(5), 90-102, (1998).