

오존 전처리 공정이 생물활성탄 공정의 효율에 미치는 영향

이상훈, 문순식, 신종철, 최광근, 박대원*, 심상준*, 이진원

광운대학교 화학공학과, 한국과학기술연구원*

전화 (02) 940-5172, FAX (02) 909-0701

Abstract

BAC (biological activated carbon) process is a combination of biodegradation and active carbon adsorption. Pre-ozonation of raw water increased in biodegradable organic fraction. This study is to investigate the enhancement of dissolved organic matter removals by pre-ozonation process combined with BAC process at a semi-pilot scale. By biodegradation improvement in pre-ozonation process, the charge of adsorption was reduced and the life of biological activated carbon is extended. And, 48 % of total DOC was removed in the upper compartment of BAC column. The removal of the nitrogen-ammonia shows a considerably high removal ratio with 75.9 %.

서론

고도정수처리(Advanced Water Purification)란 상수원이 심각하게 오염되어 기존 정수처리로는 제거되지 않거나 제거효율이 낮을 경우 고도정수처리 통하여 용존 유기물질 등을 제거하여 음용수의 수질을 향상시키는 기술이다. 본 연구에서 사용한 생물활성탄이란 활성탄 처리 공정의 전단에 ozone 처리 등의 산화처리를 하여, 유기물의 생분해성을 증대시킴으로써 생물작용이 부가됨에 따라 효과적인 처리가 기대할 수 있는 경우를 말한다. 오존처리와 결합된 생물활성탄 공정의 최대 장점은 유기물질의 제거를 흡착에만 의존하는 입상활성탄 공정에 비하여 흡착과 생물분해라는 두 가지 제거방식이 있다는 점이다. 또한, 난분해성 물질에 대한 생물활성탄 흡착능은 입상 활성탄과 거의 동일하지만 생물학적으로 분해가 가능한 물질은 분해하여 제거되므로 생물활성탄의 모든 흡착 능력을 난분해성 물질의 흡착에만 할애할 수 있으므로 재생 cycle을 연장시킬 수 있는 장점이 있다. 활성탄 재생주기가 길어진다는 것은 여과 경비의 직접적인 절감을 가져오게 된다. 비용절감 외에 또 하나의 생물활성탄 공정의 장점은 오존주입과 생물활성탄을 거친 처리수는 염소 요구량이 적고, 안정되어 있어, 정수처리 후반부에서 소량의 염소 또는 이산화염소의 주입으로 충분한 잔류소독 효과를 거둘 수 있다는 것이다. 생물활성탄 유출수 중에는 미생물이 분해할 수 있는 유기물질은 거의 다 분해되어 제거되었으므로 배수관망 내의 미생물이 활용할 수 있는 유기물질이 없어 결과적으로 배수관망 내 미생물의 번식을 억제하는 효과도 기대할 수 있다¹⁾. 따라서 본 연구에서는 최근 고도처리 기법으로 도입되고 있는 오존 전처리와 생물활성탄을 연계시킨 공정을 통하여 효과적인 용존 유기물질 제거를 위한 조건을 조사하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구는 실제 원수를 사용하여 연속식으로 약 9개월간 실험을 진행하였으며, 경기도 하

남시에 위치한 광암 정수장에서 수행하였다. 활성탄 처리방식은 입상 활성탄의 흡착 기능만을 이용하거나 생물활성탄 처리를 이용하는 방식으로 크게 나뉘는데, 본 연구에서는 생물활성탄 처리 방식과 통수방식에 따라 하향류 고정층식 반응기를 제작하여 실험을 진행하였다. 각 column에 한강원수를 미생물의 식종없이 직접 통수시켜 약 6주간 순용 시켰다. 생물이 발생하기 쉽고 증착이 용이하도록 mesh size 4-8 의 야자계 입상 활성탄을 선정하여 사용하였다. 또한, 국내의 상수 수질오염 현황을 분석하고, 선진국 등의 음용수 수질 기준 등을 참고하여 상수원수에서 기준 수질 처리 및 난분해성 물질의 처리에 초점을 맞추어 처리 물질을 선정하였다.

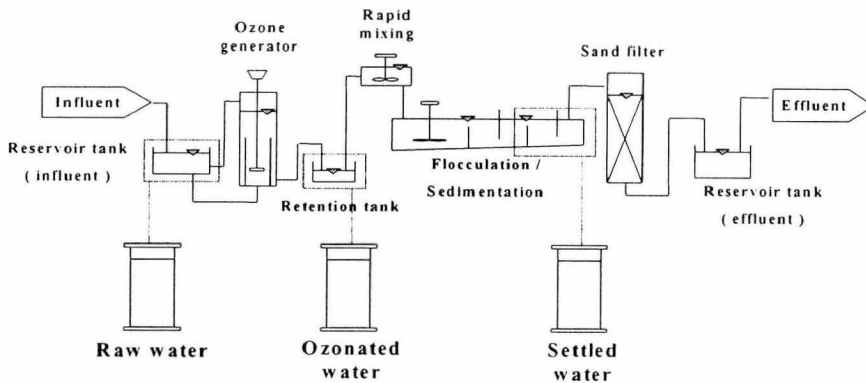


Figure 1. Schematic diagram of BAC bed apparatus

결과 및 고찰

본 연구에서 생물활성탄 처리 실험은 4월부터 약 8개월 이상 장기 운전을 진행하였다. 실험 기간 중의 수온은 최저 5.5 °C에서, 최고 24.3 °C 까지 나타내었으며, 평균 용존 유기탄소량 (dissolved organic carbon : DOC) 은 2.70 mg/L을 나타내었다. 6월 말부터 7월 중순까지 우기에는 유입수의 수질이 상당히 좋지 않았기 때문에 약 20일간 운전을 중지 시켰다. 과도한 양의 부유 고형물 (suspended solid : SS)이 유입되어 column 상단이 막히는 현상이 발생하였고, 역세척 빈도를 증가시키는 것만으로는 생물활성탄 처리에 상당한 무리를 가져왔으며 이 기간 동안 탁도의 경우 300 NTU를 상회하는 수치를 기록하였다. 이후로 8월을 넘어서면서 유입수가 각종 측정 항목에서 안정된 수질을 보였다. 또한, 용존 산소량의 분포는 6.0-7.3 mg/L 로서 커다란 변동없이 일정한 수치로 유입되었다. Figure 2는 DOC가 column 내에서 제거되는 장소에 관해 조사한 그래프이다. 일반적으로 수질인자들이 column 내에서 제거되는 장소는 각각 다를 것이라고 생각되며, 실험 결과상으로도 DOC는 column 상단에서 전체 제거량의 약 48.2 %가 제거되는 것으로 나타났다. 이것은 column 상부에 DOC 제거를 유발하는 미생물이 자생한다는 증거이며, 또한 짧은 EBCT (empty bed contact time) 에서도 DOC 제거가 용이함을 나타낸다. Jack *et al* 은 column 상단의 15cm에서 70 % 이상의 biomass가 제거된다고 보고하였으며^[11], Moll *et al* 도 생물활성탄 반응조 상단에서 NOM (natural organic matter)의 제거가 활발하게 일어난다고 보고하고 있다^[12].

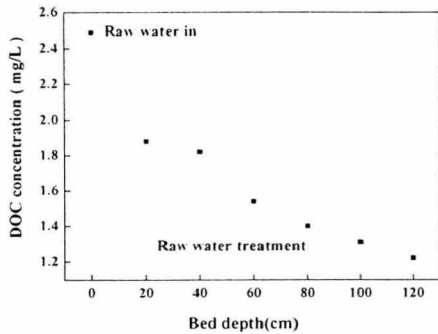


Figure 2. 생물활성탄의 충진 깊이에 따른 DOC 농도 변화

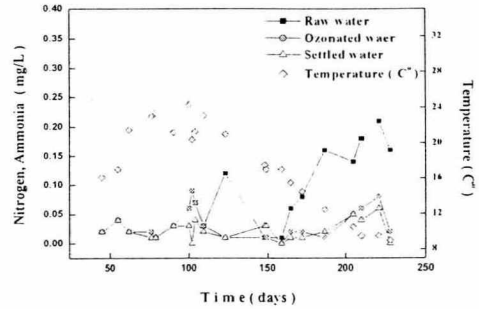


Figure 3. 각 공정 별 암모니아성 질소 제거량 비교

암모니아성 질소는 유기 오염에 대한 지표로서 국외 및 국내에서 일반적으로 고도정수처리의 처리 대상물질로 선정되어 가는 실정이다. 또한 유기물의 산화 및 소독을 목적으로 하는 염소 소독 공정의 조작에 어려움을 주며, 제거에 많은 염소 투입을 필요로 하기 때문에 염소 소독 공정 전단에서 암모니아성 질소의 제거가 중요시 되고 있다¹⁵⁾. Figure 3은 암모니아성 질소의 처리 정도를 보여 주는 그래프이다. 일반적으로, 겨울철 수온이 떨어지면 미생물의 활동 둔화로 기준을 초과한 암모니아성 질소의 유입이 문제가 되는데, 본 실험에서는 180일 이후부터 유입수의 수온이 낮아지면서 암모니아성 질소의 유입이 약간 증가하는 경향을 보이고 있지만, 수온 저하에 따른 암모니아성 질소 제거가 저하되는 현상은 보이지 않고 있다. 또한, 원수에 비해 오존처리를 거칠 경우 암모니아성 질소의 상당한 양이 제거되며, 응집 침전 처리에 의해서는 거의 제거가 일어나지 않음을 알 수 있다.

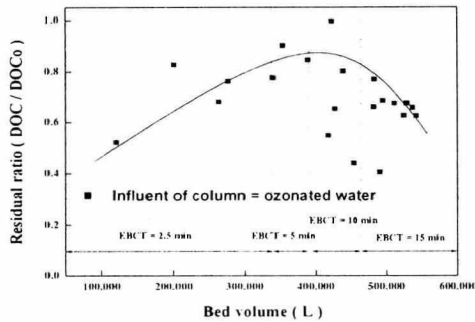


Figure 4. 오존처리수를 유입시킨 생물활성탄 반응조에서 통수량에 따른 DOC 잔존율

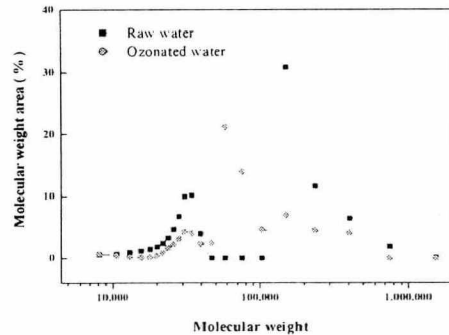


Figure 5. 오존처리 후의 원수의 분자량 분포 변화

Figure 4는 EBCT를 변화시키면서 통수량 (bed volume) 에 대한 오존 처리수를 유입시킨 생물활성탄 반응조에서의 DOC 잔존율을 나타낸 그림이다. 약 420,000 L 정도에서 활성탄의 흡착능이 과파 되었음을 알 수 있으며, 이후 통수량 550,000 L 이후부터는

생물학적 처리능에 의해 DOC 잔존율이 0.7 정도를 나타내고 있다. 이것은 오존처리에 의해 생물활성탄 반응조 내의 용존 산소량의 증가로 인하여 미생물 활성이 증가되었으며, 오존에 의한 산화로 인하여 유기물 양의 증가 등으로 DOC 제거가 향상되었음을 판단할 수 있다. 전체 운전 기간 동안의 평균 DOC 제거율은 30.7%를 나타내었으며, EBCT에 따른 DOC 잔존율을 살펴보면 EBCT 10 분에서는 경향이 보이지 않지만, EBCT 15 분에서는 0.73 정도를 나타내 상당량의 DOC 제거 증가가 발생됨이 관찰되었다. Figure 5는 오존 처리 전 후의 원수의 분자량 분포 변화를 나타낸 그림이다. 오존처리 전의 원수의 분자량 분포를 살펴보면, 분자량이 150,000 정도에서 약 30% 정도로 가장 많은 비율을 차지하고 있으며, 분자량 240,000 정도에서는 약 11% 정도의 분포를 나타내어 원수의 상당량이 고분자 물질로 구성되어 있음을 파악할 수 있었다. 반면 오존 처리후의 분자량 분포를 살펴보면, 원수에서 가장 많은 양이 관찰되었던 150,000 정도의 분자량은 약 7% 정도 관찰되었으며, 분자량 55,000 - 75,000 정도에서 약 35% 정도의 분자량 분포를 나타내어, 오존 처리를 거치면서 원수중의 고분자 물질의 상당량이 저분자 형태로 전환되었음을 파악할 수 있었다.

요약

본 연구에서는 오존과 생물활성탄을 연계시킨 공정을 통하여 용존 유기물질의 제거 경향을 살펴보았다. 오존 처리를 거치면서 원수중의 난분해성 용존 유기물질과 같이 생물학적 분해 속도가 느린 화합물의 상당량이 저분자 형태로 전환되었음을 파악할 수 있었으며, 오존 처리후의 생분해성의 향상에 의해 흡착의 부담이 경감되어 활성탄의 수명이 연장되는 것으로 조사되었다. 생물활성탄 반응조 내에서 여층 깊이에 따른 DOC 제거 경향을 알아본 결과, 전체 제거량의 약 50%가 column 상단에서 제거되었으며, 따라서 짧은 EBCT 에서도 용존 유기탄소의 제거는 용이한 것을 사료된다. 또한 유기 오염에 대한 지표로서 국내외에서 일반적으로 고도정수처리의 처리 대상물질로 선정되어 있는 암모니아성 질소의 제거는 75.9%로 상당히 높은 제거율을 나타내었다.

참고문헌

- [1]. Jack Z. Wang., R. Scott Summers., and Richard J. Miltner., "Biofiltration performance : relationship to biomass", AWWA, Vol. 87, No. 12, pp55-63, 1995.
- [2]. Moll, D. M., Wang J. Z., "NOM removal by distinct microbial populations in biofiltration processes", Proc. AWWA Ann. Conf., Anaheim, Calif., 1995
- [3]. Lori A. Cipparone, Alicia C. Diehl, and Gerald E. Speitel Jr, "Ozonation and BDOC removal : effect on water quality", AWWA, Vol. 89, No. 2, pp84-97, 1997.
- [4]. 최승일 "BAC의 특성 및 현황", 음용수의 안전성관리를 위한 상수고도처리 학술심포지움, 1992
- [5]. 황덕홍, "입상활성탄 공정에 의한 낙동강 수원의 암모니아성 질소 및 용존성 유기물질 제거에 관한 연구", 대한환경공학회지, 1997.