

오존처리와 생물활성탄 공정에 의한 상수원수 중의 용존유기물 제거

이 상 훈 · 문 순 식 · 신 중 철 · 최 광 근 · ¹심 상 준 · ²박 대 원 · † 이 진 원
광운대학교 화학공학과, ¹성균관대학교 응용화학부
²한국과학기술연구원 수질환경 및 복원연구센터
(접수 : 2003. 5. 15., 게재승인 : 2003. 6. 27.)

Removal of Dissolved Organic Matter by Ozone-biological Activated Carbon Process

Sang-Hun Lee, Sun-Sik Mun, Jong-chul Shin, Kwang-Keun Choi, Sang-Jun Sim¹, Dae-Won Park², and Jin-Won Lee†
Department of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea
¹Department of Chemical Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Kyunggi 440-746, Korea
²Water Environment & Remediation Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 130-650, Korea
(Received : 2003. 5. 15., Accepted : 2003. 6. 27.)

The removal yield of dissolved organic matter in drinking water by biological activated carbon (BAC) process was investigated. The tested processes were raw water-BAC process (BAC1), raw water-ozonation-BAC process (BAC2), and raw water-ozonation-coagulation/sedimentation-BAC process (BAC3). The amounts of organic matter was measured as dissolved organic carbon (DOC), ultra-violet radiation at 254 nm wavelength (UV₂₅₄), total nitrogen (T-N), ammonia nitrogen (NH₃-N), and total phosphate (T-P). As a results, 30.7% DOC was removed by BAC2 process, which showed higher removal efficiency than BAC1 or BAC3 processes. The removal yield of UV₂₅₄ in BAC1, BAC2, and BAC3 processes were observed as 45.3%, 44.6%, 58.4%, respectively. And the removal yield of ammonia nitrogen were 66%, 81%, 29% in each BAC processes. The optimal empty bed contact time (EBCT) of BAC processes was estimated as 10 minute. This study has shown that BAC process combined with ozone treatment was efficient for removing dissolved organic matter in water.

Key Words : Biological activated carbon, drinking water treatment, dissolved organic carbon, ozonation

서 론

고도정수처리 (advanced water purification)란 상수원이 심각하게 오염되어 기존 정수처리로는 제거되지 않거나 제거효율이 낮을 경우 고도정수처리를 통하여 용존 유기물질 등을 제거하여 음용수의 수질을 향상시키는 기술이다(1-3). 고도정수처리 방법으로는 오존 처리, 생물 활성탄 (BAC : biological activated carbon) 처리, 고급 산화법 (AOP : advanced oxidation process) 및 입상 활성탄 (GAC : gradual activated carbon) 처리 등이 있다. 그 중 생물활성탄 처리란, 활성탄 처리의 앞에 오존 처리 등의 산화처리를 하여 유기물의 생분해성을 증대시키며 생물작용이 부가됨에 따라 효과적

인 처리를 기대할 수 있는 경우를 생물활성탄이라 일컫는다 (4-6). 생물활성탄 처리는 용존 유기물질 제거시 입상 활성탄보다 흡착용량 및 수명이 증대되고, 활성탄내에서의 용존 유기물질의 산화와 더불어 질소, 인, 암모니아 등을 생물학적으로 처리함으로써 미량유기물질 저감에 오존이나 입상 활성탄에 의한 흡착 공정의 각각 단일공정에 의한 것보다 효율적이며 경제적인 공정으로 알려져 있다(5, 6).

또한 오존처리는 냄새물질이나 미량의 유기물질을 제거하거나, 응집제를 투여하였을 경우 분해된 유기물질들이 flocc을 더 잘 형성하게 되어 응집을 도와주는 역할을 하며, 난분해성 물질을 생분해가 가능한 물질로 성상을 변화시키고, 후처리에서 사용되는 생물학적 처리를 도와주는 역할을 한다 (7-10).

본 연구에서는 팔당호 상수원수를 원수로 하여 원수, 원수-오존, 원수-오존-응집·침전한 처리수를 생물활성탄으로 처리하여 용존 유기물질의 제거 정도를 조사하여 정수효과를 검토하였다.

† Corresponding Author : Department of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Wolgye-dong, Nowon-gu, Seoul 139-701, Korea
Tel : +82-2-940-5172 Fax : +82-2-909-0701
E-mail : jwlee@daisy.kw.ac.kr

재료 및 방법

컬럼 반응기의 제작 및 운전

본 연구는 팔당호의 물을 상수원수로 사용하는 하남시에 위치한 K 정수장의 원수를 사용하여 연속식 하향류 (down flow) 고정층식의 활성탄 처리방식으로 약 9개월간 오존과 연계한 생물활성탄 실험을 수행하였다. 본 연구에서 사용된 생물활성탄 반응기는 아크릴 재질로서 컬럼의 유출수 부분을 포함 전체부피 20 L, 직경 10 cm, 높이 260 cm로 제작하였으며, 여과탑 유출부에 유량 조절밸브와 반대편에 역세조절밸브를 설치하여 컬럼을 운영하였다. 컬럼의 역세척은 표층 부분에 있어서 머드볼 (mud ball) 형성으로 인한 표층의 폐색을 방지하기 위하여 주기적으로 수행하였으며, 생물활성탄 처리수는 저류조에 저류하여 역세척시 컬럼의 역세수로 사용하였다(2). 또한 반응기 하단에서 10 cm 간격으로 유출수 샘플링 포트를 설치하였으며 컬럼 내에 활성탄을 100 cm 길이로 충전 (유효용적 : 7.5 L)하였다. 생물활성탄 컬럼의 유입수로는 원수, 오존처리수, 오존-응집·침전처리수를 사용하여 컬럼을 운영하였으며(Fig. 1), 본 연구에서 적용한 정수처리공정은 Fig. 2와 같다.

미생물의 순응

각각의 생물활성탄 컬럼에 전배양한 원수를 통수시켜 약 6주간 순응 시켰으며 생물이 발생하기 쉽고 증착이 용이하도록 mesh size 4-8의 야자계 입상활성탄을 선정하여 사용하였다. 이때 담체인 활성탄 표면에 균주의 부착을 쉽게 하기 위

하여 글루코오스 및 영양염류를 간헐적으로 주입하여 전배양 하였으며 폭기를 통하여 충분한 용존산소를 공급함으로써 종속영양균주의 담체표면의 부착 및 증식을 유도하였다.

파일럿 플랜트

경기도 하남시의 K 정수장에 설치된 pilot plant는 일반적 인 정수처리 공정을 모사한 것으로 팔당 원수를 시간당 0.5 톤의 처리 용량으로 유입시켰으며 오존 접촉조에서 공탑체류 시간 (empty bed contact time : EBCT) 10분으로 오존처리한 후 응집제인 PACl (poly aluminum chloride)를 사용하여 급속 교반 (2분)과 완속교반 (30분)을 거쳐 3시간 동안 침전조에서 침전시킨 후 사여과 처리를 통하여 최종 처리하였다. 또한 생물활성탄 컬럼의 유입수로는 Fig. 2에서와 같이 원수와 오존처리수, 오존-응집·침전처리수를 사용하였다.

용존 유기탄소 (dissolved organic carbon : DOC)

측정

정수처리에서 자연유기물 (natural organic mater : NOM)은 대개 총유기탄소 (total organic carbon : TOC)와 용존 유기탄소 (dissolved organic carbon : DOC)에 의해 정량화된다. 그러나 침전과 여과를 거친 후에 대개 TOC와 DOC는 DOC의 차는 거의 없으므로 보통 혼용해서 사용하기도 한다. 여기서 DOC는 수중에 용존하는 0.1 μm 이하의 유기물을 말하며, 본 연구에서는 DOC를 측정하기 위해 초자 기기들은 400℃에서 4시간동안 강열함으로써 잔존유기물을 완전히 제거시킨 후 사용하였는데 채수한 시료를 0.45 μm membrane filter로 여과

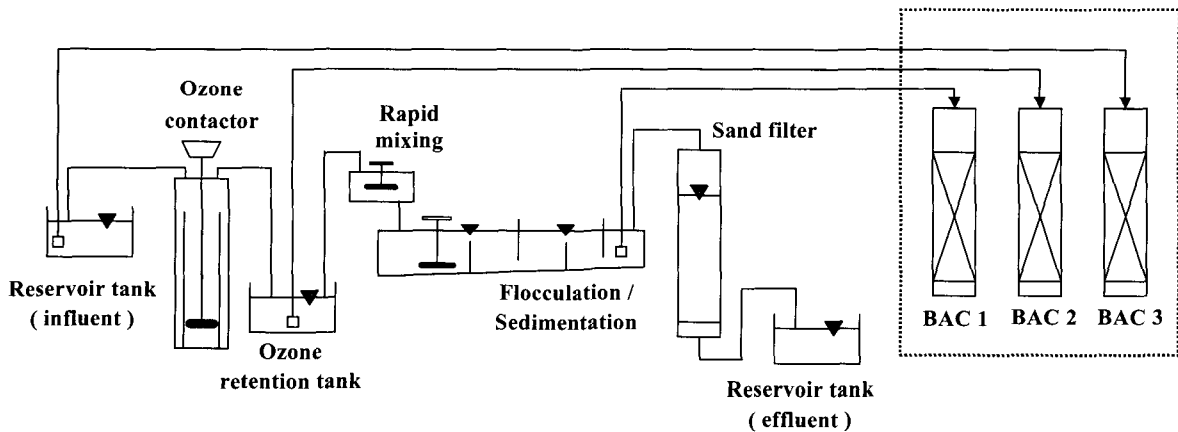


Figure 1. Schematic diagram of biological activated carbon reactor in drinking water treatment.

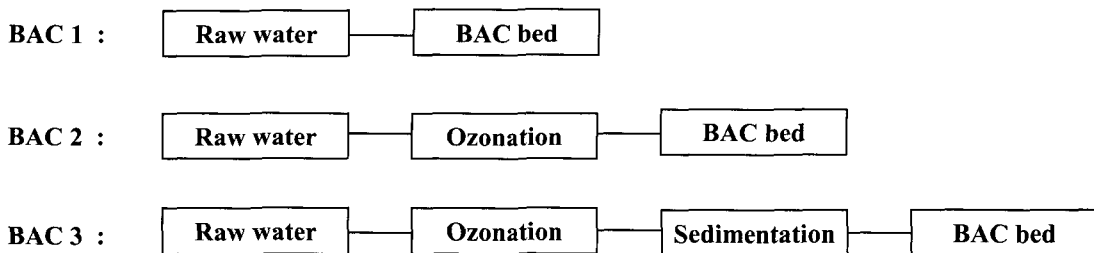


Figure 2. Flow chart of biological activated carbon treatment system.

한 후 그 여액을 TOC analyzer (PHARMA-TOC)로 분석하였다.

UV₂₅₄의 측정

자연적으로 발생하는 유기물질은 무작위 반응으로 인해 UV 흡수 영역 내에서 특정파장을 정확히 규명하기가 어렵고 또한 파장범위가 증가하면 UV 흡수 영역은 감소하는 특성을 나타내고 있다. 따라서 이러한 UV 흡수 영역의 불명확성과 측정의 편의성 때문에 단일 파장인 UV 254 nm가 UV 흡광도를 결정하는데 이용되고 있다. 이중 결합을 하고 있는 탄소 화합물들에 대한 특성으로 표현할 수 있는 UV₂₅₄는 난분해성 물질이 많이 포함된 경우 높은 흡광도를 나타내므로 수중의 유기물질을 평가하는 지표로 이용되고 있다. 본 연구에서는 Shmadzu-1240 spectrophotometer를 사용하여 UV₂₅₄ 흡광도를 측정하였다.

총질소 (total nitrogen: T-N)와 총인 (total phosphate : T-P)

총질소 (T-N)는 유기질소, 암모니아성질소, 질산성질소를 모두 포함하는 것으로 본 연구에서는 총질소의 측정을 위하여 COD Reactor Digestion Method를 이용하여 DR-2010 (HACH) spectrophotometer와 시약 HACH 26722-00, HACH 24953-00을 이용하여 측정하였으며 총인(T-P)은 시약 HACH 25830-00을 이용하여 측정하였다.

결과 및 고찰

대상 원수의 특성

본 연구에서 이용한 대상원수는 한강수계인 팔당호 상수원수를 사용하였으며 경기도의 광암 정수장에서 실험을 진행하였다. 실험기간은 장마철 (약 1개월간)을 제외한 약 9개월 간이며 실험기간 동안의 원수의 수질 특성은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Quality of source water in experiment periods

Parameter	Unit	Value	Average
Temperature	°C	8-24.3	18.2
pH	-	6.5-7.3	7.2
DO	mg/L	6.01-7.23	6.63
DOC	mg/L	1.87-3.36	2.53
UV ₂₅₄	l/cm	0.021-0.041	0.032
Turbidity	NTU	1.04-342	28.9
T-N	mg/L	0.3-6.1	2.14
T-P	mg/L	0.01-0.17	0.037
NH ₃ -N	mg/L	0.01-0.21	0.072

용존산소는 여름철에 약 6.01-6.49 mg/L였으며 수온이 20°C 이상일 때 6.01 mg/L 까지 떨어질 때도 있었다. pH 값은 6.5-7.3으로 큰 변화를 보이지 않았으며 실험기간 중의 원수의 평균 수온은 18.2°C를 나타내었다. 7월 중순 장마철 폭우로 인하여 매우 혼탁하여 탁도는 최고 342 NTU까지 관찰되었으며, 8월 중순 이후로는 약 1.22-3.43 NTU로 비교적 일정한 값을 나타내었다. 암모니아성 질소의 농도는 실험 기간

동안 0.072 mg/L를 나타내었으며 DOC의 농도는 2.53 mg/L를 나타내어 실험 기간 중 큰 변화를 나타내지 않았다. 국내 상수원수의 DOC 값은 낙동강 원수의 경우 5.44 mg/L, 금강수계인 대청댐 원수의 경우 2.0-5.0 mg/L와 비교해 볼 때, 한강수계는 약간 낮은 DOC 농도를 나타내었다(14).

생물활성탄 컬럼의 DOC 제거 특성

TOC 또는 DOC는 THM (trihalomethane)의 전구물질을 포함하는 유기물의 지표로서 THMFP (trihalomethane formation potential)와의 일차상관성이 높아 정수처리에서 많이 이용되고 있으며 본 연구에서는 용존 유기물질의 지표로서 DOC를 선정하여 정수처리 효율을 조사하고자 하였다. Fig. 3은 실험 기간동안의 원수와 처리수의 DOC 제거 경향을 나타낸 그래프이다. 원수의 평균 DOC 농도는 2.53 mg/L이고, 생물활성탄 처리의 수질은 BAC 1 공정은 1.85 mg/L, BAC 2 공정은 1.79 mg/L, BAC 3 공정은 1.30 mg/L를 나타내었다. 또한 원수를 오존 처리했을 때 DOC가 약간 상승하는 경향이 관찰되었는데, DOC의 친수성 성분이 오존처리 시 증가한 것으로 판단되며 오존의 산화력으로 고분자 물질이 저분자화 되었거나 저분자 물질이 용존 상으로 변화되어 DOC의 농도가 상승된 것으로 판단된다. 또한 오존·생물활성탄 처리시의 평균 제거율은 30.7%로 다른 처리 공정에 비하여 상대적으로 높은 용존 유기물질 제거율을 나타냈는데, 이것은 생물활성탄 컬럼 상에서 오존이 용존산소의 농도를 증가시킴과 오존의 산화로 인하여 유기물의 생분해도를 증가시킴으로서 활성탄 컬럼 내의 용존 유기물질 제거를 증가시킨 것으로 사료된다. 따라서 오존산화처리와 활성탄의 연계처리는 용존유기물질의 저감 뿐만 아니라 생물활성탄의 생물학적 처리능을 향상시키는 효율적인 공정임을 확인할 수 있었다.

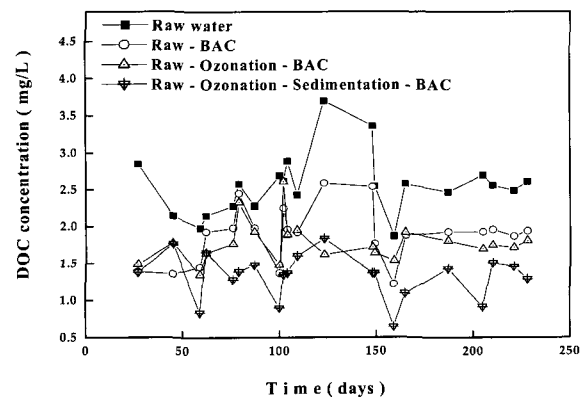


Figure 3. Variation of DOC in each processes during operation time (BAC 1 : raw water-BAC, BAC 2 : Raw water-ozonation-BAC, BAC 3 : raw water-ozonation-flocculation · sedimentation-BAC).

Fig. 4는 생물활성탄 컬럼의 유량의 변동에 따른 EBCT 5분, 10분, 15분에 대하여 최적 EBCT를 결정하기 위하여 각각의 공정에의 DOC 잔존비를 도시한 그림이다. 처리수의 농도차이가 크기 때문에 EBCT에 따른 처리효율의 정량적 비교가 용이하지 않았으며, 따라서 DOC 농도를 DOC 잔존비

로 표현하여 비교하였다. 이때 유입수에서 DOC의 평균 농도는 원수에서 2.53 mg/L, 오존 처리수에서 2.58 mg/L, 오존-응집·침전처리수에서 1.78 mg/L였다. 가장 높은 DOC 제거율을 보인 오존처리수를 유입시킨 컬럼에서는 EBCT 10분까지 잔존비 0.76에서 0.57로 급속한 감소를 보이다가 EBCT 15분에서 잔존비가 0.65로 증가하였다. 마찬가지로 원수와 오존-응집·침전처리수를 유입시킨 컬럼에서도 EBCT가 5분에서 10분으로 증가 되었을 때 각 공정의 잔존비가 0.72에서 0.69, 0.81에서 0.72를 나타내어 지속적인 감소를 보였으나 EBCT 15분에서 잔존비가 증가하는 경향이 관찰되었다. 그 결과 본 연구에서는 각각의 공정에서 EBCT에 대한 생물활성탄 컬럼의 DOC 저감율이 가장 높은 EBCT 10분을 최적의 EBCT로 판단하였다.

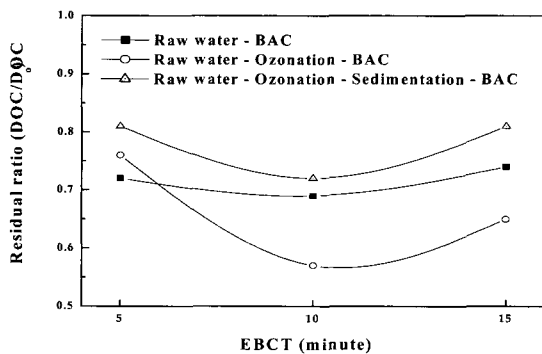


Figure 4. Variation of DOC (C/Co) for EBCT in each processes during operation time (BAC 1 : raw water-BAC, BAC 2 : Raw water-ozonation-BAC, BAC 3 : raw water-ozonation-flocculation · sedimentation-BAC).

유기물의 특성 변화

Table 2는 각 공정별 유기물의 성상변화를 살펴보기 위하여 specific UV adsorbance (SUVA : UV_{254}/DOC)의 성상 변화를 조사한 표이다. 일반적으로 시료내의 UV_{254}/DOC 비가 높은 것은 불포화 탄소고리를 가진 유기물 즉 NOM 중 복잡한 방향족 성분들이 많음을 의미하고 UV_{254}/DOC 비가 낮은 것은 포화지방족 특성을 가진 물질들이 많고 생분해 가능성이 큰 것을 의미한다. 실험기간 중의 원수의 SUVA 값은 평균 0.0132 L/mg · cm였으며, 오존처리시 0.0121 L/mg · cm를 나타내었다. 이는 오존처리에 의해서 단위 DOC 농도당 UV_{254} 흡광도가 상대적으로 높은 소수성 성분이 많이 제거되어서 유기물질이 전체적으로 저분자인 친수성 화합물로 전환되었다는 것을 나타낸다. 또한 응집·침전처리시 급격한 SUVA 값의 감소가 관찰되었는데 친수성 성분에 비해 분자량이 큰 소수성 성분의 응집 및 침전이 활발히 발생한 것으로 사료되며 고분자의 소수성 물질이 침전으로 제거되어 저분자의 친수성 물질이 주로 남아있다는 것을 추측할 수 있다 (3,11). 생물활성탄 처리시 SUVA 각각의 처리 공정에서 SUVA 값의 감소를 확인할 수 있었는데, 오존처리수를 유입시킨 생물활성탄 처리에서 가장 높은 약 28%의 SUVA 값의 제거가 발생하였다. 이것은 오존 처리에 의해 다량의 소수성 성분이 친수성 성분으로 전환되었으며, 또한 이러한 친수성 성분이 생물활성탄 처리에 의해 제거된 것으로 사료된다.

Table 2. Variation of specific ultra violet adsorbance value during operation time

Treatment process	Average of SUVA (L/mg · cm)	Removal efficiency of SUVA (L/mg · cm)
Raw water	0.0132	-
Ozonation	0.0121	-
Ozonation-Flocculation · sedimentation	0.0087	-
BAC 1	0.0105	20.45%
BAC 2	0.0098	28.09%
BAC 3	0.0081	6.89%

생물활성탄에 의한 UV_{254} 제거 특성

휴믹산 같이 주로 고분자량의 유기물을 나타내는 UV_{254} 는 254 nm의 자외부 파장에 감지되는 물질로서 이중 결합을 가지고 있는 물질이 대부분이며 대표적으로 방향족 물질, 불포화지방족 등이 있다(11). 본 연구에서는 용존 유기물을 간접적으로 평가하기 위하여 용존유기물 지표로서 UV_{254} 의 생물활성탄에 의한 처리효율을 조사하였다.

원수의 UV_{254} 흡광도는 수온이 20℃ 이상을 나타낸 100-150일 사이에 약간 높게 관찰되었으며, 실험 기간 중 원수의 평균 UV_{254} 흡광도는 0.032 cm^{-1} , 오존처리수는 0.032 cm^{-1} , 오존-응집·침전 처리수는 0.020 cm^{-1} 을 나타내었다. 처리공정 중 응집·침전 처리 시에만 UV_{254} 가 제거되었으며 UV_{254} 흡광도는 37.5%가 제거되었으며 오존처리에 의해서는 제거가 관찰되지 않았다.

원수를 유입시킨 생물활성탄 처리수의 UV_{254} 흡광도는 0.017 cm^{-1} 을 나타내 평균 45.3%의 제거율을 나타내었다. 오존 처리수를 유입시킨 생물활성탄 컬럼의 경우 유입수의 평균 UV_{254} 흡광도는 0.0032 cm^{-1} 를 나타내었으며, 처리수의 경우 평균 UV_{254} 흡광도는 0.017 cm^{-1} 로서 UV_{254} 흡광도 제거율은 44.6%를 나타내었다. 또한 오존 처리와 응집·침전 처리를 거친 처리수를 유입시킨 생물활성탄 컬럼의 경우에 유입수의 흡광도는 0.020 cm^{-1} 로 비교적 낮은 흡광도를 나타내었으며, 처리수는 0.008 cm^{-1} 을 나타내어 생물활성탄 처리시 58.4%의 제거율을 나타내었다. 원수의 UV_{254} 흡광도가 0.032 cm^{-1} 임을 생각할 때, 응집·침전처리와 생물활성탄 처리시의 전체 제거율은 75%를 나타내었다.

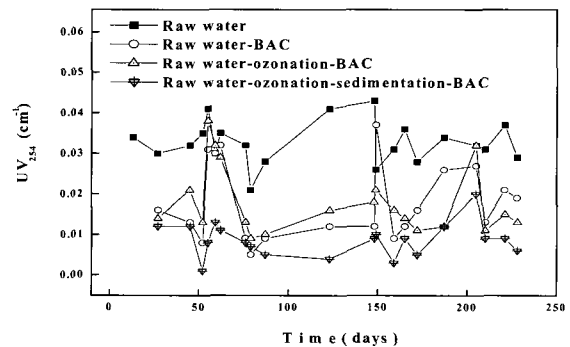


Figure 5. Variation of UV_{254} in each processes during operation time (BAC 1 : raw water-BAC, BAC 2 : Raw water-ozonation-BAC, BAC 3 : raw water-ozonation-flocculation · sedimentation-BAC).

생물 활성탄에 의한 탁도 제거 특성과 우기의 고농도 탁도 유입에 대한 spike test

Table 3은 각 공정별 탁도의 변화를 나타낸 표이다. 원수의 탁도가 2.36 NTU, 생물활성탄 처리수의 탁도는 1.46 NTU로 약 38%의 제거율을 나타내었다. 오존처리수를 유입시킨 BAC 2에서는 원수를 유입시킨 생물활성탄 컬럼에 비하여 높은 제거율을 보임을 관찰할 수 있었으며, 평균 탁도 제거율은 51.3%로 상당히 높은 제거율을 보였다. 그 이유로는 강력한 산화제인 오존을 첨가함으로써 콜로이드성 물질 표면 전하들의 성질을 변화시켜 전하를 가진 입자들을 뭉치게 함으로써 후속공정인 생물활성탄 공정의 효율을 증진시킨 것으로 사료된다. 유입수인 오존 처리수의 탁도는 2.99 NTU였으며, 생물활성탄 공정 처리수의 탁도는 1.45 NTU를 나타내었다. 오존 처리와 응집·침전 처리한 원수를 유입시킨 컬럼에서 유입수의 평균 탁도는 1.46 NTU를 나타내었고, 처리수의 탁도는 0.94 NTU로서 34.5%의 평균 탁도 제거율을 나타내었다. 따라서 각 공정 별 탁도 제거율은 오존 처리수를 유입시킨 생물활성탄 컬럼 (BAC 2)에서 가장 높은 탁도 제거 효율을 보였다.

연구기간 동안 여름철 집중적인 강우로 인한 300 NTU 이상의 고농도 탁도의 유입과 이로 인한 생물활성탄 공정 운영상의 문제가 발생하였기 때문에 운영 가능한 한계 탁도 농도에 대한 조사를 수행하였다. 따라서 직경 5 cm, 높이 120 cm, 활성탄 충전 깊이 60 cm (유효용적 1.17 L)의 laboratory scale의 반응기를 제작하여 25℃, EBCT 20분에서, 500 NTU의 인공수를 제조하여 충격실험을 수행하여 탁도 제거 효율을 조사하였으며 그 처리결과는 Table 3과 같다. 고농도 탁도에 대한 생물활성탄의 제거율은 각각 86.5%를 나타내었으며, 69.5 NTU를 나타내었다. 그러나 이 결과는 활성탄 단일 공정에 의한 처리임을 감안할 때, 활성탄 처리 공정 전·후단에 응집·침전 처리 및 사여과 처리 등의 공정을 거친다면 고농도 탁도가 유입되는 우기 기간에도 음용수 처리 기준에 유효한 처리수질을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

Table 3. Turbidity removal yield in each processes

	Value (NTU)	Average (NTU)	Removal yield (%)
Raw water	1.04-3.48	2.36	-
Ozone treatment	2.34-4.69	2.99	-
Sedimentation	0.73-1.23	1.44	-
BAC 1	0.75-2.51	1.46	38.0
BAC 2	0.44-2.66	1.45	51.3
BAC 3	0.24-2.65	0.94	34.5

Table 4. Spike test of high turbidity concentration

	Turbidity concentration of treated water	Removal yield (%)
BAC	69.5 NTU	86.48 %

오존처리에 의한 총질소, 암모니아성 질소, 총인의 제거 특성

Fig. 6에서는 각각의 항목에 대한 총질소와 암모니아성 질소, 총인의 제거율을 조사하였다. 총질소 (total nitrogen)는 유기성 질소와 무기성 질소의 합을 의미하며 하수 및 호소수 중의 질소는 암모니아성 질소와 단백질 및 요산이 함유된 유기성 질소가 대부분이다. 총질소의 공정별 제거율을 살펴보면 원수를 유입시킨 BAC 1에서 84%, BAC 2에서 33%, BAC 3에서 41%를 나타내었다. BAC 1에서 높은 총질소의 제거율을 나타내는 이유는 원수 내 질산화 균의 지속적인 유입으로 생물활성탄 컬럼 내의 질산화가 활발하게 발생한 것으로 추측할 수 있다. 또한 공정별 총인의 제거율을 살펴보면 원수의 평균 총인 (total phosphate)은 0.037 mg/L를 나타내었고, 오존 처리 후 0.025 mg/L, 응집·침전 처리 후 0.019 mg/L를 나타내었다. 따라서 오존 단독 처리에 의해 32.9%의 총인 제거율을 보였고, 응집·침전 처리 후 21.9%의 제거율을 나타내었다. 원수를 유입시킨 생물활성탄 컬럼 (BAC 1)과 오존처리수를 유입시킨 생물활성탄 컬럼 (BAC 2)은 각각 73.3%, 와 74.9%를 나타내 상당히 높은 총인 제거율을 보였다. 반면, 오존처리와 응집·침전 처리수를 유입시킨 생물활성탄 컬럼 (BAC 3)에서는 약 50% 정도의 총인 제거율을 나타내었다.

공정별 암모니아성 질소의 제거 경우 오존-생물활성탄 공정의 조합 (BAC 2)의 경우와 확연히 제거 정도의 차이를 관찰할 수 있다. 본 실험의 경우 질산화 균이 식종된 것이 아니라 자생적으로 성장하는 경우이므로 유입된 암모니아성 질소가 아질산성질소를 거쳐 최종적으로 질산성질소로 변화되는 질산화 메커니즘을 나타낼 것으로 사료된다. BAC 1에서 66%, BAC 2에서 81%, BAC 3에서 29%의 암모니아성 질소 제거를 관찰되었다.

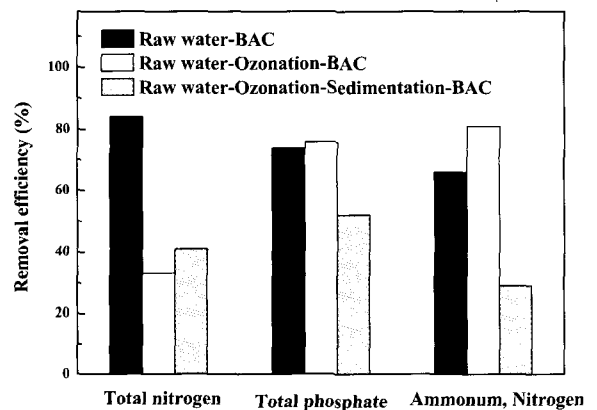


Figure 6. Removal efficiencies for T-N, NH₃-N, and T-P in each processes (BAC 1 : raw water-BAC, BAC 2 : Raw water-ozonation-BAC, BAC 3 : raw water-ozonation-flocculation·sedimentation-BAC).

생물활성탄의 유기물 흡착과 부착 미생물의 관찰

Fig. 7은 활성탄 내의 부착균체와 유기물 흡착을 관찰하기 위하여 촬영한 SEM 사진이다. 활성탄 입자의 거친 표면은

생물 입자간 충돌 및 액체 전단응력에 대한 피난처를 담체 표면에 부착된 균체에 제공하여 생물막 형성을 용이하게 하여 생물학적 처리를 유발한다. Fig. 7에서 관찰할 수 있듯이 활성탄 내의 미세 세공에 미생물 군체가 부착되어 있음을 알 수 있으며 다량의 유기물 흡착으로 인하여 미세 세공이 막혀 있는 모습이 관찰되었다. SEM 촬영에서 관찰할 때, 입상 활성탄의 미세 세공에 성장하는 박테리아는 생물막이 형성되지 않고 미생물 군집 상태로 존재하는 것으로 판단되며, 따라서 일부 특정 지역에서만 부착되는 한계를 보이는 것으로 사료된다. 또한 Werner 등은 독일의 Wiesbaden에 있는 정수장에서 3년동안 사용한 활성탄을 조사하여 미생물의 종류를 관찰하였으며, 여기서 발견된 미생물은 토양이나 물속에서 자연적으로 존재하는 것으로 대부분이 *Pseudomonas*나 *Bacillus*로 조사된 바 있다(15).

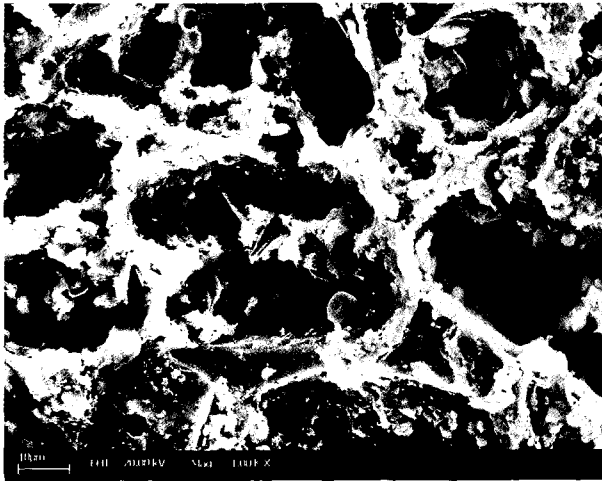


Figure 7. Scanning electron microscopy (SEM) of the biological activated carbon after 180 days operation time.

요약

본 연구에서는 오존과 생물활성탄 연계공정의 효율성을 비교하고자 원수, 원수-오존처리, 원수-오존-응집·침전 공정 처리수를 생물활성탄에 유입시켜 용존 유기물질의 제거효과를 비교·연구하였다. 또한 생물활성탄의 생물학적 처리능을 조사하기 위하여 총질소, 총인, 암모니아성 질소의 제거경향을 파악하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

오존·생물활성탄 처리시의 평균 제거율은 30.7%로 다른 처리 공정에 비하여 상대적으로 높은 용존 유기물질 제거율을 나타냈는데, 이것은 생물활성탄 컬럼 상에서 용존산소의 농도를 증가시킴과 오존의 산화로 인하여 유기물의 생분해도를 증가시킴으로서 활성탄 컬럼 내의 용존 유기물질 제거를 증가시킨 것으로 사료되며, 생물활성탄 컬럼의 DOC 저감율이 가장 높은 EBCT 10분을 최적의 EBCT로 판단하였다. 또한 각 공정별 유기물의 성장변화를 살펴보기 위하여 specific ultra violet adsorbance 성장 변화를 조사하였으며 오존처리에 의해 다량의 hydrophobic 성분이 hydrophilic 성분으로 전환되었으며 생물활성탄 처리에 의해 28%의 SUVA 값의 제거가 발생하였다. 이것은 오존 처리에 의해 다량의 hydrophobic 성

분이 hydrophilic 성분으로 전환되었으며, 이러한 hydrophilic 성분이 생물활성탄 처리에 의해 제거된 것으로 사료된다. 원수를 유입시킨 생물 활성탄 처리수는 45.3%, 오존 처리수를 유입시킨 컬럼에서는 44.6%, 오존-응집·침전처리수를 유입시킨 컬럼에서 58.4%의 UV₂₅₄ 제거율을 나타내었으며, 암모니아성 질소의 경우 66%, 81%, 29%의 제거율을 나타내어 생물학적 제거가 활발함을 관찰할 수 있었다.

따라서 본 연구를 통하여 오존산화처리와 활성탄의 연계처리는 용존 유기물질의 저감 뿐만 아니라 생물활성탄의 생물학적 처리능을 향상시키는 효율적인 공정임을 확인할 수 있었다.

감사

본 연구는 한국과학기술연구원에서 2001년 9월부터 2002년 8월까지 연구년을 수행한 결과로서 광운대학교의 연구지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Carlson, M. A. (1994), Comparing two GACs for adsorption and biostabilization, *J. AWWA*, **86**, 91-102.
- Choi, J. W., K. S. Hyun, and Y. T. Kang (2000), Characteristics of granular activated carbon and biological activated carbon treatment processes for improvement of drinking water quality, *J. KSWQ*, **16**, 191-198.
- Hwang, J. E., L. S. Kang, S. H. Kim, and C. H. Yoon (2000), Variation of natural organic matter characteristics through water treatment processes, *J. KSEE*, **22**, 1253-1261.
- Wang, J. Z., R. S. Summers, and R. J. Miltner (1995), Biofiltration performance : part 1, relationship to biomass, *J. AWWA*, **87**, 55-63.
- Hozalski, R. M., E. J. Bouwer, and S. Goel (1999), Removal of natural organic matter (NOM) from drinking water supplies by ozone-biofiltration, *Wat. Sci. Technol.* **40**, 157-163.
- Carlson, K. H. and G. L. Amy (1998), BOM removal during biofiltration, *J. AWWA*, **90**, 42-52.
- Cipparone, L. A., A. C. Eiehl, and G. E. Speitel Jr (1997), Ozonation and BDOC removal : effect on water quality, *J. AWWA*, **89**, 84-97.
- Carlson, K. H. and G. L. Amy (2001), Ozone and biofiltration optimization for multiple objectives, *J. AWWA*, **93**, 88-98.
- Camel, V. and A. Bermond (1998), The use of ozone and associated oxidation processes in drinking water treatment, *Wat. Res.* **32**, 3208-3222.
- Siddiqui, M. S., G. L. Amy, and B. D. Murphy (1997), Ozone enhanced removal of natural organic matter from drinking water sources, *Wat. Res.* **31**, 3098-3106.
- Krasner, S. W., J. P. Croue, J. Buffle, and E. M. Perdue (1996), Three approaches for characterizing NOM, *J. AWWA*, **88**, 66-79.
- Collins, M. R., T. T. Eighmy, J. M. Fenstermacher Jr., and S. K. Spanos (1996), Using granular media amendments to enhance NOM removal, *J. AWWA*, **88**, 48-61.
- Gagnon, G. A., S. D. J. Booth, S. Peldszus, D. Mutti, F. Smith, and P. M. Huck (1997), Carboxylic acids: formation and removal in full-scale plants, *J. AWWA*, **89**, 88-97.
- Woo, D. S., and S. H. Nam (1998), Pretreatment by the process of BAC fluidized bed to produce the biologically stable drinking water, *Kor. J. Env. Hlth. SOC.* **24**, 38-46.
- Werner, P., M. Klotz, and R. Schweisfurth (1984), Investigations concerning the microbiology of GAC-filtration for drinking water treatment, CCMS 112, Adsorpt. T.