

## 고도정수처리공정에서 생물활성탄처리조의 성능과 조작

윤대경\*, 이강준, 노병일<sup>1</sup>, 문병현<sup>2</sup>  
 동의대학교 환경공학과, 동서대학교 화학공학과<sup>1</sup>, 창원대학교 환경공학과<sup>2</sup>  
 (tkyoon@dongeui.ac.kr\*)

## Performance and Operation of BAC in Advanced Water Treatment Process

Taekyung Yoon\*, Gangchoon Lee, Byeongil Noh<sup>1</sup>, Byunghyun Moon<sup>2</sup>  
 Dept. of Environmental Eng., Dongeui Univ.  
 Dept. of Chemical Eng., Dongseo Univ.<sup>1</sup>  
 Dept. of Environmental Eng., Changwon National Univ.<sup>2</sup>  
 (tkyoon@dongeui.ac.kr\*)

## 서론

원수에 응집제를 첨가하여 혼화→응집→침전→여과→소독공정을 거쳐 수돗물을 생산·공급하는 표준정수처리공정으로 원수 중에 일반적으로 존재하는 입자성 물질과 용존 물질은 용이하게 제거된다. 그러나 인구과밀과 급속한 산업화로 인하여 상수원수의 수질을 악화시키는 용존유기물, 특히 발암성 물질로 알려진 염소소독부산물 트리할로메탄 (THMs) 등과 같은 유기염소화합물 또는 이취미 유발물질 등은 표준정수처리공정으로 쉽게 제거되지 않으므로 이러한 물질들이 기준치 이상으로 존재할 경우 안전한 상수도 공급을 위하여 제거가 필요하다. 이렇게 표준정수처리공정으로 제거되지 않는 물질을 제거하기 위한 추가적인 정수처리공정을 고도정수처리(advanced water treatment)라 한다.

현재 주로 사용되고 있는 고도정수처리기술로 활성탄 또는 오존-활성탄 처리공정이 있다. 여기서 오존처리공정은 유기물 일부를 완전산화제거, 큰 유기물을 산화시켜 미생물에 의한 생분해와 흡착이 용이한 저분자 물질로 분해, 존재할지 모르는 병원성 미생물을 살균 등의 역할을 한다. 활성탄처리공정을 단독으로 적용할 경우 활성탄의 유기물 흡착능력을 사용하여 용존유기물을 흡착제거하고 주로 입상활성탄(granular activated carbon, GAC)을 사용한다. 한편 오존처리공정과 연계하여 활성탄을 사용할 경우 GAC 표면에 미생물을 생성시켜 부착미생물에 의한 생분해와 활성탄 흡착 두 가지 제거기구를 동시에 이용하는 생물활성탄(biological activated carbon, BAC) 공정이 도입되어 이용되고 있다 [1,2]. 또한 최근에는 nanofiltration(NF)과 역삼투압(reverse osmosis, RO) 공정과 같은 막분리기술을 사용하여 먹는 물을 생산하는 사례가 외국에서 보고되고 있다[3].

본 연구에서는 오존-BAC 고도정수처리공정에서 BAC의 성능이 평가되었다. BAC의 성능은 DOC(dissolved organic carbon), BDOC(biodegradable DOC) 그리고 THMs의 제거성능을 가지고 측정되었다. 더불어 온도와 EBCT(empty bed contact time)가 부착미생물을 양, 역세주기, 그리고 유기물제거능에 미치는 영향이 조사되었다.

## 실험

실험은 낙동강을 취수원으로 하는 "B"시의 D정수장에 설치된 pilot plant를 사용하여 수행되었다. Pilot plant는 Fig. 1과 같이 원수저장조, 오존접촉조, BAC접촉조, 오존처리수 체류조, 오존발생기, 오존분석기, 처리수 저장조 등으로 구성되었다.

본 실험에 사용된 원수는 실제 공정을 모사하기 위하여 정수장에서 침전 후 여과공정을 거친 사여과수를 pump로 이송하여 사용하였다. 실제 공정수를 원수로 사용함에 따라

실험 기간 중 원수에 포함된 오염물의 농도 및 성상이 일정하지 않았다. BAC는 GAC 표면에 일정기간 부착미생물을 성장시켜 사용하였다. 실험은 계절별 수온 및 원수 성상의 변화에 따른 영향을 보기 위하여 4월에 시작하여 12월까지 계속하였다.

오존접촉조와 활성탄접촉조에서의 운전조건은 표 1에 나타내었다. DOC, BDOC 및 THMs는 공정 순서에 따라 오존처리수와 BAC 처리수 각각에 대하여 TOC 분석기(미국 Sievers사 model 820)를 가지고 분석되었다.

표 1. Pilot plant 운전조건

	유입수량 (L/min)	유입공기량 (L/min)	EBCT (min)	비고
오존접촉조	60	8.4	8.05	오존농도=0.73 mg O <sub>3</sub> /L
BAC접촉조	70		15.5	활성탄층진높이=3m

## 결과 및 토론

### ① BAC 성능

DOC는 처리수에 존재할 수 있는 colloid성 부유물질을 여과막(0.45  $\mu$ m membrane filter)으로 제거한 후에 측정하였다. Fig. 2와 같이 실험기간 동안에 오존처리수에서 DOC 농도는 원수 자체에서의 변화에 기인하여 1.5 ~ 2.5 mg/L 범위에서 변화하는 값을 보였다. BAC에서 오존처리수에 존재하는 DOC 일부분이 제거되어 BAC 처리수는 0.5 ~ 1.0 mg/L 범위의 농도로 감소하였다. 겨울철로 갈수록 DOC 제거율이 저하되는 것은 활성탄 유효 흡착면적의 감소와 미생물의 활동도 저하에 기인하는 것으로 추측된다.

BDOC는 NBDOC에 비하여 미생물에 의한 생분해와 활성탄 흡착이 용이한 저분자 물질로 일반적으로 오존산화에 의해 그 농도가 증가하고, BAC에서 부착미생물과 활성탄 흡착에 의해 제거된다. Fig. 3은 오존처리수와 BAC 처리수에서 BDOC의 변화를 보여준다. BAC에서 전체 실험기간동안에 70% 이상의 우수한 BDOC 제거성능을 보였다. 흡착만으로 유기물질을 제거하는 GAC와 달리 BAC는 생분해와 흡착 두 가지 제거기구를 이용하므로 활성탄 재생주기가 GAC에 비하여 훨씬 길 수 있다. 이러한 장점을 최대한 이용하는 방법은 미생물에 의한 제거성능을 최대화 하는 것이다. 이를 위하여 BAC 유입수에서 되도록 BDOC 농도를 높여주는 것이 필요하다. 이러한 공정 지침은 BAC의 앞 공정인 오존처리공정의 공정조건 선정의 기준이 될 수 있다. GAC와 BAC 간의 선택은 재생주기, 재생비용, 초기 투자비 등을 고려한 경제성 평가를 통하여 이루어져야 할 것이다.

Fig. 4는 THMs의 농도변화를 보여준다. 오존처리수에서 농도는 평균 0.017 mg/L 였고, BAC 처리수에서는 평균 0.0075 mg/L로 감소하였으나 겨울철로 가면서 증가하는 경향을 보였다. 이러한 제거율 저하는 수온저하에 따른 부착미생물의 활성 저하와 활성탄의 유효 흡착면적의 감소에 기인하는 것으로 사료된다.

### ② 온도의 영향

표 2는 여름철과 늦가을에 측정한 부착미생물양을 보여준다. 부착미생물양은 BAC접촉조 상부에서 하부로 높이별로 측정하였다. 상부에서 하부로 내려갈수록 부착미생물의 양이 감소하는 것이 관찰되었다. 이것은 하향식 흐름으로 인하여 유입수가 부착미생물과 접촉할 때 미생물의 먹이로 작용하는 BDOC와 용존산소의 농도가 상부에서 가장 높으므로 미생물의 성장이 하부에 비해 상부에서 더 활발하기 때문인 것으로 사료된다. 이러한 결과는 Servais 등[4]의 결과와 일치한다. 또한 겨울철에는 수온이 10  $^{\circ}$ C 이하로 떨어져 미

생물의 활동도가 심하게 저하되어 부착미생물의 성장이 저하 또는 정지하게 된다. 따라서 여름철에 비해 겨울철에 부착미생물의 양이 작았다.

표 2. 활성탄 높이별 부착미생물의 양

단위 :  $\times 10^7$  CFU/ml

수온(°C)	접촉조 바닥으로부터 BAC 높이(cm)					
	25	75	125	175	225	275
26	3.4	3.2	5.6	13.4	30	67
6	0.1	0.25	0.3	0.15	2.2	4.3

역세척은 BAC 접촉조에서 운전 중에 압력손실 즉, 수두손실이 발생하여 수두가 초기운전시의 높이보다 증가할 경우 또는 일정한 주기를 정하여 실시하게 된다. 수두손실의 발생원인은 활성탄표면에 부착된 미생물이 운전 중 계속 성장하여 활성탄 입

자사이 공극(void volume)을 점차 채워나가게 되고, 이러한 공극은 고정층(fixed bed) 형태의 BAC접촉조에서 물 흐름의 경로로 사용되므로, 공극의 감소는 물 흐름의 단면적을 줄여 흐름저항을 증가시키게 된다. 또한 미량이지만 오존처리수에 포함될 수 있는 각종 부유물질이 활성탄층의 여과작용으로 상부에 퇴적되어 역시 흐름에 대한 저항으로 작용하게 된다. 이러한 현상이 발생하면 물의 원활한 흐름이 불가능하므로 역세척공정을 시행하여 흐름을 초기와 같은 상태로 만들어 주어야 한다. 역세척공정은 BAC공정의 흐름방향에 대해 역방향으로 진행한다. 이때 수두손실의 발생원인인 과잉 부착미생물과 퇴적여과층이 배출·제거된다.

고도정수처리공정의 앞 공정인 표준정수처리공정에서 대부분의 부유물질이 제거되므로 오존처리수의 탁도는 대단히 낮았다. 따라서 주된 수두손실의 원인은 부착미생물의 성장으로 판단된다.

계절별 부착미생물 성장속도의 차이에 의하여 역세척주기는 여름철과 겨울철에 현격한 차이를 보였다. 활성탄 상부 위 수두가 초기높이에서 1.3 m가 증가하는데 걸리는 시간을 역세척주기로 정하였을 때 여름철에는 8 ~ 10일의 주기를 보였고, 겨울철에는 15일 이상 최대 40일을 나타냈다. 따라서 고정된 역세척주기로 공정을 관리하는 경우 수온에 따른 역세척 주기 결정이 추천된다.

### ③ EBCT의 영향

EBCT는 DOC 제거율에 영향을 주는 BAC 접촉조의 가장 중요한 공정조건으로서 BAC 접촉조 부피가 결정되면 유입수의 유속에 의하여 결정되고, 오염물질과 BAC와의 접촉시간을 의미한다. 일반적으로 접촉시간이 길어지면 BAC가 DOC를 제거하기 위한 시간을 증가시켜 짧은 EBCT 조건에 비해 DOC 제거율이 증가하게 된다.

표 3은 실험에 적용된 EBCT 조건들과 각 EBCT에서의 DOC 함량을 보여준다. 두 번에 걸친 실험 결과 EBCT가 가장 긴 21.2 분의 경우 가장 우수한 DOC 제거능을 보였고,

표 3. EBCT별 DOC 제거능

	오존 처리수	EBCT(min)		
		12.5	15.5	21.2
DOC (mg/L)	1.67	0.43	0.44	0.22
	2.37	1.00	0.93	0.48

EBCT가 12.5 분과 15.5분에서 거의 같은 DOC 제거능을 보였다. 따라서 BAC 처리수의 DOC 함량이 규제치 이하일 경우 공정의 물생산성 측면 즉, 경제성 측면에서 EBCT가 짧은 12.5 분을 공정조건으로 채택하는 것이 타당하다.

### 참고문헌

[1] Clark, R. M. and Lykins Jr., B. W., "Granular Activated Carbon: Design, Operation

and Cost”, Lewis Publishers, Inc.(1998).

[2] 한무영, 강창호, “생물활성탄(Biological Activated Carbon, BAC)공정과 이 공정의 음용수처리에의 사용”, 대한상하수도학회지, 7(1), 77-103(1993).

[3] 권지향, 데스몬드 롤러, “알칼리도가 높은 원수의 연수화 공정에 따른 환외여과 막오염 특성”, 대한환경공학회지, 25(6), 778-785(2003).

[4] Servais, P., Billen, G., Ventresque, C., and Bablon, G. P., “Microbial Activity in GAC Filters at the Choisy-le-Roi Treatment Plant”, J. AWWA, 83, 62-68(1991).

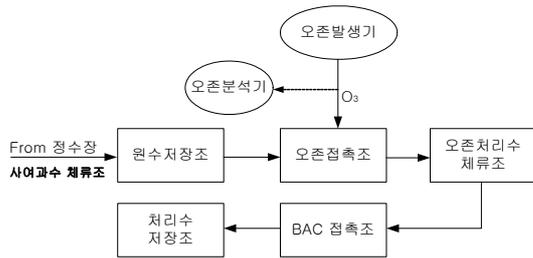


Figure 1. Process flow diagram of the pilot plant

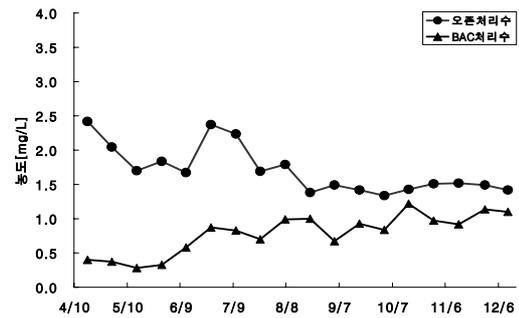


Figure 2. DOC concentration profile with Ozone and BAC treatment

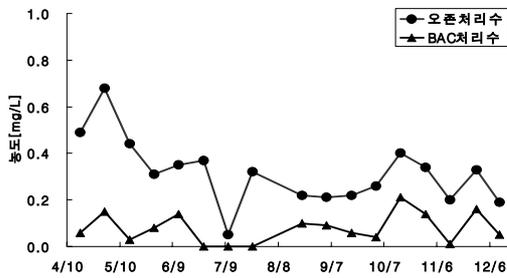


Figure 3. BDOC concentration profile with Ozone and BAC treatment

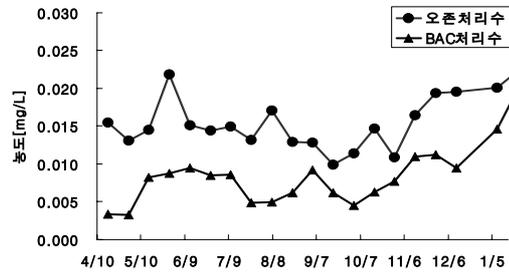


Figure 4. THMs concentration profile with Ozone and BAC treatment