

생물활성탄접촉조에서 역세척 공정

이강춘*, 윤태경, 노병일¹
 동의대학교 환경공학과, ¹동서대학교 화학공학과
 (glee001@deu.ac.kr*)

Backwashing Process in Biological Activated Carbon Filter

Gangchoon Lee*, Taekyung Yoon, Byeongil Noh¹
 Dept. of Environmental Engineering, Dongeui University,
¹Dept. of Chemical Engineering, Dongseo University
 (glee001@deu.ac.kr*)

서론

인구과밀과 급속한 산업화로 인하여 상수원수의 수질을 악화시키는 용존유기물, 특히 발암성 물질로 알려진 염소소독부산물로 트리할로메탄(THMs) 등과 같은 유기염소화합물 또는 이취미 유발물질 등은 혼화→응집→침전→여과→소독공정을 거쳐 수돗물을 생산·공급하는 표준정수처리공정으로 쉽게 제거되지 않으므로 이러한 물질들이 기준치 이상으로 존재할 경우 안전한 상수도 공급을 위하여 특별한 제거방법이 필요하다. 이렇게 표준정수처리공정으로 제거되지 않는 물질을 제거하기 위한 추가적인 정수처리공정을 고도정수처리(advanced water treatment)라 한다.

현재 국내에서 주로 사용되고 있는 고도정수처리기술은 오존-활성탄 처리공정이다. 오존처리공정은 유기물 일부를 완전산화제거, 큰 유기물을 산화시켜 미생물에 의한 생분해와 흡착이 용이한 저분자 물질로 분해, 존재할지 모르는 병원성 미생물을 살균 등의 역할을 한다. 활성탄 처리공정에는 입상활성탄(granular activated carbon, GAC)을 사용하는데 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[3,4].

BAC에서 유입수에 존재하는 각종 부유물질로 인해 활성탄층 상부에 형성된 여과 퇴적층과 활성탄층 내부에 부착미생물이 성장은 수도손실을 발생시켜 물의 원활한 흐름이 불가능하므로 역세척 공정을 시행하여 초기 운전상태를 회복시켜 주어야 한다[5].

역세척 공정은 공세와 수세를 적절하게 조합하여 수행되며, 적정 역세척 공정조건은 효과적으로 발생원인을 제거하는 적당한 세척수 유속과 세척시간의 선택이다. 본 연구에서는 적절한 역세척 운전조건의 선정을 위하여 수온이 역세척 주기에, 세척수 유속이 역세척 성능에, 그리고 역세척이 부착미생물의 양과 처리수 중 종속영양미생물(heterotrophic plate colony counts, HPC)의 수에 미치는 영향이 실험적으로 연구되었다. 이를 통하여 적정 역세척 공정조건과 역세척 주기가 도출되었다.

실 험

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

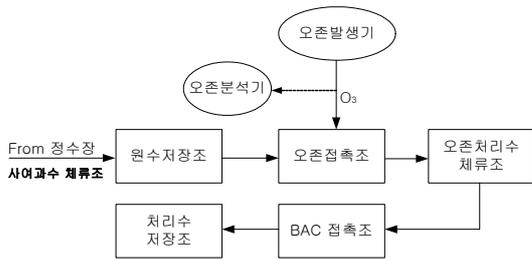


Figure 1. Process flow diagram of the pilot plant

700H 이고 유공블럭형 하부집수장치위에 대, 중, 소 자갈을 크기별로 10 cm씩 깔고 그 위에 GAC를 3 m 높이로 충전하였다.

결과 및 토론

본 연구에서는 적정 역세척 주기를 결정하기 위하여 역세척을 위한 수두높이를 정하고 이에 도달 하면 역세척 공정을 수행하였다. 이러한 실험방법은 실제 공정에서 일정한 시간간격에 규칙적으로 시행하기 위하여 계절별로 적당한 시간간격을 결정하는데 기본 자료로 활용될 수 있다.

역세척 시점이 다가오면 수두손실은 점점 커져 수두가 대단히 높은 위치로 상승하게 된다. 이는 유입된 물이 활성탄층을 통과하는데 필요한 압력이 증가하는 것과 같다. 이러한 수두손실의 발생원 인은 크게 다음 두 가지로 볼 수 있다.

- 활성탄 표면에 부착된 미생물이 운전 중 계속 성장하여 활성탄 입자 사이 공극(void volume)을 점차 채워나가 물흐름의 단면적을 줄임.
- 미량이지만 오존처리수에 포함될 수 있는 각종 부유물질이 활성탄층의 여과작용으로 상부에 퇴적 되어 역시 흐름 단면적을 줄임.

이러한 현상이 발생하면 물의 원활한 흐름이 불가능하므로 역세척 공정을 시행하여 흐름을 초기와 같은 상태로 만들어 주어야 한다.

① 역세척 공정조건

역세척공정은 공세와 수세를 겸해서 수행하고 BAC공정의 흐름방향에 대해 역방향으로 진행한다. 역세척의 목적은 수두손실의 발생원인인 과잉 부착미생물과 퇴적여과층을 배출·제거하는 것이다. 적 정 역세척 공정조건은 부착미생물의 지나친 제거와 활성탄과 모래층 및 활성탄 입자층에서 층간혼합 을 피하면서, 효과적으로 발생원인을 제거하는 적당한 유속과 운전시간을 선택하여야 한다.

Table 1. Backwashing operating condition designed for the main plant

	공세	수세		
		1단계	2단계	3단계
시간(min)	4	2	12	2
선속도(m/min)	0.83	0.25	0.45	0.25

실 plant 설계 역세조건은 table 1과 같았다. 이 조건으로 운전한 결과 BAC접촉 조의 역세공정 최고 수세유속인 162 L/min (0.45 m/min)에서 활성탄층의 부피팽창율 은 133% 였다. 육안 관찰로부터 이 유속은 활성탄입자에 대한 최소유동화속도 이상이 었다.

수세가 진행됨에 따라 배출되는 유출수 중 과잉 부착미생물에 의한 부유미생물 함 량과 유입수 탁도 유발물질에 의한 퇴적물이 시간이 지남에 따라 감소되어 거의 제거된 시점에 도달 할 것이다. 적정 역세척 운전시간의 선정은 적용된 역세척 운전조건에서 수세 유출수의 탁도가 현재 정수장 운전치점인 8.0 NTU로 이하로 떨어지는데 요구되는 시간으로 하였다.

Table 2. Effluent turbidity in designed backwashing operating condition (NTU)

채취시점	3분	6분	9분	12분	15분	18분
8월 20일	111.0	107.0	52.1	28.5	16.1	10.3

정을 의미한다. 동일한 역세척 운전조건의 2단계 수세에서 유출수 탁도가 8.0으로 감소되는 시점을 실험한 결과 table 3과 같이 19분이 소요되었다. 즉, table 1에서 설명된 역세척 운전조건의 경우 2단계 수세시간이 19분으로 수정되어야 한다.

Table 3. Time required to reach 8.0 NTU in designed backwashing operating condition

채취일시	공세 종료	1분	2분	3분	4분	5분	7분	9분	11분	13분	15분	17분	19분	21분	23분
1월 8일	149	168	160	157	142	87	52	40	30	22	21	20	13	8	8

역세척 공정 시 수세(세척수) 유속에 대한 영향은 fig. 2과 같다. 실험은 설계 역세척 운전조건과 2단계 수세유속이 증가된 두 가지 운전조건에서 실시되었다. 실험조건은 table 4와 같다.

Table 4. Experimental condition for the effect of backwashing water flow rate(m/min)

	공세	1단계 수세	2단계 수세	3단계 수세	비고
조건1	0.83	0.25	0.45	0.25	설계역세척공정
조건2	0.83	0.25	0.85	0.25	

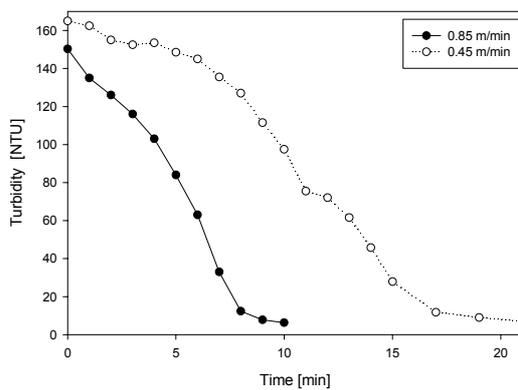


Figure 2. Effect of backwashing water flow rate on effluent turbidity

Table 2는 설계 조건으로 역세척 공정을 시행하여 유출수의 탁도를 측정 한 것이다. 예상되는 바와 같이 공세와 수세가 끝나는 18분에 최소값을 보였지만, 8.0 NTU에 도달하지는 못했다. 이는 설계운전조건의 조

그림에서 정수장 운전기준인 8 NTU 이하의 세척수 탁도를 얻는데 걸리는 시간은 2단계 수세 조건 기준으로 조건 1의 경우 19분, 조건 2의 경우 9분이 소요되었다. 수세유속의 증가는 세척수 탁도의 급격한 감소를 나타냈다. 2단계 수세에 소비된

세척수량을 비교하면 조건 1에서 604 L, 조건 2에서 540 L로 수세속도를 증가시키면 10% 정도의 세척수량을 절약할 수 있다. 실 plant 운전 시 이에 대한 고려가 필요하다.

② 역세척 주기

오존처리수에서의 탁도는 1.0 ~ 1.5 NTU로 일정한 값을 계속 유지하였다. 즉, 탁도에 의한 특별한 수두증가율 변화는 관찰하기 힘들었다.

계절별 영향을 반영하고, 역세척 후 80 cm 수두증가에 도달하면 역세척 시점으로 운전하여 역세척 주기를 결정한 결과 수온이 15℃ 이상에서는 7일, 이하에서는 10일이 적절하였다.

③ 역세척 전·후 부착미생물의 변화

역세척에 의해 활성탄 입자간 공극을 채우고 있던 과잉 부착미생물이 제거되면 역세척 전·후의 부착미생물의 양에 상당한 차이가 예상된다. 즉, 역세척 직후로부터 부착미생물의 양은 점진적으로 증가하기 시작하여 역세척 필요 시점이 되면 최고값을 나타낼 것으로 예상된다.

Table 5는 역세척 공정에서 부착미생물의 차이를 관찰하기 위하여 역세척 전과 후에 시료를 채취하여 비교한 결과이다. 역세척 전에 비하여 역세척 이후에 부착미생물의 양은 약 1/10 이하로 감소함을 보여준다.

Table 5. Change of the amount of biomass before and after backwashing

채취시점	단위	4단 (175cm)	5단 (225cm)	6단 (275cm)	역세척
8월 20일	$\times 10^7$ [CFU/ml]	1.0	6.0	21	전
		0.2	0.2	2.0	후

④ 역세척 전·후 HPC의 변화

부착미생물의 양은 table 5와 같이 역세척 전·후에 상당한 차이를 보였다. 하향식 흐름에서 HPC의 발생원인은 주로 부착미생물의 누출에 기인한다. 따라서 HPC 분석 시점에서 부착미생물의 양이 결과값에 영향을 미칠 수 있다.

Table 6은 역세척 전·후에 HPC 함량 변화를 나타낸다. 언급한 바와 같이 역세척 전에 과잉 부착미생물로 인하여 누출되는 부착미생물이 역세척 후에 비하여 증가하므로 HPC 양이 증가하였다. 측정 시점에서 역세척 전에 비해 역세척 후에 80% 감소하였다.

Table 6. Change of the amount of HPC before and after the backwashing

측정시점	단위	역세척 전	역세척 후
8월 20일	$\times 10^4$ [CFU/ml]	1.5	0.3

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] 서연태, 정동환, 임성균, 박규홍, "막분리를 이용한 정수처리공정의 생산원가에 관한 고찰, 한국물환경학회지", 17(3), 283-297(2001).
- [4] 이성우, 이현동, 한명호, 곽동희, 김충한, 고도상수처리 -원리 및 응용-, 동화기술(2003).
- [5] 문철훈, 이운진, 고영송, 남상호, "생물활성탄 및 사여재를 이용한 여과공정에서의 역세척에 관한 연구", 대한환경공학학회지, 25(2), 227-233(2003).