

Pilot Scale 생물활성탄 여과공정을 이용한 상수의 고도처리

이윤진 · 문철훈* · 김재우** · 남상호

건국대학교 환경공학과

(주) 해동정수*

경원전문대학 환경공업과**

Advanced water treatment in pilot scale BAC-sand filter

Yoon-Jin Lee · Cheol-Hun Moon* · Jae-Woo Kim** · Sang-Ho Nam

Department of Environmental Engineering, Konkuk University

*Haedong Water Treatment Co., Ltd.**

*Department of Environmental Engineering, Kyungwon College***

Abstract

This study was carried out to examine the characteristics of dual media filter with BAC and sand on a pilot scale which was installed in T Water Treatment Plant of Seoul. The conclusions drawn from experimental results are as follows :

For the BAC-Sand filter, the preceded gravity sand filter did not largely affect the removal of organics and turbidity causing matters, but the frequency of backwashing was explicitly reduced to two times with the stable growth of microorganisms. The biomass on media in case of existence of preceded sand filter was 1.4 times higher than that of nonexistence.

In case of backwashing with water, the time needed to comply with below 10NTU took 22, 10, and 5 minutes respectively with the expansion ratio of 1.2, 1.5 and 1.8. The higher the expansion ratio was, the shorter the backwashing time was.

Key words : BAC-Sand Filter, Backwashing, Dual Media, Biomass

I. 서론

국내에서는 상수원의 92%이상을 지표수로 이용하고 있는데, 지표수의 경우 하수 및 산업폐수의 유입 등으로 인해 오염에 직접적으로 노출되어 있다¹⁾. 기존 표준정수처리공정들은 제거대상이 주로 입자상 물질의 제거이므로 암모니아성 질소, 질산성 질소, 유해 중금속 등 무기물질과 합성세제, 약

취유발물질, 농약류, 부식된 유기물질 등 미량의 용존성 물질들을 효과적으로 제거하기에 한계가 있다²⁾. 이러한 수중의 오염물들을 효과적이고 경제적으로 제거하기 위해 제안된 공정이 생물활성탄 공정(Biological Activated Carbon)이다³⁾.

생물활성탄공정은 생물학적 분해와 흡착 반응이 병행되는 공정으로 입상활성탄(Granular Activated Carbon)을 미생물막이 성장할 수 있는 매질로 이

용하여 수중의 용존유기물질을 흡착작용에 의해 제거하고 생물학적으로 분해 가능한 유기물은 미생물 작용에 의해 분해시킨다⁴⁾. 또한 생물활성탄공정은 미생물의 성장에 적합한 조건으로 유지시킬 때 활성탄 공정의 수명을 4~10배까지 연장시킬 수 있어 경제적으로도 유리하다⁵⁾. Voice 등은 BAC가 benzene, toluene, xylene의 처리시 모래를 매질로 사용한 생물학적 유동상보다 충격부하에 강하다고 보고하였다⁶⁾.

생물활성탄공정에서 역세척의 목적은 여재층의 축적된 현탁 물질에 대한 저항을 감소시키는 것이다⁷⁾. 세정효과를 높이기 위해 지나치게 높은 강도로 역세척을 하거나 빈번한 역세빈도 및 장시간 역세척을 하는 것은 BAC에 부착된 미생물을 탈리시키게 할 우려가 있다⁸⁻¹⁰⁾. 탈리된 미생물이 다시 부착하여 성장하는데 걸리는 시간은 3~4개월 정도의 긴 시간이 소요되므로 BAC에 부착되어진 미생물이 역세척시 탈리되는 것을 최소화하도록 유의하여야 한다¹¹⁾.

생물활성탄여과공정은 생물활성탄과 모래의 이중여재를 이용하여 dual media system을 구성함으로써 상기 제시한 BAC의 기능 뿐 아니라 하층에 모래여재를 이용한 GAC 지지기능과 더불어 BAC 층에서 수리화학적 전단력에 의해 탈리된 미생물을 억류하는 기능을 담당하게 하여 공정의 효율을 증가시킬 수 있다.

본 연구는 서울시 T 정수장에 설치된 pilot 규모의 BAC-Sand filter를 대상으로 전단의 여과공정의 유무에 따른 손실수두 및 수질에 미치는 영향을 고찰하고 효과적인 역세척 방법 및 영향 인자를 도출하기 위해 수행되었다. 생물활성탄여과공정의 역세척 주기를 산정하고 부착된 미생물의 거동에 대해 고찰해 보았다.

II. 실험장치 및 방법

1. 실험장치

본 연구의 실험장치는 서울시에 수도물을 공급하는 T 정수장에 설치된 pilot plant로 정수장내의 응집, 침전 공정을 거친 시료가 반응기에 유입되게 설계하였다. Fig. 1에 실험장치의 개략도를 나타내

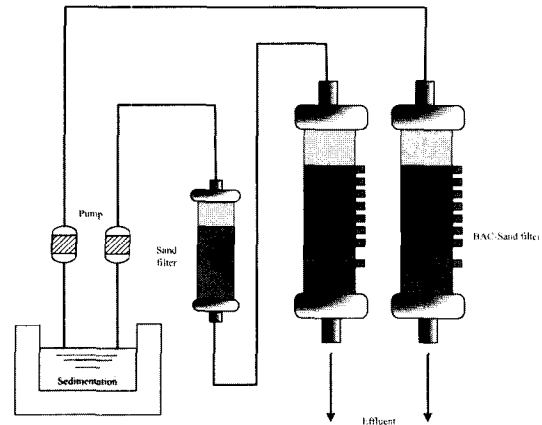


Fig. 1. Pilot plant schematic diagram in T-water treatment plant.

었으며 Table 1에 반응기의 운전조건을 제시하였다. 반응장치는 여과지와 BAC-Sand filter로 구성되어 있으며, 층 내부에 손실수두 및 시료채취용 port가 표면으로부터 0.4, 0.7, 0.9, 1.2, 1.4, 1.7, 1.9, 2.2 m 지점에 설치되어 있다.

2. 분석방법

본 실험에 이용된 서울시 T정수장 침전 유출수의 실험기간중 수질은 Table 2와 같다. 시료의 분석은 항목별로 Standard methods와 수질오염공정시험법에 의거하여 수행하였으며 총 3회 측정값의 평균값을 제시하였다¹²⁾.

DOC(Dissolved Organic Carbon)분석을 위한 실험기구는 황산원액에 24시간동안 방치한후 증류수로 수회 세척하였고, 550°C에서 1시간 이상 열처리

Table 1. Design parameters for BAC-Sand filter

Item	Conditions
Diameter (m)	0.05
Height (m)	3.5
AC bed height (m)	1.5
Sand layer (m)	0.5
Q(m ³ /d)	0.36
LV (m/h)	7.64
EBCT ¹ (min)	11.78

¹ EBCT : Empty Bed Contact Time

하여 유기탄소를 완전히 제거한 후 사용하였다. 시료를 0.45 μm pore size의 PVDF(Polyvinylidene Fluoride)로 여과한 후 combustion/non-dispersive detection 방식인 TOC-analyzer (TOC 5000, Shimadzu)로 측정하였다.

UV₂₅₄는 시료를 0.45 μm PVDF로 여과한 후 10 mm cell로 UV-Visible Spectrophotometer(UV-1601, Shimadzu)를 이용하여 파장 254 nm에서 측정하였다. 탁도는 Turbidimeter(Model 2100A, HACH)를 이용하여 분석하였다. 인지질 분석법은 Findlay 등(1989)의 방법을 이용하여 추출한 후 UV-Visible Spectrophotometer를 이용하여 610 nm에서 흡광도를 측정하였다¹³⁾.

III. 결과 및 고찰

1. 전단 여과공정의 유무에 따른

생물활성탄여과공정의 효율평가

Fig. 2는 전단여과공정의 유무에 따른 시간별 손실수두의 변화를 도시하였다. 전단 여과공정이 없는 BAC-Sand filter에서는 운전 144 hr이내에 손실수두가 130 cm이상 도달하였으나, 전단 여과공정이 있는 조건에서는 운전 288 hr에서도 손실수두가 120 cm미만이였다.

전단 여과공정을 통과한 조건은 운전초기에는 손실수두의 변화가 비교적 완만하였고, 운전 150 hr이후에는 급격한 손실수두의 증가를 보였다. 반면, 전단의 여과공정이 없었던 조건에서는 운전 초기부터 손실수두가 현저하게 증가하였다. 역세빈도 면에서도 전단 여과지가 존재하는 경우가 그렇지

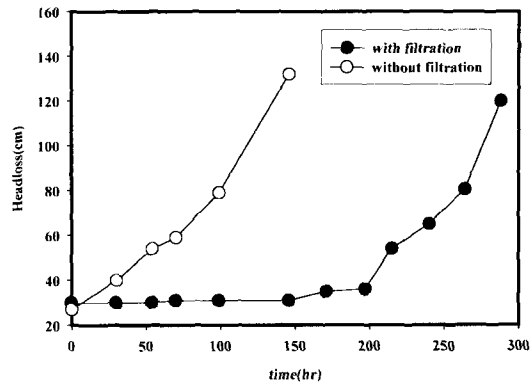


Fig. 2. Variation of headloss for each reactor during operation time.

않은 경우에 비해 역세주기가 약 2배 연장되었다.

Fig. 3에서 BAC-Sand filter의 운전기간 중 용존유기물의 제거율을 제시하였다. 용존 유기물은 전단의 여과지가 있는 조건과 없는 조건에서 각각 13~36%, 20~48% 제거되었다. 용존 유기물의 제거율은 전단 여과지가 있는 조건에서 더 낮았는데, 이같은 결과는 모래여과지에 의해 이미 용존 유기물의 제거가 이루어지기 때문에 운전초기에 반응기내 미생물의 활동이 일부 제한된 것으로 생각된다. 그러나, 운전 170 hr 이후에서는 전단의 여과지가 있는 조건에서 용존 유기물의 제거효율이 향상되었으며 매우 안정적인 제거가 이루어졌다.

동일한 조건에서 UV₂₅₄ 유기물에 대한 제거율을 Fig. 4에 도시하였다. 두 조건에서 UV₂₅₄의 제거율은 큰 차이가 없었는데 이같은 결과는 모래 여과

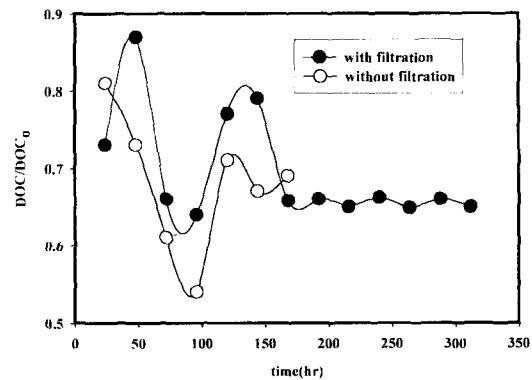


Fig. 3. Variation of DOC/DOC₀ during operation time.

Table 2. Characteristics of the water samples

Parameter	Range	Average
Temperature(°C)	11.0~28.3	22.9
Turbidity(NTU)	0.2~2.6	1.3
pH	6.6~7.2	7
Alkalinity(mg/L)	16.4~56.2	35.9
Hardness(mg/L)	35.0~77.0	60.2
UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.01~0.03	0.02
DOC(mg/L)	1.1~4.2	2.2

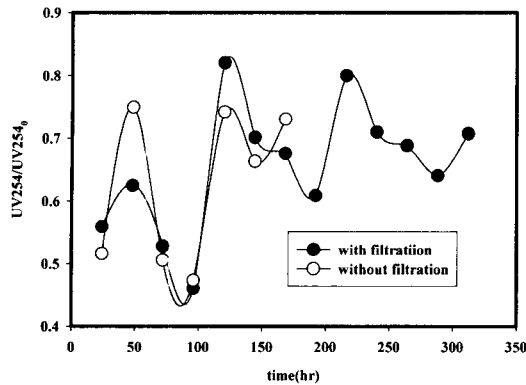


Fig. 4. Variation of UV254/UV254₀ during operation time.

지에 의해 방향족 및 불포화지방족 유기물을 충분히 제거하지 못함을 나타낸다. 전단 여과지의 유무의 조건에서 UV₂₅₄는 각각 13~49%, 25~52% 제거되었다. UV₂₅₄ 유기물이 난분해성 물질임에도 불구하고, 생물활성탄여과공정에 의해 상당량 제거되었다.

Fig. 5에서와 같이 탁도의 제거율은 전단 여과지의 있는 조건과 없는 조건이 각각 47~86%와 43~81%로 두 조건에서 큰 차이를 나타내지 않았다. 전단 여과지가 있는 조건에서 탁도물질에 대한 제거 효율은 운전 170 hr이후에 큰폭으로 감소하였다.

두 조건에서 BAC-Sand filter를 운전한 후 역세척을 실시하였을 때 배출되는 탁도는 Fig. 6과 같다. 전단 여과지가 있는 조건 및 없는 조건에서 탁

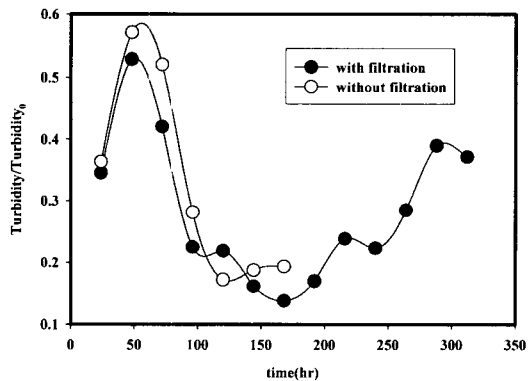


Fig. 5. Variation of turbidity/turbidity₀ during operation time.

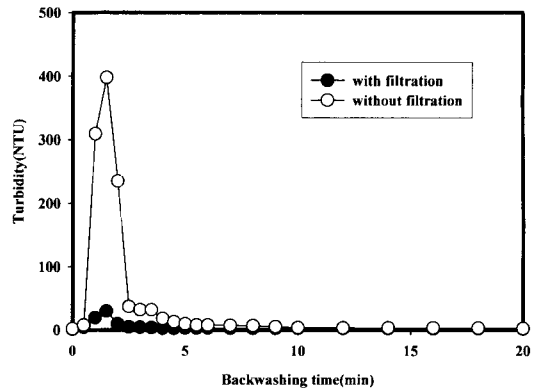


Fig. 6. Variation of turbidity during backwashing.

도물질은 모두 5 min이내에 배출되었고, 탁도가 최대점에 도달하는 역세척 시간은 각각 1, 1.5 min이었다. 최대 배출탁도는 각각 174, 397 NTU로 전단의 여과지가 없는 BAC-Sand filter에서 배출 탁도가 여과지가 있는 조건보다 8.9배 더 높았다.

2. 여재에 부착된 미생물의 농도

Fig. 2에서 산정된 전단여과지 유무의 조건에서 생물활성탄여과공정의 역세척주기인 288, 144 hr에서 여재깊이에 따른 인지질의 농도를 Fig. 7에 제시하였다. 모래여과지를 통과한 BAC-Sand filter는 0.9 m까지 미생물의 양이 점차 감소하였으나 그 이후의 깊이에서는 거의 일정한 분포를 보였다. 전단의 모래 여과지가 없는 BAC-Sand Filter에서도 전단 여과지가 있는 조건과 동일하게 여재층의 하단으로 갈수록 미생물이 감소하여 1.9 m이상의

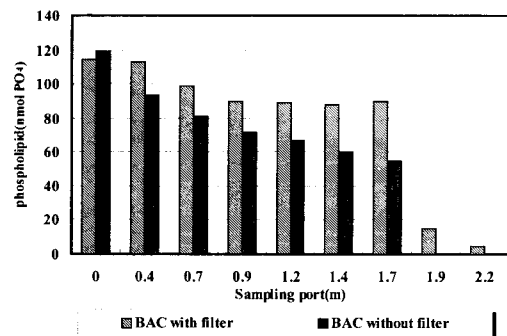


Fig. 7. Phospholipid concentration at sampling ports in each reactor.

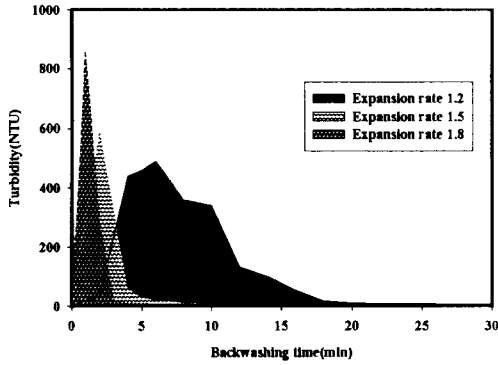


Fig. 8. Turbidity in washed water on the expansion rate of backwashing.

모래층에서는 미생물이 전혀 검출되지 않았다. 본 실험에서 측정된 인지질의 농도를 이용하여 Findlay 등¹³⁾의 방법에 따라 부착된 미생물의 양을 산정해 본 결과 전단여과지의 유무의 조건에서 각각 5624, 4156 mg으로 전자의 조건이 후자에 비해 1.35배 높았다.

3. 역세척 방법에 대한 고찰

본 실험은 생물활성탄 여과공정의 기능을 재생하기 위한 효율적 역세척 방법 고찰을 위해 수행되었으며 일반적으로 많이 이용되는 물을 이용하는 세척방법의 적용시 팽창비에 따른 역세효율 및 역세척 후 각 여재깊이별 미생물의 분포를 고찰하였다. Fig. 8에서 역세척시 팽창비에 따른 배출탁도를 제시하였다. 물에 의한 역세척시 팽창비 1.2,

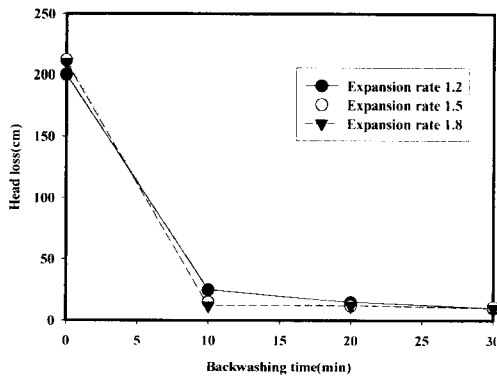


Fig. 9. Headloss on expansion rate.

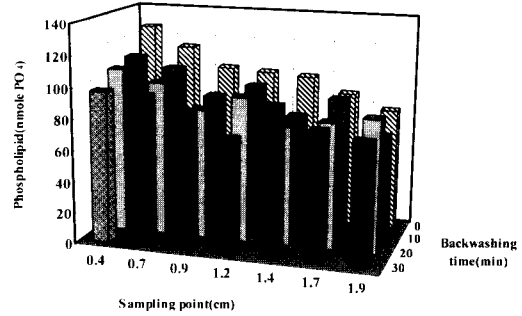


Fig. 10. Phospholipid on backwashing time at expansion rate 1.5.

1.5, 1.8일 때 최대배출탁도는 각각 489, 590, 857 NTU이었고 최대탁도가 배출되는 시간대는 각각 6, 2, 1 min이었다.

상수도시설기준에 의하면 역세척시 배출탁도가 10 NTU이하가 되도록 하고 있다. 최대배출탁도가 10 NTU가 되는 역세시간은 팽창비 1.2, 1.5, 1.8일 때 각각 22, 10, 5 min으로 팽창비가 커질수록 탁도는 짧은 시간에 배출되었다.

Fig. 9에서 팽창비에 따른 손실수두를 도시하였다. 초기에 200 cm이었던 손실수두는 팽창비에 관계없이 10 min 이내에 손실수두 0에 도달하였다. Ahmad 등은 역세초기에는 탁도물질이 배출되지만 이어 미생물의 탈리가 이루어 질 수 있으므로 역세시간이 짧을수록 미생물의 탈리를 줄일 수 있다고 보고한 바 있다⁹⁾.

Fig. 10에서 역세척시 팽창비가 1.5일 때 여재깊이별 미생물의 분포를 제시하였다. 역세척 시간이 경과함에 따라 미생물은 소폭 감소하였다. 여재깊이별로는 BAC Sand filter의 상부에서 하부로 갈수록 미생물의 양이 점차 감소하였다. 그러나 역세척 후 반응시간이 점차 경과함에 따라 여재 깊이에 따라 미생물의 양은 큰 차이를 보이지 않았고 각 층간의 미생물의 분포가 비교적 일정하였다.

IV. 결 론

본 연구는 서울시 T정수장에 설치된 pilot 규모의 BAC Sand filter를 대상으로 전단여과공정의 유무가 후속공정인 복상의 손실수두 및 수질에 미치는 영향을 고찰하고 Dual media system을 보다

효과적으로 재생시킬 수 있는 역세척 방법을 도출하기 위해 수행되었다. 연구결과로부터 도출한 결론은 다음과 같다.

1. BAC-sand filter 전단에 중력식 모래여과 공정이 있는 경우 유기물 및 탁도 제거효율이 큰 차이를 보이지 않았으나 유기물 부하에 대한 완충효과로 미생물의 성장이 비교적 안정적으로 이루어져 역세빈도가 약 2배 줄었다.
2. BAC-sand filter에 부착된 미생물의 분포를 고찰한 결과, 전단여과지가 없는 경우 미생물이 상층에 주로 분포하였고 전단여과지가 있는 경우 저층의 모래층까지 미생물이 서식하였다. 여재의 부착된 미생물은 여과지의 유무에 조건에서 각각 5624, 4156 mg으로 전자의 조건에서 1.4배 높았다.
3. 물을 이용한 역세척시 여재의 팽창비가 1.2, 1.5, 1.8일 때 국내 상수도 시설기준의 역세척 배출탁도인 10 NTU이하가 되는 시간은 각각 22, 10, 5 min으로 팽창비가 높을수록 짧은 시간내에 탁도가 배출되었다.

참 고 문 헌

1. 김동윤, 황덕홍, 이정규 : 낙동강에서의 고도상수처리에 관한 연구, 대한환경공학회지, 16(2), 239-246, 1994.
2. 우달식, 남상호 : 생물활성탄 유동상을 이용한 상수원수의 암모니아성 질소제거, 대한환경공학회지, 20(6), 779-789, 1998.
3. Krasner, S. W., Scilimenti, M. J. and Coffey, B. M. : Testing biologically active filters for removing aldehydes formed during ozonation, J. AWWA, 85(5), 62-66, 1993.
4. Heath, M. S., Wirtel, S. A. and Rittman, B. E. : Simplified design of biofilm processes using normalized loading curves, J. WPCF, 62, 185-190, 1990.
5. 고영송 : Dual media BAC process for DOC removal and DBPs control, 건국대학교 박사 학위 논문, 2000.
6. Voice, T. C., Pak, D. W., Xianda., J. S. and Hickey, R. F. : Biological activated carbon in fluidized bed reactors for the treatment of groundwater contaminated with volatile aromatic hydrocarborm, Wat. Res., 26, 1389-1401, 1992.
7. Nancy A. M. and Amirtharajah, M. : Opimization of the filter backwashing process as determined by collapse-pulsing, Proceeding of the AWWA Annual Conference, 18-22, 1992.
8. 박영숙, 신용배 : 모래의 유효경이 여과와 역세척에 미치는 영향, 대한환경공학회지, 17(8), 787-798, 1995.
9. 최승일, 이형숙 : 역세척 방법에 따른 세척효과의 비교, 대한환경공학회지, 18(12), 1521-1534, 1996.
10. Regan, M. M. and Amirtharajah, A. : Optimization of particle detachment by collapse-pulsing during air scour, Proceeding of the 1984 AWWA Annual Conference, 769-770, 1984.
11. Amirtharajah, A. : Fundamentals and theory of air scour. Jour. Eng.-ASCE, 110, 573-590, 1984.
12. APHA, AWWA and WEF. : Standard methods for the examination of water and wastewater, 1995.
13. Findlay, R. H., King, G. M. and Watling, L. : Efficacy of phospholipid analysis in determining microbial biomass in sediments, Jour. of Applied Environ. Microbiol., 55(11), 2888-2889, 1989.