

휴믹물질 제거를 위한 완속여과공정에서의 GAC 도입

Removal of Humic Substances on Slow Sand Filtration Amended by GAC

안우정^{1,*} · 남상호²

Ahn, Woo-Jung^{1,*} · Nam, Sang-Ho²

1 (주)드림바이오스

2 건국대학교

(2004년 1월 15일 논문 접수; 2005년 4월 4일 최종 수정논문 채택)

Abstract

Slow sand filtration processes amended with 5 and 10cm GAC layers at top was compared to same process at bottom in a pilot study for humic substances removal. In case of 5cm GAC layer, the process amended at bottom was superior to the process at top in DOC and UV254nm removal and same trends were observed in case of 10cm GAC layer. Head loss developments of the process GAC at bottom were higher than the process GAC at top so that maintenance of the process GAC at top is easier than the process GAC at bottom.

Key words: Slow sand filtration, Granular activated carbon(GAC), Dissolved organic carbon(DOC)

주제어: 완속여과, 입상활성탄, 유기성용존물질

1. 서 론

1980년대 미국에서 완속여과에 대한 연구가 재개된 이래 많은 완속여과의 변법들이 소개되었으며 연구되어졌다. 완속여과공정은 상대적으로 건설비가 저렴하고 운전이 간단하여 소규모 정수처리시설에 많이 적용되며 국내에서도 200개소 이상의 완속여과지가 운영중이다(안, 2002). 완속여과공정에서는 주로 박테리아와 탁도제거율은 높으나 용존성 유기물의 제거율은 낮다. 이에 최근 들어 완속여과의 변법을 이용

하여 소독부산물물 전구물질인 휴믹물질등의 용존성 유기물의 제거에 대한 연구가 이루어지고 있다.

용존된 풀빅산과 휴믹산은 색도가 없는 담수에서도 3~6mg/L의 DOC중 40% 정도가 함유되어 있는 것으로 보고된 바 있으며(Malcolm et al, 1976; Leenheer et al, 1979) 색도가 높은 경우 그 비율은 더 높은 것으로 알려져 있다. 일반적인 풀빅산과 휴믹산의 비율은 4: 1정도이다.

최근 DBP의 전구물질로 NOM(Natural Organic Matter)의 존재는 지하수와 지표수에서 주목을 받고 있는데 정수처리공정에서 NOM의 제거는 화학적처

*Corresponding author Tel: +82-2-3141-4083, FAX: +82-2-3141-4085, E-mail: wjahn2002@empal.com

리공정에서 이루어지며 일반적인 정수처리공정에서 50%정도이다.

휴믹물질은 상대적으로 생분해가 어려우며 pH 중성에서 용존성이므로 완속여과에서는 제거되기 어렵다. 일반적인 완속여과공정에서 휴믹물질의 제거율은 30%이하로 알려져 있다.

NOM제거를 위한 완속여과의 대표적인 변법으로는 전오존과 GAC의 도입을 들 수 있는데 GAC (Granular Activated Carbon)는 NOM의 제거에 효과적이며 USEPA에서도 NOM의 제거에 가장 적절한 기술(BAT, Best Available Technology)로 선정한 바 있다.

본 연구에서는 완속여과공정에서 휴믹물질의 제거를 증진하고자 GAC를 적용시킨 완속여과공정에서의 적용방법과 운전조건별 처리거동을 살펴보고자 하였다.

본 연구에서 제시된 운전결과는 GAC의 특성과 운전경과기간에 따라 달라질 것이나 향후 NOM제거를 위한 GAC도입의 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 실험방법

2.1. 휴믹산 제조

자연계에서 용존유기물질의 추출은 매우 시간이 걸리고 어려운 작업이므로 Dempsey가 제안한 방법(Dempsey et al., 1994)에 따라 휴믹물질을 제조하였다. 수계에서 휴믹물질의 제거는 입자크기, 용존성, 콜로이드입자의 안정성등의 여러 요인에 의해 그 정도가 좌우된다. 그러므로 이런 항목들은 공정을 평가하는 척도가 된다.

제조방법은 Aldrich사의 Humic Acid 1,000mg/L를 0.45mm 멤브레인 여과지로 걸러 침전된 SS를 제거한 후, 0.01N NaOH를 가하여 97°C에서 5일간 분해시켰다. 5일후 용액의 DOC 농도는 650~700mg/L 범위를 나타내었다.

2.2. 분석방법

분석항목은 DOC, UV254, pH를 측정하였다. DOC는 Shimadzu TOC-5000을 사용하여 측정하였

Table 1. Specification for GAC

Items	Values
Raw material	Lignite
Apparent density(g/L)	240~300
Specific area(m ² /g)	1200
Total pore volume(cm ³ /g)	1.02
Average pore diameter(A)	100
Moisture(%)	7
Ash content(%)	5
I ₂ value	900
Effective Size	0.8~1.0
Uniformity Coefficient	2.1

Table 2. Specification for Column

Item	Sand	GAC	Remark
R-1	65cm	5cm	On top
R-2	60cm	10cm	On top
R-3	65cm	5cm	At bottom
R-4	60cm	10cm	At bottom

Table 3. Characteristics of raw waters

Items	Average	STD Dev.
pH	7.67	0.43
Temperature(°C)	16.1	1.2
Turbidity(ntu)	1.28	0.24
DOC(mg/L)	2.87	0.63
UV254nm	0.151	0.027
Alkalinity(mg/LCaCO ₃)	40.4	4.5

으며 모든 시료는 미생물성장을 막기 위해 pH 3이하로 보관하였다.

모래여과지

Lab-scale 아크릴컬럼을 사용하여 여과실험을 하였으며 저장조에서 컬럼으로 유입수를 조건에 따라 일정량을 하향으로 유입시켰다. 컬럼의 높이는 200cm이며 내경은 5cm였다. 사용된 GAC의 성상은 Table 1과 같다.

여과지는 R-1, R-2, R-3, R-4 네가지 조건에 대해서 실험을 하였으며 재원은 Table 2에 나타내었다. 모래의 유효입경은 0.4였으며 균등계수는 1.7이었다.

완속여과의 경우 일반적으로 여과사의 깊이는

80~90cm이나 완속여과법이 표면여과이며 운전중 삭토가 여러 번 이루어지는 것을 감안하여 전체 여과사의 깊이는 70cm로 정하였다.

여과속도는 5m/d로 조절하였고 유입수의 성상은 Table 3에 나타내었다.

3. 결과 및 토론

3.1. GAC 위치에 따른 DOC 제거

GAC EBCT 14.4분에서 각 컬럼에서 DOC의 제거율은 R-1 63%, R-2 78%, R-3 72%, R-4 80%를 나타내었다. GAC EBCT 14.4분에서 DOC의 제거율은 63~72%로 나타났으며 GAC EBCT 28.8분에서의 제거율은 78~80%의 제거율을 보였으며 GAC가 상부에 위치한 경우 하부에 위치한 경우보다 제거율이 다소 낮아지는 것으로 나타났다. EBCT 28.8분에서는 GAC의 위치에 관계없이 비슷한 제거율을 보였으나 EBCT 14.4분에서는 제거율이 차이가 커지는 결과를 보였는데 이에 대해서는 세부적인 실험이 필요한 것으로 판단된다. 또한 본 실험에서 Wall effect는 고려되지 않았으므로 이에 대한 분석이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

Page(1996)는 일반적인 완속여과지에서의 DOC 제거율은 가을과 겨울에 6~14%를 나타내며 UV254와 THMFp, 색도의 제거율도 같은 추이를 나타낸다고 보고하였다. Collins 등(1989)은 일반적인 완속여과지에서 전구물질의 제거율이 15~25% 이하라고 보고하였다.

Page(1996)의 실험에서 75mm와 150mm의 GAC를 도입한 완속여과지에서는 각각 평균 85%와 92%의 제거율을 나타내어 GAC의 도입이 DOC의 증진에 매우 효과적임을 보였다.

Fig. 1과 Fig. 2에서는 여과지 깊이에 따른 제거농도를 나타내었다. R-2의 경우 GAC층 아래에서는 DOC의 제거율이 3%만 증진되었으며 R-4에서는 20cm에서 9%, 40cm에서 17%, 60cm에서 58%의 DOC 제거율을 나타내어 모래여과지에서 여과깊이에 따라 DOC가 일정량 제거됨을 보여주었다. R-4 600cm에서 DOC제거율이 높게 나온 것은 시료채취 포트의 위치상 GAC를 통과중인 물이 유입되어 오차가 발생된 것으로 판단된다.

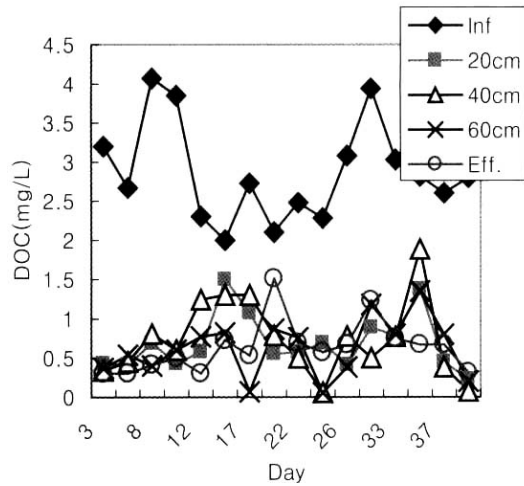


Fig. 1. DOC Concentration by Depth in R-2.

R-2에서 모래여과지에서의 DOC제거율이 상대적으로 낮은 것은 모래층에서 제거될 수 있는 DOC가 GAC에서 상대적으로 많이 제거된 것으로 판단된다.

Fig. 3은 각 반응기의 제거율의 분포를 나타낸 것으로 GAC의 EBCT에 따라 높은 제거율이 많이 분포되었으며 GAC가 하부에 삽입된 경우 다소 DOC제거율이 높은 것을 보여준다.

Table 4는 R-2와 R-4에서 깊이에 따른 UV254 제거율을 나타내었다. R-2의 경우 20cm에서 58%의 UV254가 제거되었으며 40cm에서 61%, 60cm에서 70%의 제거율을 보였다. R-2에서 모래여과지에서서만

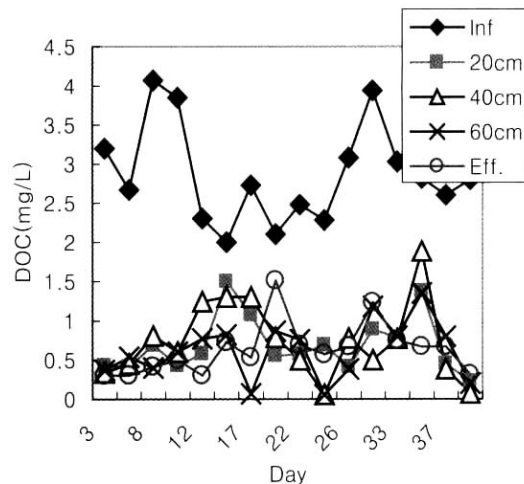


Fig. 2. DOC Concentration by Depth in R-4.

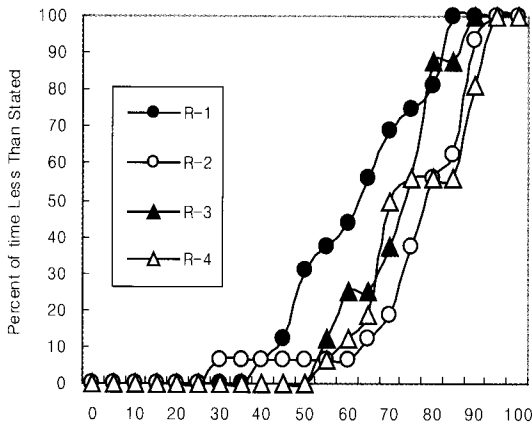


Fig. 3. Frequency Distribution of DOC Removal Efficiency in Effluent.

Table 4. UV254 Removal Efficiency by Filtration Depth(%)

	20cm	40cm	60cm	Eff.
R-2	58	61	70	70
R-4	12	16	56	76

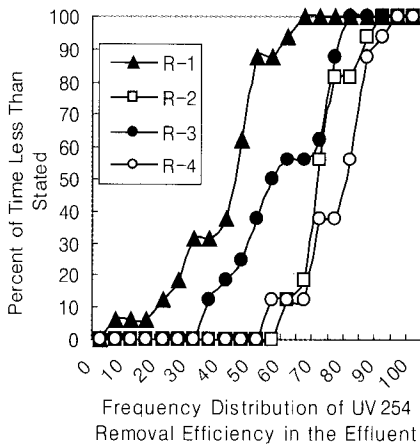


Fig. 4. Frequency Distribution of UV254 Removal Efficiency.

12%의 UV254 제거율을 나타내었으며 R-4의 경우 20cm에서 12%, 40cm에서 16%, 60cm에서 56%로, 60cm의 제거율은 GAC를 통과한 물이 일부 채취된 것으로 판단되었으며 따라서 모래여과지에서 16%이상의 UV254가 제거되는 것으로 판단되었다.

Fig. 4는 UV254의 제거분포도를 나타내었으며 DOC의 제거율 결과와 유사한 추이를 보였다. 완속

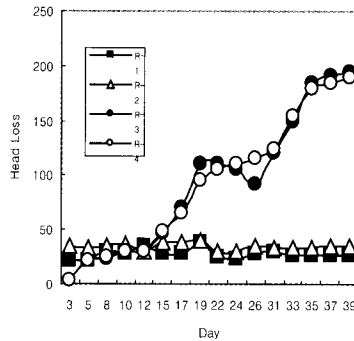


Fig. 5. Head Loss Development versus Time.

여과지에서 GAC의 도입은 하부에 도입하는 것이 더 높은 제거율을 얻을 수 있는 것으로 판단되었다. 그러나 이의 적용에 있어서 손실수두, 유지관리의 용이성 등 운전조건에 따른 고려가 수반되어야 한다. Fig. 5에서 나타난 바와 같이 GAC가 상부에 있는 경우 손실수두의 증가가 상대적으로 현저하게 낮았으나 GAC가 하부에 삽입된 경우는 일반 여과지와 유사한 추이를 나타냈다. Daniel(1987)은 Clinoptilolite를 도입한 완속여과지에서 일반 여과지보다 1.5배 더 오래 운전되었으며 4배의 여과수를 생산하였다고 보고하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 완속여과지에서의 GAC 도입하여 운전조건별 DOC와 UV254의 제거율을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 여과속도 5m/d에서 DOC의 제거율은 EBCT 14.4분에서 63~72%, 28.8분에서 78~80%로 나타났으며 GAC를 하부에 삽입하였을 때 더 높은 제거율을 보였다.

2. 모래여과지에서의 DOC 제거율은 3~17%범위에서 나타났으며 GAC층을 통과한 후의 제거율은 극히 낮은 것으로 나타났다.

3. UV254의 경우 이 70~76%의 제거율을 보였으며 이중 모래여과지에서의 제거율은 12~16%로 나타났다.

4. 용존물질의 제거효율로 볼 때 완속여과지에서 GAC의 도입은 하부에 삽입하는 것이 다소 성능이 우수한 것으로 나타났으나 이는 유지관리 측면 등 여러

요소를 고려하여 판단되어야 할 것으로 사료되었다.

사 사

본 연구를 지원해주신 국립환경연구원 수질공학과 권오상 과장님, 류덕희 연구관님, 가톨릭 대학교 한기봉 교수님께 감사드립니다.

참고문헌

Collins, M.R. et al.(1989), Modifications to the Slow sand filtration process for improved removals of Trihalomethane Precursors. AWWARF Final Report

Daniel R. McNair et al.(1987), Schmutadecke Characterization of Clinoptilolite-Amended Slow Sand Filtration, *J. AWWA*, Dec.

Dempsey, L.T. Fu(1994), Pilot Studies of Preozonation and Slow Sand Filtration, *Slow Sand Filtration: An International*

Compilation of Recent Scientific and Operational Developments, ed. N. Graham and R. Collins., AWWA, pp. 127-145

Fox et al.(1984), Pilot plant studies of slow rate filtration. *J. AWWA*, **76**(12): 62

Leenheer, J.A and E.W.D. Huffman(1979), U.S. Geological Survey Water Resources Investigations 79-4: 116

Malcolm, R.L and W.H. Durum(1976), U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1817-G: 1-20

Page et al.(1996), NOM Removals by "GAC SandwichTM" Modification to Slow Sand Filtration, In advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration, ed. N. Graham and R. Collins. Jhon Wiley, Chichester, pp. 267-276

안우정 (2003), NOM제거를 위한 완속여과지에서 GAC의 도입에 관한 연구, 박사학위논문, 건국대학교 대학원

안우정의(2002), 우리나라 완속여과지의 운전특성, *대한상하수도학회 · 물환경학회 2002년 공동추계 학술발표회 논문집*.