

입상활성탄 흡착지 운영에서 역세척 주기와 팽창률의 영향 평가

Decision of Backwashing frequency and method on the GAC adsorber

채선하^{1*} · 조창현² · 이희대³ · 왕창근⁴

Seon-Ha Chae^{1*} · Chang-Hyun Cho² · Hee-Dae Lee³ · Chang-Keun Wang⁴

1 한국수자원공사 K-water연구원, 2 고양권관리단, 3 감사실, 4 충남대학교 환경공학과

(2010년 10월 11일 접수 ; 2010년 11월 22일 1차수정 ; 2010년 12월 10일 2차수정 ; 2010년 12월 14일 채택)

Abstract

The objective of this study was to evaluate the backwashing frequency and method on the Granular Activated Carbon (GAC) in G WTP. A backwashing period was determined as 50 days and 60 days, respectively. Prior to Backwashing by head loss build, biomass concentration in effluent as constant and DO concentration was maintained more than 11.5 mg/L in GAC bed. Peak turbidity of backwashing water was 73.6~303 NTU. Mean turbidity of backwashing water at initial 9 minute of backwash operation was 50.7~82.8 NTU. After 30 minute backwashing operation, final turbidity reaches approximately 10 NTU. The frequency of backwashing and turbidity of backwashing water overtime were evaluated. At 20days of backwashing frequency, the peak turbidity was 73 NTU and 42 NTU respectively when 10% and 25% of expansion of GAC were applied. At 14 minute of backwashing time, it was observed that turbidity of 10% expansion of GAC was higher than that of 20% expansion.

Key words : Granular activated carbon (GAC), Backwashing, Turbidity

주제어 : 입상활성탄, 역세척, 탁도

1. 서론

정수처리에서 입상활성탄(Granular Activated Carbon: GAC)공정은 통상적으로 여과공정의 후단에 위치하여 표준 정수처리공정에서 제거되지 못한 수중의 미량오염물질을 처리하는데 이용되는 공정이다. 입상활성탄 흡착지는 여체에 축적된 물질들을 제거하기 위해서 주기적으로 역세척을 실시하게 되며, 역세척 방식은 흡착지의 운영방식, 사용된 입상활성탄의 입경 및 제조사에 따라 역세척 방식 및 조건을 다양하게 설정하고 있다. 입상활성탄 흡착지는 탁질 부

하가 높지 않기 때문에 손실수두의 증가가 작지만, 층고와 깊고 지 내부에서 머드볼이 형성될 수 있으며, 여층 내에서 생물막의 증식과 무기입자들의 축적으로 손실수두의 증가를 초래하여 역세척을 실시하게 된다. 활성탄 흡착지의 역세척은 주로 공기와 물의 병용식으로 수행하는 것이 일반적이며, 여층 팽창율, 역세척수 유량, 역세척 지속시간 및 순서 등에 따라 역세척의 효율이 결정된다. 모래여과지와 달리 활성탄 흡착지는 통상적으로 일주일 이상 많게는 한 달 이상의 주기로 역세척을 수행하게 되어 축적된 무기성 입자들을 제거하고 여층 내에 부착된 박테리아들의 적절한 유지

* Corresponding author Tel:+82-42-870-7524, Fax:+82-42-870-7549, E-mail: shchae@kwater.or.kr(Chae, S.)

를 위해 역세척 조건의 설정이 중요하다.

Bouwer, E. J. and Bouwer, E. J.(1988)은 여층의 팽창정도에 따라 생물막의 부착 박테리아의 탈리량이 달라지기 때문에 역세척의 방법이 생물학적 활성탄의 공정 최적화에 영향이 크다고 밝히고 있다. 높은 강도의 공기역세와 물 역세 및 장시간의 역세척은 활성탄에 부착된 미생물을 탈리시킬 우려가 있다(Amirtharajah, A., 1992). Rice, R and Robson, M.(1982)은 유출수의 탁도와 손실수두로 역세척 요구시점을 알 수 있다고 하였다. 역세척 주기의 결정은 처리수량 및 유입수의 탁도의 특성, 활성탄의 입경, 흡착방식, 손실수두, 미생물의 생존주기에 따라 다르다.

따라서 본 연구에서는 정수장에서 입상활성탄지를 운영하면서 수질적으로 안정적이면서 경제적인 최적 역세척 방법을 결정하기 위해 역세척 주기의 결정인자로 누적탁질(무기성 입자 포함)의 증가에 따른 손실수두의 증가, 유출탁도의 증가, 미생물 유출량 등을 평가하였다.

2. 실험방법

2.1 시설 및 운영현황

G정수장의 공정 구성은 혼화/응집/침전-여과-후오존-입상활성탄 흡착지(GAC)로 되어 있으며, 시설용량은 367,500m³/일이고, 현재 100,000m³/일로 운영되고 있다. 입상활성탄 흡착지(GAC)는 유량계와 제어밸브에 의한 정속여과방식으로서 흡착지 사면상 수심이 1.7~2.0m 범위에 들도록 흡착지 유출밸브 개도율을 변경하여 운영하도록 설계되어 있다. 활성탄 흡착지의 설계사양을 Table 1에 나타냈다. 충전된 활성탄은 Norit GAC 1240(Norit Co.) 제품의 석탄계로 12×40mesh(0.42~1.68mm)입경을 가지고 있다. 역세척 방법은 공기와 물의 동시 역세척을 수행하고 있고, 흡착지 구조는 하부집수장치로 유공블럭형으로 개량되었으며, 층고는 2.4m로 입상활성탄 표면에서 트러프까지 1.5m, 트러프 간격은 2.5m로 구성되어 있다. 입상활

Table 1. 활성탄 흡착지의 설계사양

구 분		설 계	현재 운영
기본 사항	형식	입상활성탄 흡착지 (중력 고정층 방식)	입상활성탄 흡착지 (중력 고정층 방식)
	여과방식	정속여과 (유량계+control valve)	정속여과 (유량계+control valve)
	제어방식	밸브개도	밸브개도
	설계유량 (m ³ /일)	367,500	150,000
시설 사양	여과지수 (지)	20 (예비 2지)	12 A열 #1, 3, 5, 7, 9, 11 B열 #2, 4, 6, 8, 10, 12
	여과면적 (m ² /지)	75 (WL = 5.0m×15m)	75 (WL = 5.0m×15m)
	여과속도 (m/hr)	10.21 (245m/일)	6.94 (167m/일)
	수위 (m)	15.90	1.7~2.1
	여상수심 (m)	2.6	2.2
여재 사양 및 구성	사용여재	GAC (NORIT 1240)	GAC (NORIT 1240)
	입경(mm)	0.42~1.68	0.24~1.68
	여층두께 (m)	2.4	2.4
	유효경(d ₁₀) (mm)	0.55~0.75	0.45~0.69
	균등계수	1.5~1.9	1.3~1.8
	EBCT(분)	14.1	17
	하부 집수장치	유공블럭	유공블럭

Table 2. 입상활성탄공정의 역세척 조건

구 분	설계 및 운전조건	
역 세 척	역세척방식	공기+물세척
	역세척수공급	역세척펌프
	Air Scour	지속시간 : 5분 역세속도 : 0.3m/분(공기)
	Slow Backwash	지속시간 : 5분(설계 값), 6분 (운전 값) 역세속도 : 0.08~0.14m/분
	Rinse	지속시간 : 9분(최대) 역세속도 : 0.26~0.43m/분
	세척 trough	지당 Trough수 : 5EA/지 규모 : 0.50mB×0.55mH
설비 사양	역세척펌프	Rinse:Q=10.9m ³ /분, 17mH×4대(1) Air Scour :Q=22.5m ³ /분
	역세송풍기	형식:공기부상식 단단터보 송풍기 용량 : 23m ³ /분, 3대(1)

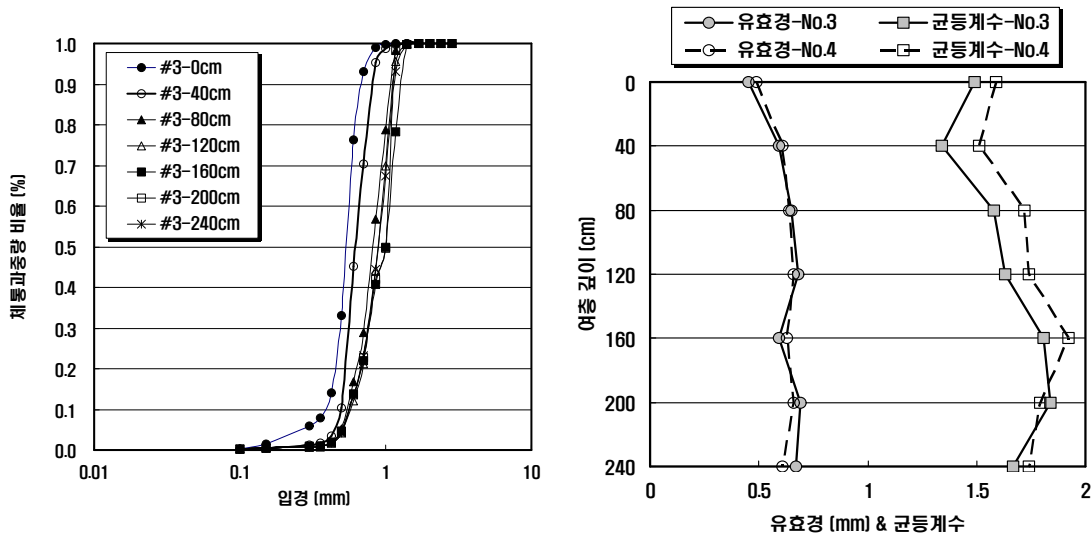


Fig. 1 입상활성탄의 층고별 입경분포

성탄 흡착지의 전공정인 후오존공정은 Side stream inject 주입방식으로서 액체산소를 이용하여 오존을 발생시키고 있으며, 용존 오존에 의한 자동제어를 통해 오존 주입을 제어하고 있다. 주입농도는 0.5~2.0 ppm (평균 1.0ppm)로 설계·운전되고 있고, 접촉시간은 15.4분이고, 열분해식의 배오존 파괴설비가 운전되고 있다.

2.2 실험방법

Table 2는 G정수장에서 운영되는 입상활성탄 흡착지의 역세척 조건들을 나타낸 것이다. 역세척 전에 수위를 여상 120cm까지 낮춘 후 5분 동안 0.3m/분(1,350m³/hr)으로

공기 역세척을 실시하였다. 공기를 종료한 2분후에 저속 역세척을 0.08~0.14m/분(360~630m³/hr) 조건으로 6분동안 실시한 후, 0.26~0.43m/분(1,170~1,935m³/hr)의 범위에서 수온에 따라 유량을 조정하여 최대 9분 동안 수행하도록 하였다. 본 연구에서는 수온 23℃에서 25% 여재 팽창율을 유지하기 위해 0.35m/분으로 역세척시간을 달리하여 고속 역세척을 실시하였다.

활성탄 흡착지를 운영하기 전에 신탄(Norit 1240, 12x40mesh)을 충전한 후 층고별 활성탄 여재를 채취하여 입경분포를 조사하였다. Fig. 1은 입상활성탄 흡착지 3지와 4지의 층고별 입경분포와 유효경과 균등계수를 나타낸 것

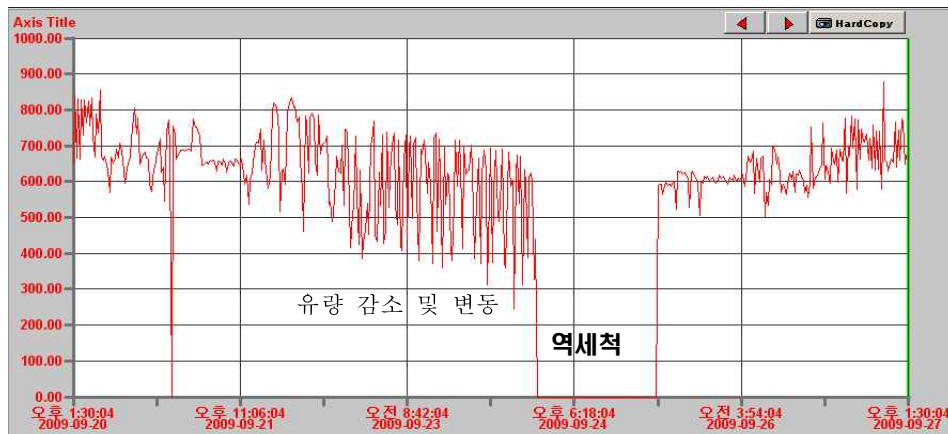


Fig. 2 활성탄 흡착지에서 유량 변화

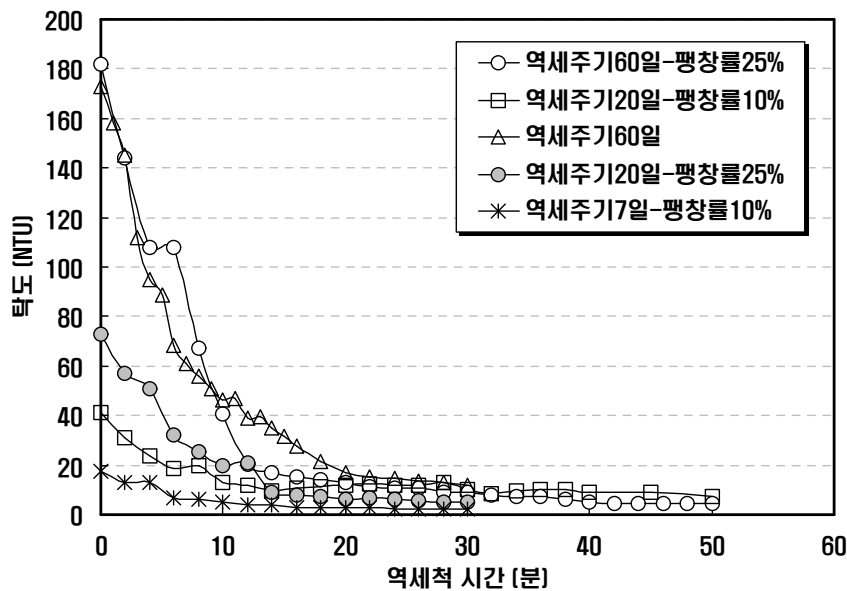


Fig. 3 역세척 주기의 변화에 따른 역세척 배출수의 탁도 변화

이다. 표층 40cm까지의 최소경은 납품성적서상의 최소경 (0.42mm)에 비해 약 50%정도 작은 입경으로 되어 있고, 유효경(d10)은 납품성적서상에 0.55~0.75mm범위의 값이 0.45~0.69mm로 작아졌고, 균등계수는 납품성적서상에 1.5~1.9범위의 값이 1.3~1.8로 변경되었다.

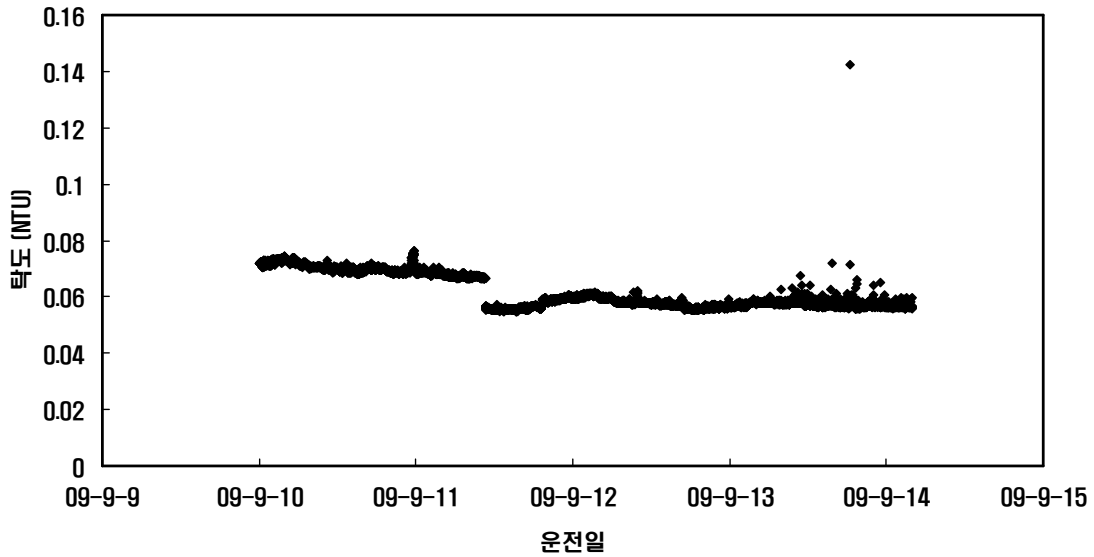
3. 실험결과 및 고찰

3.1 누적탁질 증가에 따른 운전유량의 변화

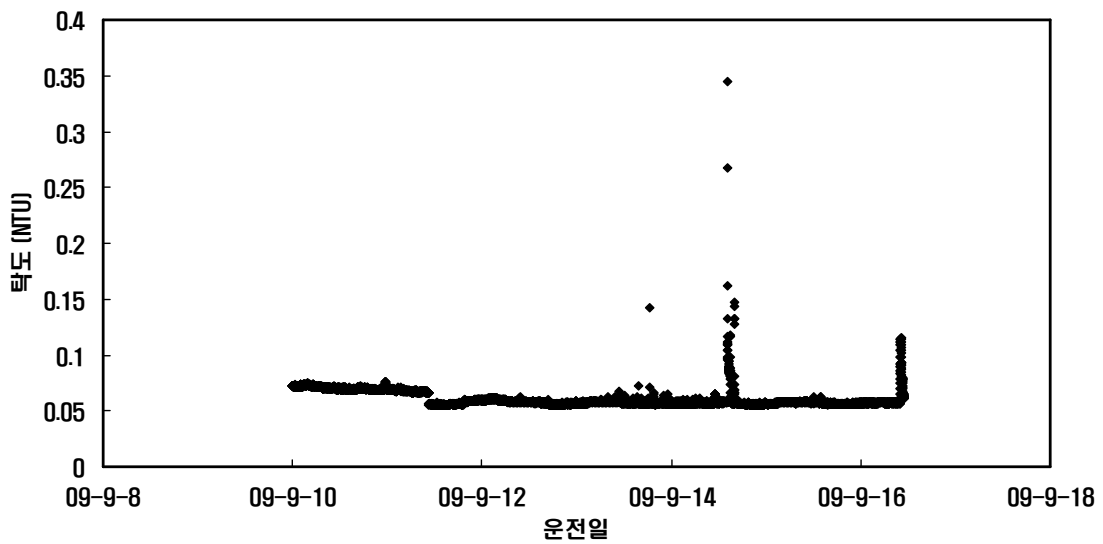
G정수장의 입상활성탄 흡착지는 일정 수위를 유지하도록 유출유량을 조절하는 정속여과방식을 취하고 있기 때문에 운영기간에 따른 수위 증가를 평가하는 대신에 유출 유

량의 변화를 관찰하여 역세척 시점을 평가하였다. 개별 흡착지의 운전 유량은 675~734 m³/시간으로 평균 709m³/시간이었고, 수위는 2.1~2.2로 평균 2.2m로 운전되고 있다. 입상활성탄 흡착지에서 유입 유량의 변화를 평가한 결과, 3지와 5·7지에서 2009년 7월 중순부터 운영을 시작한 이후로 각각 50일과 60일 후에 유출 유량이 감소하고 유량의 변동 폭이 심하게 발생하였다. Fig. 2는 5지에서 운영 60일 후에 유량이 감소하고 심한 변동이 발생하여 역세척을 실시한 후 유량이 안정되었음을 보여주고 있다.

50~60일 운전 후에 역세척을 실시하였을 때, 입상활성탄 흡착지에서 탁질이 누적된 상태를 평가하기 위해 역세척 동안의 배출수 탁도 변화를 측정하였다. Fig. 3에 나타난



(a)



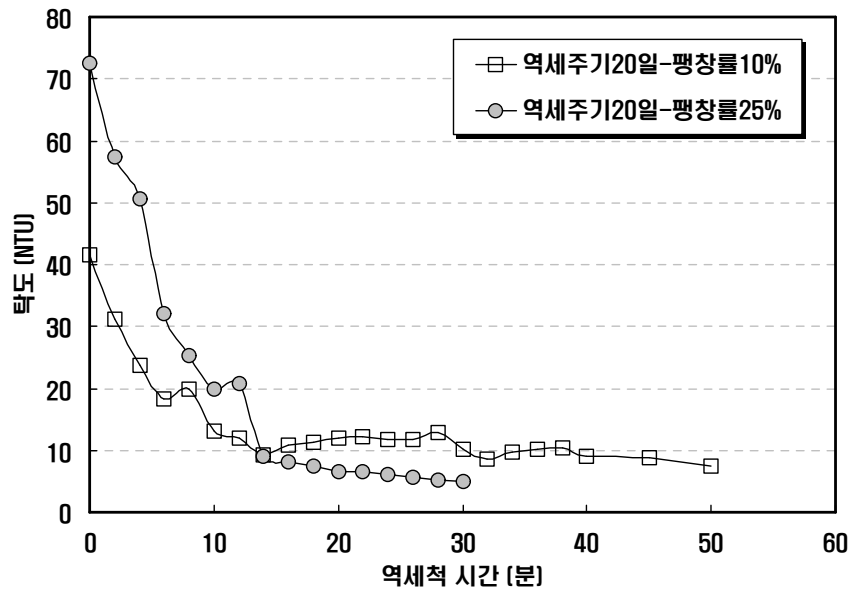
(b)

Fig. 5 활성탄 흡착지에서 역세척 전 유출수 탁도 변화:(a) 3지, (b) 5, 7지

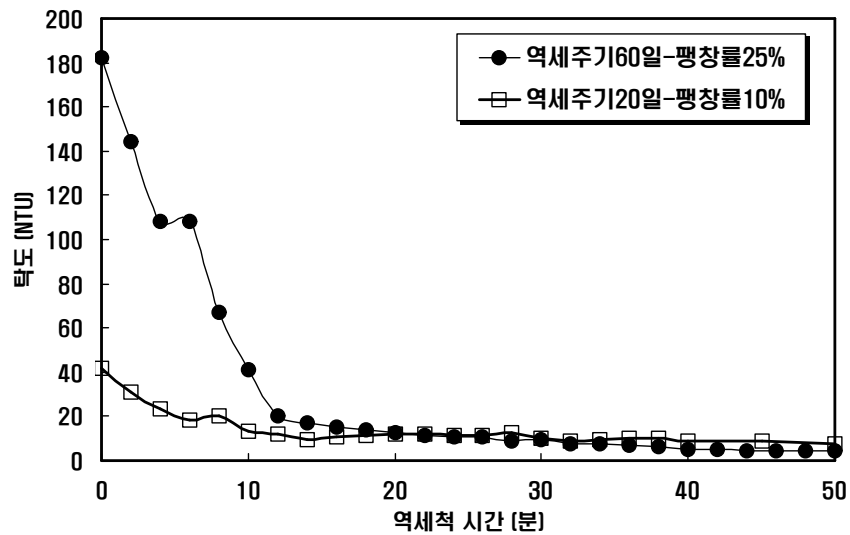
바와 같이 운영주기에 따라 역세척 배출수의 최고 탁도는 다양한 범위에 존재하였고, 역세척 종료 시점도 상이하게 나타났다. 역세척 배출수의 최고 탁도는 73.6~303 NTU 범위에 있었고, 역세척 초반 9분 동안의 통합 탁도는 50.7~82.8 NTU 범위에 있었다. 역세척 지속시간 30분 후에 최종 탁도는 약 10 NTU 정도에 도달하였다. 최종 배출수 탁도를 10 NTU 이하로 낮추기 위해서는 장기 운전 후

에 역세척을 수행할 때, 역세척 지속시간은 현재 역세척 운영 프로그램에서 고속 역세척 시간이 9분에서 30분으로 증가된다. 60일의 역세척 주기는 20일의 역세척 주기와 비교하였을 때 최종 배출수 탁도인 10 NTU까지 낮추는데 장시간의 역세척 시간이 소요되어 에너지의 소요 및 품질 측면에서 20일 내외의 역세척 주기가 적정한 것으로 판단된다.

Fig. 4 활성탄 흡착지의 동일한 역세척 주기에서 팽창율



(a)



(b)

Fig. 4 동일한 역세척 주기에서 팽창률 변화에 따른 역세척 배출수의 탁도 변화;(a) 역세척 주기 20일, (b) 역세척 주기 60일

변화에 따른 역세척 배출수의 시간별 탁도 변화를 나타낸 것이다. 동일 역세척 주기인 20일에서 여재 팽창률을 10%와 25%로 하였을 때, 최고 배출수 탁도는 각각 42NTU와 73NTU이었고, 역세척 시간 14분에서 25% 팽창률로 수행한 경우가 10% 팽창률로 수행한 경우보다 배출수 탁도가 낮게 나타났다. 이는 G정수장의 시설 및 운전조건에서 10% 팽창률에 비해 25% 팽창률에서 흡착지의 누적된 탁질을 역세척동안 최적으로 탈착시켜 역세척 시작시에 최고

탁도가 높아지고, 탈착된 탁질은 빠른 시간에 웨어로 빠져 나감으로써 역세척 시간이 짧아지는 것으로 보여진다. 이러한 역세척 배출수의 탁도 자료는 입상활성탄 흡착지의 배출수조 시설용량의 설계에 활용 가능할 것으로 생각된다.

3.2 유출탁도의 증가

Fig. 5은 입상활성탄 흡착지 3지와 5·7지에서 역세척

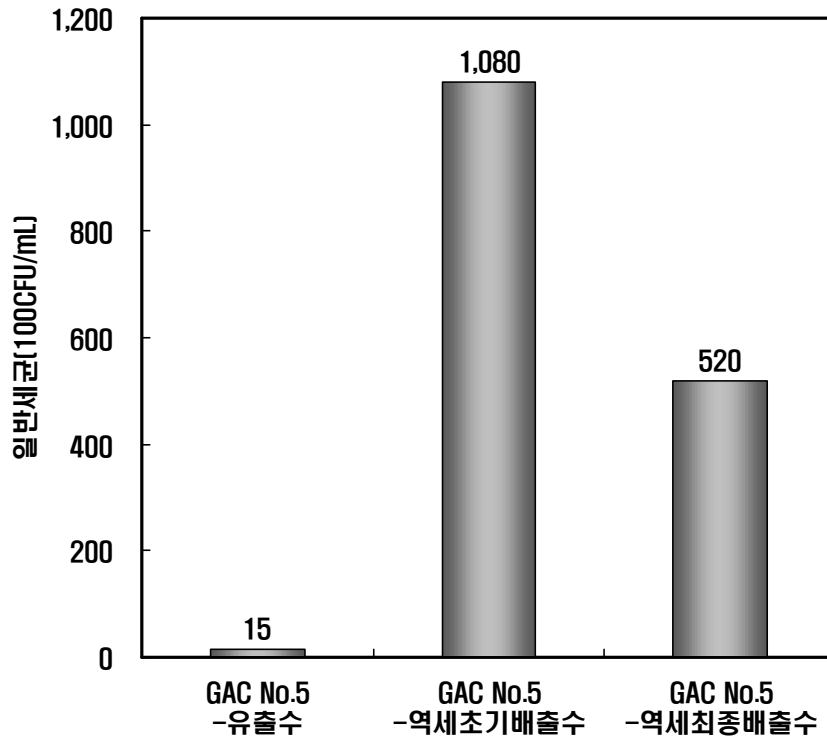


Fig. 6 활성탄 흡착지에서 역세척 전·후 유출수와 배출수에서 일반세균의 변화

수행 전에 흡착지 유출수에서의 탁도 변화를 도시한 것이다. 평상 시 운전되던 탁도 값에서 미미하지만 탁도의 증가가 발생하였고, 5·7지의 경우 평상시 0.1 NTU에서 0.35 NTU까지 증가하는 현상을 보였다. 이는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 누적된 탁질이 증가하여 운전유량이 감소하고 변동됨에 따라 흡착지의 운전이 불안정하여 탁도가 누출된 것으로 판단된다.

3.3 미생물 유출량

Fig. 6는 역세척 전 입상활성탄 흡착지에서 일반세균의 수와 역세척 중에 역세척 배출수의 일반세균 유출 현황을 나타낸 것이다. 역세척 전에 입상활성탄 흡착지에서 일반세균은 15(100CFU/mL)로 검출되었고, 운전 60일 후에 역세척을 수행한 역세척 배출수에서 초기에는 1080(100CFU/mL)가 검출되다가 역세척 30분 후에 배출수에서 520(100CFU/mL)가 검출되었다. 즉 유량 변화(수두증가)에 의해 역세척을 수행하기 전에 흡착지 유출수에서 미생물의 유출은 안정적이었다. G정수장은 입상활성탄공정 이전에 후오존공정이 운영되고 있으며, 오존 주입률 0.5~2.0 mg/L에서 입상활성탄 흡착지로 유입되는 잔류오

존농도는 계절적 특성에 따라 0mg/L에서 최대 0.4mg/L까지 유입되고 있다. Fig. 7는 흡착지에서 충고별 용존산소(DO; Dissolved Oxygen)를 측정한 결과이다. 이는 흡착지가 호기성이 아닌 혐기성으로 운전될 때 포화농도보다 낮게 DO농도가 형성될 것을 예측하여 측정된 것으로 수온 22°C에서 DO 포화농도는 8.53mg/L로 충고별로 측정된 DO농도는 11.5mg/L이상을 유지하였다.

3.4 역세척 후 유출탁도 및 탁질 억류량

Fig. 8은 흡착지 5지와 7지에서 역세척을 완료한 후 통수를 시작하자 활성탄 흡착지의 유출수에서 탁도가 0.32NTU까지 증가하여 순간적으로 탁질의 누출이 발생된 것을 보여주고 있다. G정수장의 입상활성탄 흡착지는 시동방수가 안된 시스템으로 역세척 완료 후 통수 시에 처리수가 다음 공정으로 그대로 유입되는 시스템을 유지하고 있다. 따라서 이러한 탁질 누출을 방지하기 위해서는 역세척 운영 프로그램을 개선하여 시동방수(퇴수밸브 제어) 시스템이 구축되어야 한다.

Fig. 9은 역세척 수행 전·후에 충고별 탁질 억류량을 측정한 것이다. 이는 탁질 제거를 위한 역세척이 완전하게 수

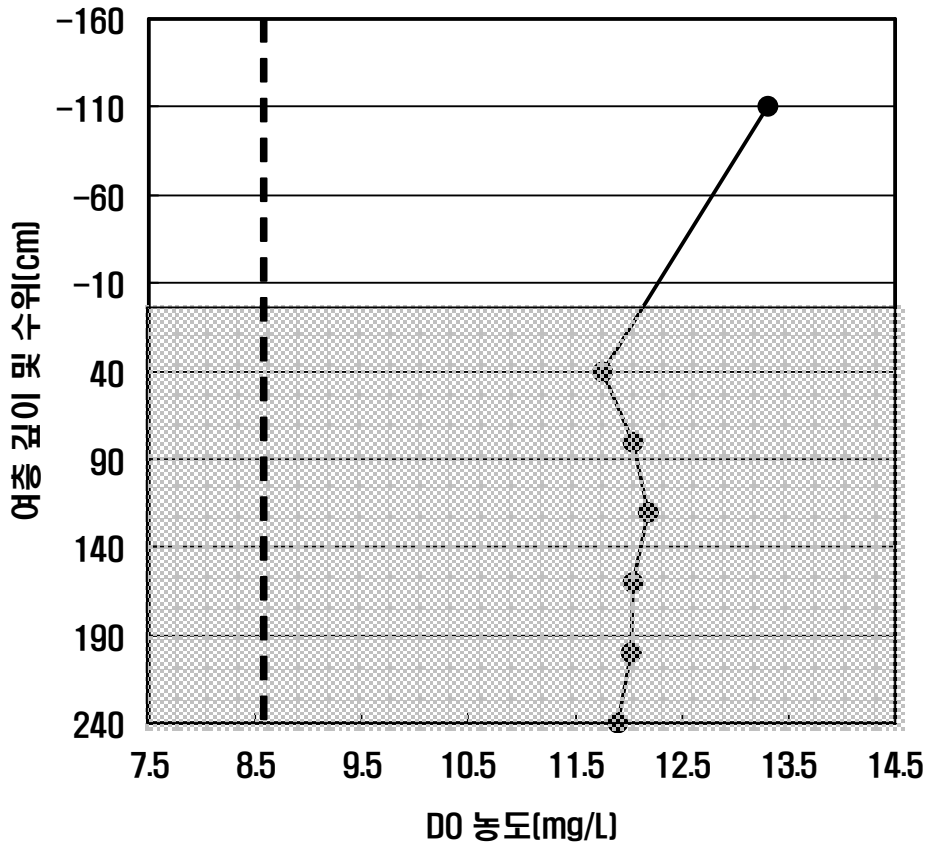


Fig. 7 활성탄 흡착지에서 층고별 DO농도 변화

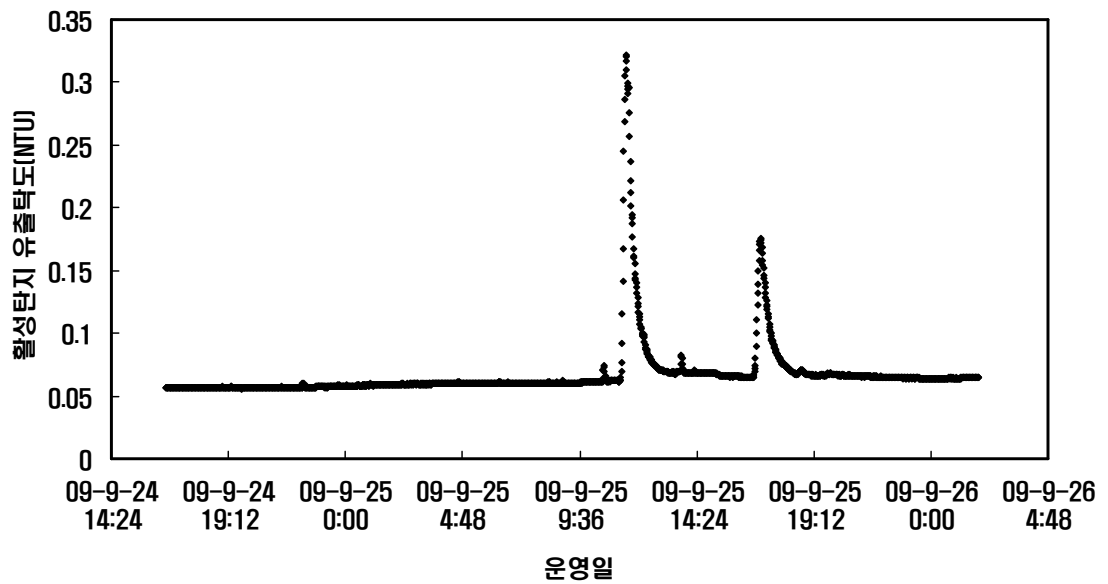


Fig. 8 활성탄 흡착지(5지, 7지)에서 역세척 후 유출수에서 탁도의 변화

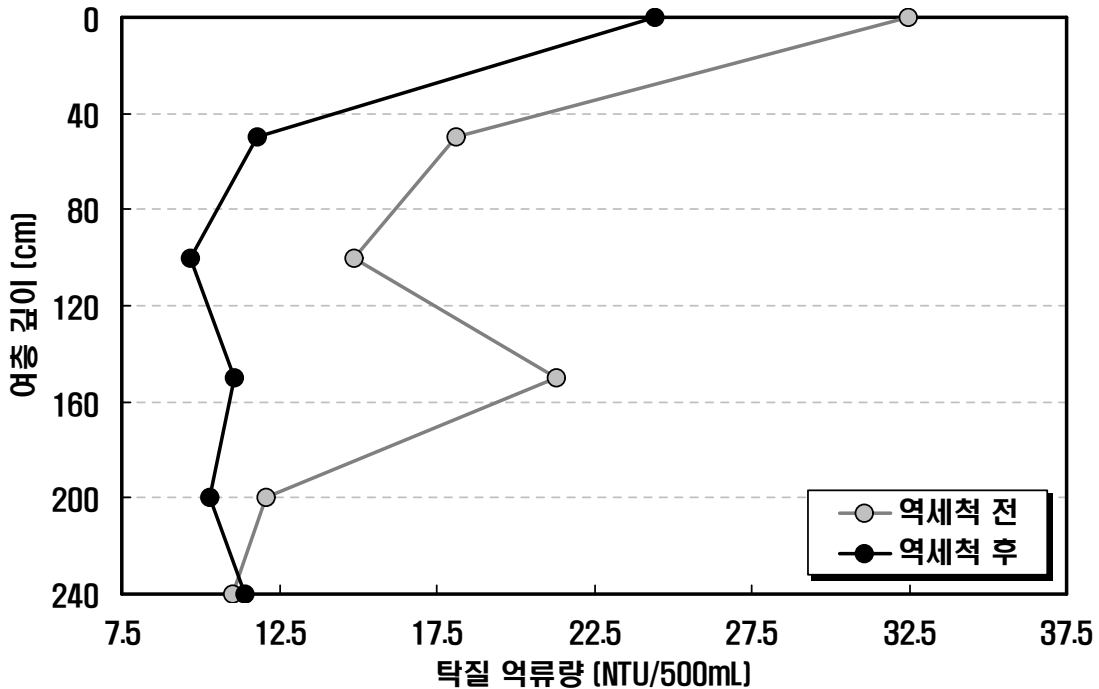


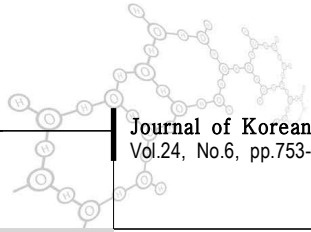
Fig. 9 활성탄 흡착지에서 역세척 전·후 층고별 탁질 역류량

행되었는지를 파악하기 위한 것으로 역세척 전에 비해 역세척 후에 탁질 역류량은 감소되었다. 그러나 표층의 40cm까지는 역세척 후에 탁질 역류량이 역세척 전에 비해 감소되었지만 여전히 많은 양이 잔재하고 있음을 알 수 있다. 이는 Fig. 1에서 활성탄을 충전할 때 표층에 규격 이하의 미립자가 분포하고 있었는데 미립자에 탁질이 역류되어 배출되지 못하고 남아 있을 가능성이 내재한다. 또한 역세척 시에 여재 팽창율이 작아서 표층에 부유하고 있는 탁질이 역세척 종료 후에 그대로 가라앉아 역류되었을 가능성도 있다.

4. 결론

1) G정수장의 입상활성탄 흡착지에서 정속여과방식으로 운영기간에 따른 수위 증가를 평가하는 대신에 유출 유량의 변화를 평가하여 지 내 축적되는 손실수두의 변화를 평가한 결과, 각각 50일과 60일 후에 역세척 주기가 도래하였다. 유량 변화(수두증가)에 의해 역세척을 수행하기 전에 흡착지 유출수에서 미생물의 유출은 안정적이었고, 흡착지에서 층고별 DO(용존산소)를 측정할 결과, 수온 22°C에서 DO 포화농도 8.53mg/L 대비 층

고별로 측정된 DO농도는 11.5mg/L 이상을 유지하였다.
 2) G정수장에서 입상활성탄 흡착지는 50~60일 만에 역세척을 실시한 후, 역세척 배출수의 최고탁도는 73.6~303 NTU 범위에 있었고, 역세척 초반 9분동안의 통합탁도는 50.7~82.8 NTU 범위에 있었다. 역세척 지속시간 30분 후에 최종 탁도는 약 10 NTU 정도에 도달하였다. 60일의 역세척 주기는 장시간의 역세척 시간이 소요되어 에너지의 소요 및 품질 측면에서 20일 내외의 역세척 주기가 적절한 것으로 판단되었다.
 3) 활성탄 흡착지의 역세주기 및 여재팽창율에 따른 역세척 배출수의 시간별 탁도 변화를 평가한 결과, 동일 역세척 주기인 20일에서 여재 팽창률을 10%와 25%로 하였을 때, 최고 배출수 탁도는 각각 42NTU와 73NTU이었고, 역세척 시간 14분에서 25% 팽창률로 수행한 경우가 10% 팽창률로 수행한 경우보다 배출수 탁도가 낮게 나타났다.
 4) 역세척 수행 전·후에 층고별 탁질 역류량을 측정할 결과, 표층의 40cm까지는 역세척 후에 탁질 역류량이 역세척 전에 비해 감소하였지만 여전히 많은 양이 잔재하였다. 이는 활성탄 충전 시 표층에 규격 이하의 미립자가 분포 및 역세척 시 작은 여재 팽창율에 기인한 것으로



추정된다.

참고문헌

- Bouwer, E. J. and Crowe, P. B. (1988) Biological processes in drinking water treatment, *J. of AWWA*, 90(1), pp. 71~85.
- Amirtharajah, A. (1991) Optimum backwash of dual media filter and GAC filter adsorbers with air scour, *AWWARF*.
- Rice, R. and Robson, M. (1982) Biological Activated Carbon Enhanced Aerobic Biological Activity in GAC System, *Ann Arbor Science Publ.*, Ann Arbor, MI. USA.