

부상여재 및 모래 여과장치에 의한 조류와 탁도 제거에 관한 연구 Study on Algae and Turbidity Removal by Floating-media and Sand Filter

권대영^{1*} · 권재현²

Dae-Young Kwon^{1*} · Jae-Hyun Kwon²

1 인제대학교 토목공학과(건설기술연구소) · 2 인제대학교 환경공학부

(2012년 8월20일 접수; 2012년 10월8일 수정; 2012년 10월10일 채택)

Abstract

In Korea, almost every water treatment plant suffers from seasonal problem of algae and turbidity which result from eutrophication and heavy rainfall. To relieve this problem, experimental investigation was performed to study the applicability of a floating-media and sand filter to preliminary water treatment in terms of algae and turbidity removal. Experimental results using pure-cultured algae influent showed that the shape of algae species as well as filtration velocity affects the removal efficiency. From the experiments using natural river water, it was concluded that algae removal is more sensitive to floating-media depth but turbidity more sensitive to sand depth. As the filtration velocity increased, the removal of turbidity decreased but that of algae was not affected. The floating-media and sand filter removed more than 30 % of TP, TN, turbidity, Chl-a and COD_{Cr}, and less than 20 % of DOC and UV₂₅₄.

Key words : algae, turbidity, floating-media and sand filter, filtration velocity

주제어 : 조류, 탁도, 부상여재-모래 여과장치, 여과속도

1. 서론

국내 정수장들은 최근까지도 상수원수의 수질 악화로 조류가 대량 발생하여 이들이 정수장으로 유입됨으로써 여과지가 조기 폐색되거나 이취미가 발생하는 등 많은 운영상의 어려움을 겪고 있다(정 등, 2010; 김 등, 2009). 이취미 문제는 분말활성탄 투입이나 전염소 처리 등으로 제거가 가능하지만(Seo 등, 2010; Seo 등, 2007; Lee 등, 1999) 조류에 의한 여과지 폐색에 대해서는 아직

까지 특별한 대책을 갖고 있지 않고 이에 대한 연구도 미진한 형편이다. 계절에 따라 우점종 조류는 바뀌지만 우리나라에서는 대략적으로 봄철에 규조류와 남조류가 나타나며 가을철에는 녹조류와 남조류 및 규조류가 발생한다(최 등, 2005; 조 등, 1999). 우리나라에서 발생하는 조류종은 남조류인 *Microcystis*, 규조류인 *Synedra*, *Asterionella*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus* 등이 주류를 이루고 있는데, 특히 *Synedra*가 우점종을 이룰 때는 정수장의 여재 표면의 부하를 급격하

*Corresponding author : Tel. : +82-55-320-3855, Fax : +82-55-321-3410, E-mail : dykwon@inje.ac.kr(D. Y. Kwon)

게 증가시켜서 여과지속시간을 심한 경우에는 4 시간까지 단축시키기도 한다(윤 등, 2002; 전 등, 1998).

한편, 국내 정수장에서는 강우시 취수지에 고탁도가 장시간 유지되고 시간이 지남에 따라 표층수는 맑아지나 탁수는 증층에 형성되어 상당 기간 동안 고탁도의 원수가 밀도류를 형성하여 정수장으로 유입된다. 이들 고탁도 원수의 원인물질인 미세입자는 전기적인 반발력 등으로 침강속도가 매우 느리다(이 등, 2004). 우리나라 정수장의 취수장은 대부분 증층취수를 하고 있는데 만약 증층 밀도류를 형성하는 곳이라면 고탁도 밀도류는 응집불량으로 이어져 정수장을 일으키는 원인을 제공하게 된다(최 등, 2005).

지금까지 조류 및 탁도의 제거에 관한 기술개발은 주로 염소처리, 응집침전, 공기부상법 등에 초점이 맞춰져 왔으며 봄, 가을철에 상수원의 부영양화로 인한 조류와 홍수시의 탁수가 대량으로 정수장에 유입되어 모래여과지의 여과지속시간이 수 시간에 불과할 때는 일부 정수장에서 분말활성탄을 응급조치수단으로 사용하여 왔었다. 하지만 최근의 국내외 정수처리기술 시장에서는 경제적이면서 에너지효율적인 처리기술들이 각광을 받고 있는데 보다 더 저비용 및 저에너지로 수중의 오염물질을 효과적으로 제거할 수 있는 직접여과법이 개발되었다(Ngo 등, 2011). 침전지를 사용하지 않기 때문에 정수장의 공간을 절약할 수 있을뿐만 아니라 현재의 여과방식을 그대로 유지하면서 정수효율을 증대시킬 수 있는 직접여과공정은(Weimin 등, 2004; Ngo 등, 1995) 연중 평균 수질이 저탁도이고 조류의 발생빈도와 농도가 비교적 낮은 원수를 취수할 때 적용이 가능하다고 알려져 있다(Mann 등, 1999). 이 공정은 또한 약품주입량을 줄여 줌으로써 슬러지발생과 처리비용이 적다는 장점도 가지고 있다. 이러한 저비용 및 저에너지 정수처리기술로써 주목을 받고 있는 직접여과기술

을 Ngo 등은 부상여재와 모래를 결합한 신개념의 dual-media 필터로 개선하였다(Ngo 등, 1998). 하나의 필터 칼럼에 부상여재와 모래를 한꺼번에 충전하여 운전하면서 부상여재를 응집 및 1차 필터로 활용하고 모래를 후속 2차 필터로 이용함으로써 보다 우수한 제거효율과 시설의 콤팩트화를 도모하였다. 한편, 이들 공정에 효율적인 in-line mixer를 적용하면 여과지속시간이 줄어들면서도 동시에 유출수의 조류와 탁도의 처리를 개선하는 효과도 볼 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 부상여재와 모래로 구성된 lab-scale의 dual-media 필터를 이용하여 순수배양된 서로 다른 세 가지 종류의 조류제거 특성을 알아보고자 하며 낙동강 지표수를 원수로 이용하여 dual-media 필터의 최적 운전조건을 살펴보고자 한다. 또한 부상여재 또는 모래만으로 이루어진 mono-media 필터의 운전을 통해서 각각의 여재에 의한 제거특성도 파악하고자 한다.

2. 실험장치 및 분석방법

본 연구에 사용된 부상여재-모래 여과장치를 Fig. 1에 나타내었다. 사용할 원수를 50 L 유입수조에 담은 후 유입펌프를 통해 constant head tank로 압송한 후 일정한 여과속도로 여과장치를 통과시켰으며 constant head tank의 월류수는 유입수조로 반송시켰다. 실험에 사용된 부상여재는 발포형 폴리스티렌(EPS, Expandable Polystyrene) beads로 직경과 밀도는 각각 2 ~ 3 mm와 25 kg/m³을 나타내며, 압축강도는 14 ~ 20 N/cm², 굴곡강도는 31 ~ 39 N/cm², 인장강도는 31 ~ 40 N/cm², 비표면적은 약 2,000 m²/m³, 공극율은 0.33이었다. 또한 물이나 묽은 산에도 장기간 접촉시 침식되거나 수축되지 않는 특징을 갖고 있었다. 한편, 모래는 K시 S 정수장에서 사용하는 것을 사용하였다. 여과장치의 제거효율을 평가하기 위해

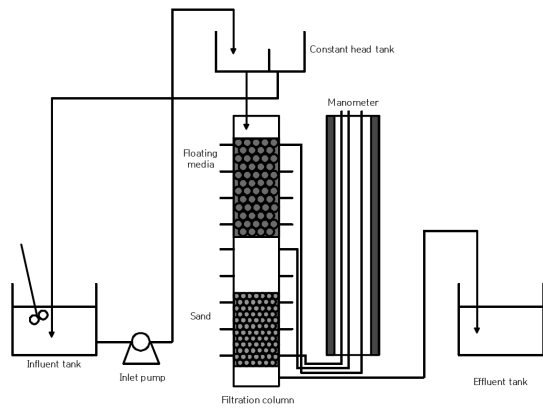


Fig. 1. Apparatus of floating media and sand filtration system

Table 1. Analytical methods used in this study

Items	Analytical Methods
pH	pH meter (DMS model DP-880M)
Turbidity	HACH 2100N Turbidimeter
Chl-a	Trichromatic Method
DOC	TOC Analyzer (Shimadzu TOC 5000)
UV ₂₅₄	UV-VIS Spectrophotometer(Kontron model Uvikon 930)
COD _{Cr}	Reactor Digestion Method (HACH)
TN	Reactor Digestion Method (HACH)
TP	Acid Persulfate Digestion Method (HACH)
Cell counting	Microscopic Observation (Reverse, Olympus CK 2)

Table 1과 같은 분석방법으로 수질항목들을 분석하였다. 실험에는 조류 순수배양액과 낙동강 지표수를 원수로 사용하였다.

3. 결과 및 토의

3-1. 조류 순수배양액

조류 순수배양액 실험에 사용된 조류는 하절기 낙동강 지표수에서 자주 출현하여 정수장의 장애를 유발하는 *Anabaena cylindrica*, *Microcystis viridis* 그리고 *Microcystis aeruginosa* 세 종류였다. 이들은 조류 배양실에서 10

일간 순수배양액으로 농도 약 $10^4 \sim 10^5$ cell/L 까지 배양된 후 약 10배 희석하여 50 L 유입수조에서 유입펌프를 통해 constant head tank로 압송되면서 실험에 이용되었다.

3-1-1. 조류종류별 제거특성

서로 다른 세 종류의 조류들은 부상여재-모래 여과장치에 의해 어떤 제거특성을 나타내는지를 살펴보기 위한 실험은 부상여재와 모래를 각각 20 cm씩 충전한 여과장치를 여과속도 76 m/day로 60분간 운전하면서 유입수조, 부상여재 통과 후 그리고 모래여과 통과 후의 시료들을 시간간격을 두고 채취하여 조류의 세포수를 확인함으로써 수행되었다. Fig. 2 - 4는 각각 *Anabaena cylindrica*, *Microcystis viridis* 그리고 *Microcystis aeruginosa* 순수배양액의 60분간 여과운전을 통해 나타난 부상여재에 의한 제거율(R_f), 모래에 의한 제거율(R_s) 및 총제거율(R_t)을 보여주고 있다.

우선, Fig. 2의 *Anabaena cylindrica* 순수배양액의 실험결과를 보면, 부상여재와 모래에 의한 제거가 각각 시간에 따라 큰 변화를 보이면서도 총제거율은 60분간 거의 일정하게 유지되었다. 초기 20분간의 조류제거에는 모래가 큰 역할을 담당하였지만 그 이후에는 부상여재가 보다 큰 역할을 담당하였다. 특히, 여과 50분 후에는 거의 모든 제거가 부상여재에 의해서만 이루어졌다. Fig. 3의 *Microcystis viridis* 순수배양액 실험결과도 60분간 총제거율은 큰 변화를 보이지 않았으나 여과초기부터 부상여재에 의한 제거가 모래에 의한 제거보다 우세하였다. 여과 40분 후에는 모래는 아무런 역할도 하지 못하면서 부상여재에 의해서만 제거가 이루어졌다. 또한, *Microcystis aeruginosa* 순수배양액 실험결과인 Fig. 4도 60분간의 총제거율이 거의 일정하였으나 이전 실험결과들과 달리 모래 및 부상여재 각각의 제거가 거의 동등하였다.

각 조류종류별 평균제거율, 부상여재에 의한

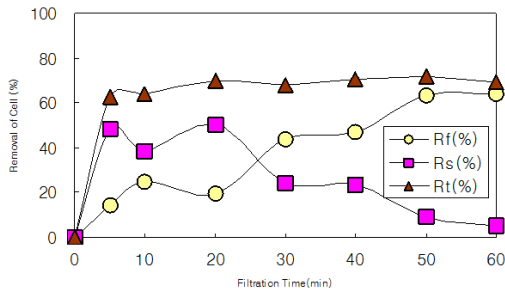


Fig. 2. Removal of *Anabaena cylindrica* with filtration time (initial cell number : 8.29×10^4 cells/ml, Rf, Rs and Rt represent removal rates by floating, sand, and both media)

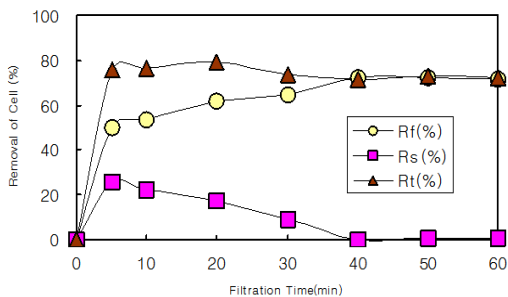


Fig. 3. Removal of *Microcystis viridis* with filtration time (initial cell number : 1.89×10^5 cells/ml, Rf, Rs and Rt represent removal rates by floating, sand, and both media)

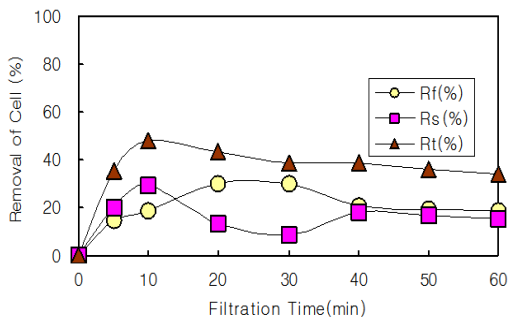


Fig. 4. Removal of *Microcystis aeruginosa* with filtration time (initial cell number : 4.79×10^5 cells/ml, Rf, Rs and Rt represent removal rates by floating, sand, and both media)

평균제거율 그리고 총제거율 중 부상여재에 의한 제거율을 Table 2에 정리하여 나타내었다. Table 2에서 보는 바와 같이 60분 동안의 평균 총제거율은 각각 *Anabaena cylindrica*는 68.1%, *Microcystis viridis*는 74.1% 그리고 *Microcystis aeruginosa*는 39.1%로 *Microcys-*

Table 2. Average algae removal for 60 min's filtration with 3 species of algae (floating media depth 20 cm, sand depth 20 cm, filtration velocity 76 m/day).

Average removal(%)	<i>Anabaena cylindrica</i>	<i>Microcystis viridis</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>
Rt	68.1	74.1	39.1
Rf	43.8	63.7	21.7
Rf/Rt	64.0	86.0	55.0

Rt: removal of both media, Rf: removal of floating media

*tis viridis*의 제거율이 *Microcystis aeruginosa* 보다 2배 가까이 높은 것으로 나타났다. 이와 같이 조류의 종류에 따라서 제거율은 많은 차이를 보였는데 이는 서로 다른 종류의 조류들이 가지는 형상학적 특징이 부상여재 및 모래의 제거에 영향을 미친 결과라고 파악된다. 또한, 전체 제거율에 대한 부상여재에 의한 제거율은 조류종류에 따라 각각 64%, 86%, 55%였다. 이는 총 제거율이 높을수록 부상여재에 의한 제거가 높은 것으로 부상여재가 조류제거에 보다 더 큰 역할을 했음을 보여주는 결과이다.

3-1-2. 여과속도별 조류제거특성

부상여재-모래 여과장치에 의해 제거가 가장 힘들었던 *Microcystis aeruginosa* 순수 배양액을 사용하여 부상여재는 이전 실험과 동일한 깊이인 20 cm를 유지하면서 모래의 깊이를 반으로 줄인 10 cm로 구성하여 여과장치를 준비하였다. 각기 다른 여과속도인 23 m/day, 45 m/day, 68 m/day 및 113 m/day 조건에서 60분 동안 관찰한 제거율을 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 모든 여과속도 조건에서 시간에 따른 제거율의 변화는 크게 나타나지 않았으나 여과속도가 증가할수록 조류의 제거율은 순차적으로 감소하였으며, 특히 113 m/day에서는 급격히 제거율이 감소함을 알 수 있었다. 부상여재와 모래 각각의 여과속도에 따른 조류제거 특성을 파악하기 위해 Fig. 5의 실험결과로

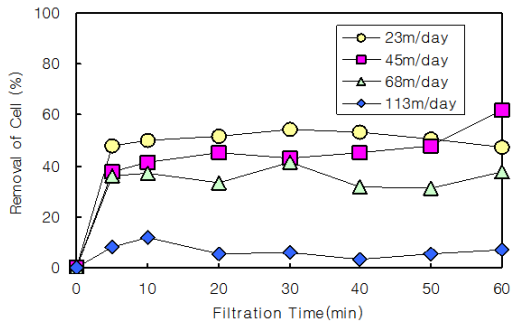


Fig. 5. Removal of *Microcystis aeruginosa* at various filtration velocities by 20 cm floating media and 10 cm sand

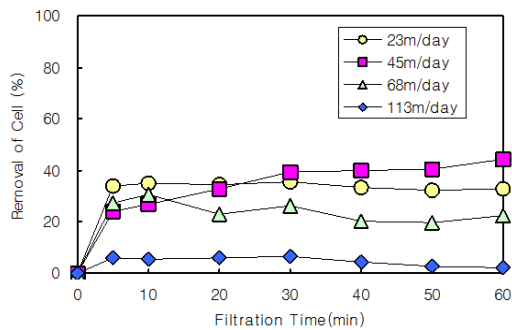


Fig. 6. Removal of *Microcystis aeruginosa* at various filtration velocities by 20 cm floating media

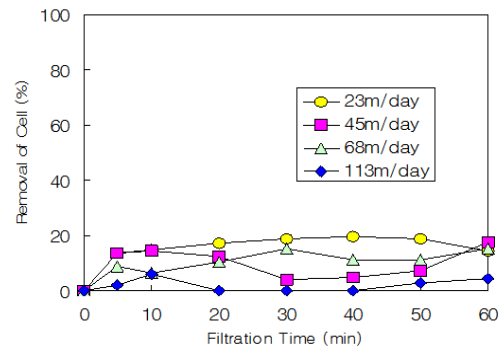


Fig. 7. Removal of *Microcystis aeruginosa* at various filtration velocities by 10 cm sand

부터 부상여재만의 제거율을 Fig. 6에 나타내었고 모래만의 제거율을 Fig. 7에 나타내었다. 우선, Fig. 6을 보면 부상여재에 의한 조류제거는 45 m/day의 20분 이후 제거율이 23 m/day보다 다소 높다는 것 외에는 여과속도에 따라 조류제거율이 감소하였으나, Fig. 7의 모래의 조류제거율은 여과속도에 따른 조류제거율의 감소가 부상여재의 제거율만큼 크게 나타나지 않았다. 이들 사실로부터 부상여재의 조류제거가 모래보다 여과속도 변화에 민감함을 알 수 있었다. 또한, 두 그림들로부터 서로 다른 여과속도라 할지라도 부상여재에 의한 조류의 제거가 모래에 의한 것보다 우수하다는 것을 다시 한번 확인하였다.

3-2. 낙동강 지표수

낙동강 지표수를 유입원수로 사용하여 부상여재 및 모래에 의한 여과특성 실험을 수행하였다. 시료채취는 1월 초부터 3월 중순까지 약 2개월 반 동안 20회에 걸쳐 실시하였으며 한 회당 하천수 200 L를 채수하여 실험에 사용하였다. 실험에 사용된 시료의 수질분석 결과는 Table 3과 같았다.

3-2-1. 여재층 깊이변화별 제거특성

여재의 층진 깊이에 따른 제거 특성 실험은 부상여재와 모래를 모두 사용한 dual-media 여과장치와 부상여재 또는 모래만을 사용한 mono-media 여과장치를 가지고 실험을 수행하였다. Dual-media 실험에서는 부상여재와 모래를 각각 80 cm

pH	Turb (NTU)	Chl.a (ug/l)	DOC (ppm)	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	CODcr (ppm)	TN (ppm)	TP (ppm)
6.7 ~ 7.7	8.2 ~ 19.8	46 ~ 144	2.1 ~ 3.8	0.056 ~ 0.086	26.2	3.6	0.25

Table 3. Properties of raw water(Nakdong River) used in this study

: 20 cm, 50 cm : 50 cm 및 20 cm : 80 cm로 층 여재층의 깊이는 100 cm로 동일하면서 각 여재의 깊이를 달리하는 조건에서 실험을 수행하였다. Mono-media 실험에서는 부상여재 또는 모래만을 각각 20 cm, 50 cm 및 80 cm 충전한 상태에서 실험을 수행하였다. 60분간 여과실험을 하는동안 5분, 10분, 20분, 30분, 40분, 50분 및 60분에 각각의 여재층을 통과한 시료를 채취하여 탁도와 chl-a를 분석하였다. 모든 실험에서 여과속도는 36 m/day로 고정하였다.

a) Dual-media

부상여재와 모래를 각각 80 cm : 20 cm 충전하여 여과를 수행한 결과를 Fig. 8에, 50 cm : 50 cm 충전한 결과를 Fig. 9에 그리고 20 cm : 80 cm로 충전한 실험 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 각 그림에서 탁도의 제거 특성은 (a)에 그리고 Chl-a의 제거특성은 (b)에 나타내었다.

우선, 여재층 깊이별 탁도제거 특성을 보여주는 Fig. 8 (a), Fig. 9 (a) 및 Fig. 10 (a)를 살펴보면, 부상여재가 모래보다 많이 사용된 경우 (Fig. 8 (a))는 탁도가 부상여재에 의해 더 많이 제거되었으며, 부상여재와 모래를 동일한 깊이로 충전한 경우(Fig. 9 (a))는 부상여재와 모래에 의해 거의 동일하게 제거되었고, 모래가 부상여재보다 많이 사용된 경우(Fig. 10 (a))에는 대부분 모래에 의해 제거되었음을 알 수 있었다. 한편, 부상여재와 모래의 각 충전깊이별 60분 여과동안의 평균 탁도제거율은 80 cm : 20 cm, 50 cm : 50 cm 및 20 cm : 80 cm 각각에 대해 34 %, 40 % 및 43 %로 모래의 충전깊이가 클수록 탁도의 제거율은 조금씩 우수해지는 경향이 있었다. 이들 결과로부터, 탁도의 제거는 부상여재와 모래 중 충전 깊이가 큰 여재에 의해 대부분 제거될 수 있으나 모래의 충전 비율이 높을수록 전체 탁도제거율은 조금씩 우수해지는 것을 알 수 있었다.

조류제거 특성을 반영하는 Chl-a의 부상여재와 모래의 충전깊이별 제거특성 실험결과들

(Fig. 8 (b), Fig. 9 (b) 및 Fig. 10 (b))을 살펴보면, 탁도의 제거와는 달리 모든 경우들에서 Chl-a의 제거는 대부분 부상여재에 의해 이루어졌음을 알 수 있었다. 또한, 60분 여과동안의 평균 Chl-a 제거율은 부상여재와 모래 충전깊이 80 cm : 20 cm, 50 cm : 50 cm 및 20 cm : 80 cm 각각에 대해 48 %, 37 % 및 20 %로 부상여재의 충전깊이가 적을수록 제거율은 대폭 감소하였다. 이들 결과로부터, Chl-a의 제거는 부상여재층의 깊이가 깊을수록 유리하며 모든 조합의 실험에서 부상여재가 주도적으로 Chl-a를 제거함을 알 수 있었다.

b) Mono-media

부상여재만을 20 cm, 50 cm 및 80 cm 충전한 실험결과를 Fig. 11에 나타내었고 모래만을 20 cm, 50 cm 및 80 cm 충전한 결과는 Fig. 12에 나타내었다. 또한, 각 그림의 (a)와 (b)는 각각 충전깊이별 여과시간에 따른 탁도의 제거와 Chl-a의 제거특성을 나타내는 것이다. Fig. 11의 그림들을 보면 부상여재의 깊이가 20 cm, 50 cm, 80 cm로 늘어남에 따라 60분 동안 탁도의 평균제거율은 각각 12.6 %, 20.8 %, 21.6 %였고, Chl-a의 평균제거율은 각각 13.7 %, 25.3 %, 36 %였다. 반면, Fig. 12의 그림들에서는 모래의 깊이 20 cm, 50 cm, 80 cm에 대해 탁도의 평균제거율은 11.8 %, 24.5 % 및 35.1 %이었고 Chl-a는 각각 12.7 %, 15.6 % 및 8 %였다.

따라서, 전반적인 제거특성은 탁도의 제거에는 모래가 부상여재보다 우수하나 Chl-a의 제거에는 부상여재가 모래보다 우수함을 알 수 있었다. 이는 dual-media 실험 결과와 일치하는 것이다. 또한, Fig. 11 (a)와 (b)의 결과를 비교해 보면 부상여재는 탁도보다 Chl-a를 제거함에 있어서 여재가 깊을수록 제거효율이 우수했음을 그리고 Fig. 12 (a)와 (b)의 비교로부터 모래의 깊이가 깊을수록 탁도의 제거가 우수했

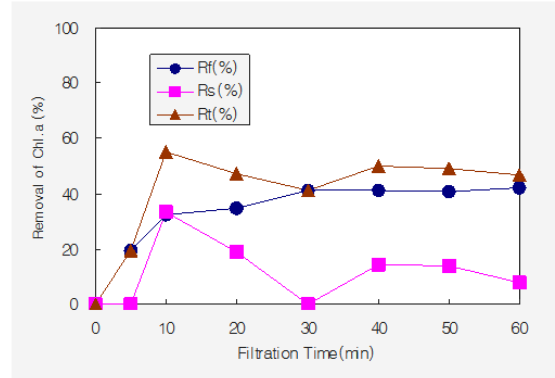
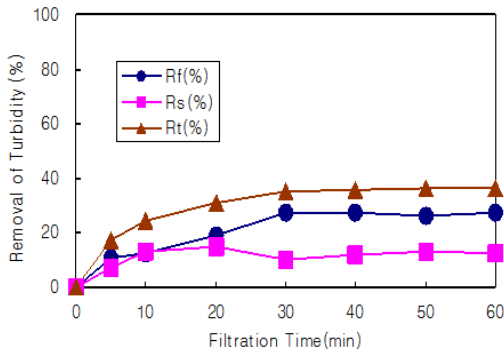


Fig. 8. Removal of (a) Turbidity and (b) Chl-a by 80 cm floating media and 20 cm sand

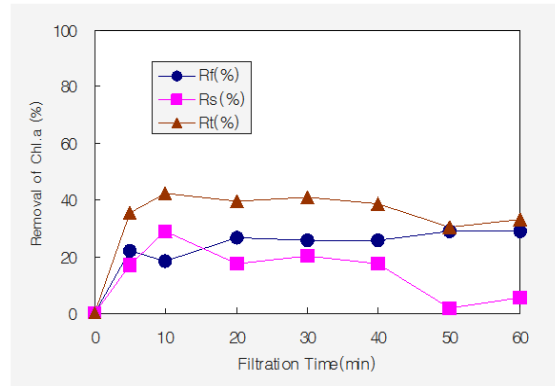
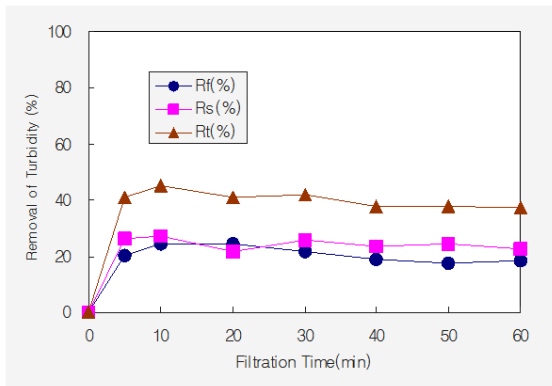


Fig. 9. Removal of (a) Turbidity and (b) Chl-a by 50 cm floating media and 50 cm sand

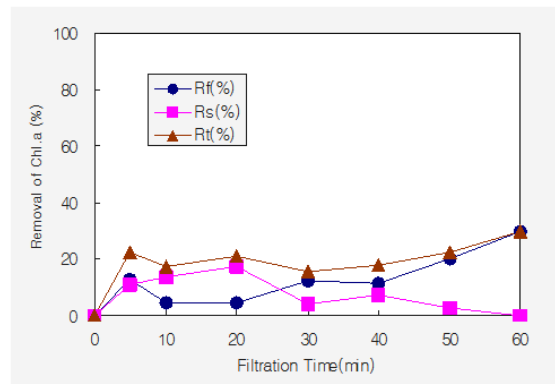
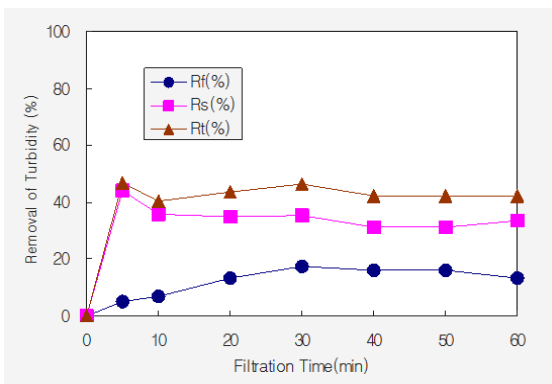


Fig. 10 Removal of (a) Turbidity and (b) Chl-a by 20 cm floating media and 80 cm sand

을 알 수 있다. 이들 결과는 dual-media 실험에서도 살펴보았듯이 탁도의 제거는 모래의 깊이에 보다 민감한 반면, Chl-a의 제거는 부상여제의 깊이에 보다 민감함을 확인하는 것이다.

3-2-2. 여과속도별 제거특성

여과속도별 제거특성 실험은 부상여제와 모래를 각각 80 cm와 20 cm로 충전한 여과장치를 사용하였다. 낙동강 지표수를 원수로 사용하

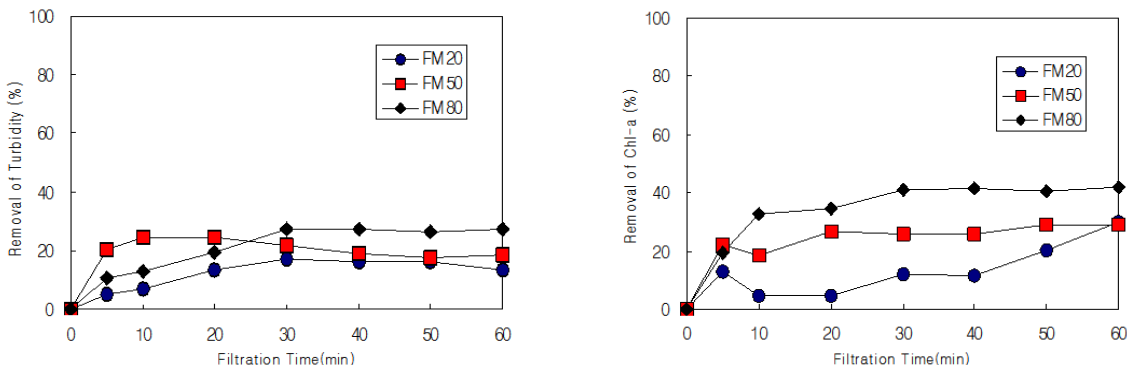


Fig. 11. Removal of (a) Turbidity and (b) Chl-a by different depth of Floating media (FM20, FM50 and FM80 represent 20 cm, 50 cm and 80 cm of floating media, respectively)

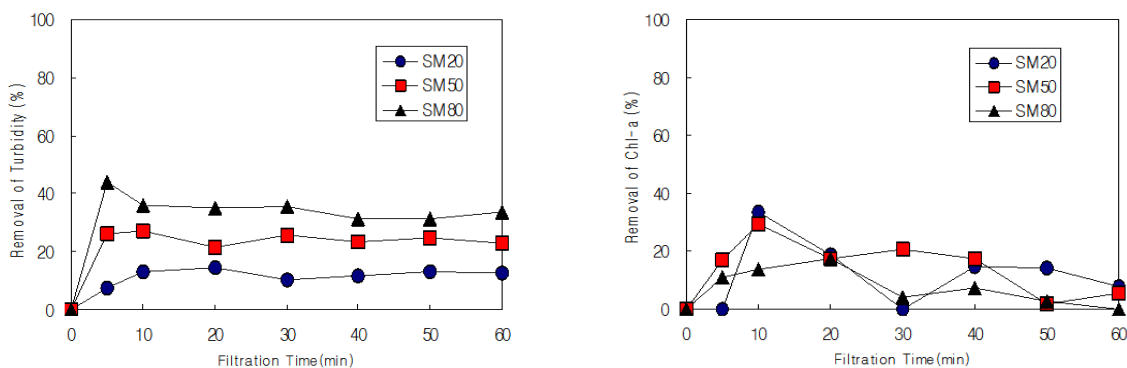


Fig. 12. Removal of (a) Turbidity and (b) Chl-a by different depth of sand (SM20, SM50 and SM80 represent 20 cm, 50 cm and 80 cm of sand, respectively)

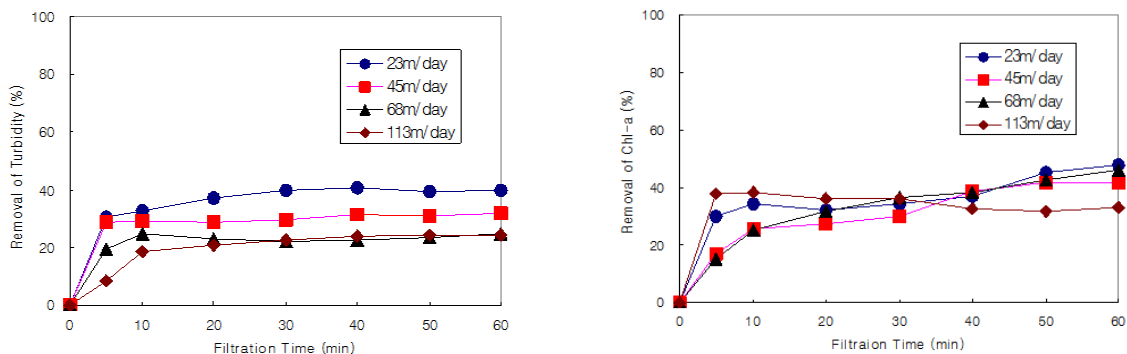


Fig. 13. Removal of (a) Turbidity and (b) Chl-a at the different velocities

였으며 여과속도는 23 m/day, 45 m/day, 68 m/day 및 113 m/day로 달리하여 60분간 여과를 수행하는 동안 여과수의 탁도와 Chl-a를 분석하였다. Fig. 13 (a)와 (b)은 각 시간별 탁도와 Chl-a의 제거율을 각각 보여주고 있다.

Fig. 13 (a)에서 보는 바와 같이 탁도의 제거는 여과속도가 증가함에 따라 다소 감소하는 경향을 보였다. 60분간의 평균 탁도 제거율은 여과속도 23 m/day, 45 m/day, 68 m/day 및 113 m/day에 대해 각각 37.2 %, 30.1 %, 22.8 %

및 20.4 %였다. 그러나 여과속도 증가폭에 따른 탁도제거율 감소폭은 일정하지 않았으며 특히 여과속도 68 m/day와 113 m/day의 탁도제거율은 큰 차이가 없었다. 한편, Fig. 13 (b)에서 보는 바와 같이 여과속도가 23 m/day에서 113 m/day로 증가하여도 Chl-a의 제거는 큰 영향이 없었다. 여과속도 23 m/day, 45 m/day, 68 m/day 및 113 m/day에 대해 평균 Chl-a의 제거율은 각각 37.3 %, 31.7 %, 33.7 % 및 35.1 %였다.

3-3. 부상여재-모래 여과장치의 정수처리효율 평가

지금까지의 실험결과들로부터 처리효율이 가장 우수한 부상여재-모래 여과장치의 운전조건으로 여과속도 72 m/day와 부상여재층 깊이 80 cm 및 모래층 깊이 20 cm를 선택하였다. 낙동강 원수를 유입수로 사용하여 이 조건의 여과장치를 60분 동안 운전하면서 10분 간격으로 유입수와 처리수에 대해 CODcr, TN, TP, DOC, UV₂₅₄, pH를 각각 분석함으로써 부상여재-모래 여과장치에 대한 정수처리효율을 평가하였다. 그 운전결과를 Fig. 14에 나타내었는데, 여기서 결과값은 각 수질항목들에 대한 60분간의 평균값이다.

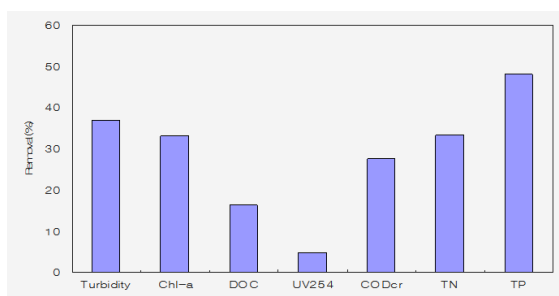


Fig. 14. Removal of floating media and sand filtration

그림에서 보는 바와 같이 부상여재-모래 여과장치는 TP, TN, 탁도, Chl-a 및 CODcr을 비교적 잘 제거하였는데 이들의 제거율은 모두 30 %를 상회하였다. 특히, TP는 50 %에 가까운

제거율을 보여주었다. 이들 결과는 부상여재-모래 여과장치가 SS, 탁도 및 조류성분을 비교적 쉽게 걸러냄으로써 결과적으로 인, 질소 및 COD도 함께 제거한 것으로 볼 수 있다. 본 공정이 약품응집 없이 단독으로 수행된 점을 감안한다면 이들 수질항목들에 대한 제거율은 우수한 것이라고 판단할 수 있다. 따라서, 본 공정을 기존 정수장의 전처리시설로 활용한다면 고탁도 및 조류 발생과 같은 비상시에 효과적으로 대처할 수 있을 것으로 기대된다. 한편, DOC와 UV₂₅₄는 20 % 미만의 제거율을 나타내었는데, 본 여과공정만으로 이들 용존성분 물질들을 충분히 제거하기에는 한계가 있는 것으로 파악된다. 그러므로 약품응집공정을 본 공정과 결합한다면 이들 용존성분 물질들도 효과적으로 제거할 수 있을 것이다. In-line 약품응집시설과 같은 장치를 결합함으로써 저에너지 및 저비용의 컴팩트한 중소규모 정수처리시설로써 향후 그 사용이 기대된다.

4. 결론

본 실험적 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 서로 다른 세 종류의 조류들은 부상여재-모래 필터에 의해 서로 다른 제거특성을 보여주었다. 총제거율은 60분간 변화가 없었지만 서로 다른 종류의 조류들은 부상여재와 모래 각각에 대해서 시간에 따라 다른 양상으로 제거되었다. 60분간의 평균제거율은 조류의 종류에 따라서 최대 2배 가까이 차이가 났으며 이에에는 부상여재의 역할이 큰 것으로 나타났다. 조류제거율은 여과속도가 증가할수록 감소하며 부상여재에 의한 조류제거가 모래에 의한 것보다 여과속도의 증가에 보다 더 민감했다.
2. Dual-media 필터의 충전깊이별 제거특성 실험으로부터 탁도의 제거에는 모래의 충전깊이가 더 큰 영향을 미치고 조류의 제

거에는 부상여재의 충전깊이가 훨씬 더 큰 영향을 미침을 알수 있었다. 이들 사실은 mono-media 실험들에서 검증되었다.

3. 여과속도가 증가할수록 탁도의 제거는 감소하나 조류의 제거는 큰 영향을 받지 않았다.
4. 부상여재-모래 여과장치는 TP, TN, 탁도, Chl-a 및 CODcr을 30 % 이상 제거 하였으나, DOC와 UV₂₅₄는 20 % 미만을 제거하였다.
5. 용존 유기물질의 제거를 위해서는 약품응집과 같은 추가 공정이 필요하나 부상여재와 모래로 구성된 이중여재장치만으로 조류와 탁도제거를 목적으로 하는 정수전처리용 시설로 훌륭한 효용성이 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 2006년도 신진교수 지원사업(과제번호 D00296)의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

김진근, 이송희, 방호희, 황수옥 (2009), 팔당호의 조류 발생 특성, 대한환경공학회지, 31(5), 325-331
윤상린, 김동하, 이영규 (2002), 응집과 여과를 이용한 조류의 초고속 제어에 관한 연구, 한국물환경학회지, 18(2), 221-228
이요상, 이선주 (2004), 홍수기 저수지 탁수발생 현황과 수처리 방안, 대한환경공학회 2004 추계학술연구발표회 논문집, 1119-1123
전항배, 이영주, 이돈주, 이병두 (1998), 여과지 폐색 조류제거를 위한 최적 응집제 조합연구, 대한환경공학회지, 20, 1803-1809
정관조, 이 경우, 김현희, 정의선, 박현, 한선희 (2010), 원수 pH, 조정에 의한 정수 수질 개선, 대한환경공학회지 32(5), 469-476
조석주 (1999), 겨울철 갈수기 조류의 정수관리, 수자원환경, 131, 78-83

최양순 (2005), 상수원수 중의 *Synedra acus*와 정수 생산장애에 관한 연구, 경기도 군포시 수도보 고서, 27pp
최태용 (2005), 수도분야 발전을 위한 연구개발(R&D) 시스템 정립을 위하여, 2005년도 한국물환경학회 · 대한상하수도학회 춘계포럼집, 15-22
Lee, B.H., Park, Y.S. and Ahn, K.H. (1999), Organic treatment and prediction of effluent concentration using fixed-bed biofilm reactor packed polypropylene media of a net form, J. Korean Society for Environmental Health, 25, 60-65
Mann, A. T. (1999), Performance of floating and sunken media biological aerated filters under unsteady state condition, Wat. Res., 33(4), 1108-1113
Ngo, H.H. and Vigneswaran, S. (1995), Application of floating media filter in water and wastewater treatment with contact-flocculation filtration arrangement, Wat. Res., 29(9), 2211-2213
Ngo, H.H. and Vigneswaran, S. (1998), Process optimization of a combined system of floating medium and sand filter in prawn farm effluent treatment, Wat. Sci. Tech., 38(4-5), 87-93
Ngo, H.H. and Vigneswaran, S. (2011), Removal of water-borne microorganisms in floating media filter-microfiltration system for water treatment, Bioresource Technology, 102, 5438-5443
Seo, J.B. and Kang, J.W. (2010), A kinetic study on the phosphorus adsorption by physical properties of activated carbon, J. Korean Society on Water Quality, 26, 491-496
Seo, J.W., Jang, H.S. and Kang, K.H. (2007), Performance evaluation of subsurface-flow wetland with media possessing different adsorption capacities for nitrogen and phosphorus, J. Korean Society on Water Quality, 23, 155-160
Weimin X. (2004), Upflow biological filtration with floating filter media, Process Biochemistry, 39, 765-770