

농업적 용수재이용을 위한 간헐분사 완속모래여과 하수재처리 효율 평가

Feasibility Study of Intermittent Slow Sand Filtration for Agricultural Reuse of Reclaimed Water

윤 춘 경* · 정 광 옥** · 함 종 화** · 황 하 선**

Chun G. Yoon · Kwang-Wook Jung · Jong-Hwa Ham · Ha-Sun Hwang

Abstract

A pilot study was performed to examine the feasibility of intermittent slow sand filtration for agricultural reuse of reclaimed water. The effluent of biofilter for 16-unit apartment was used as influent to the slow sand filtration system at 0.6 m³/day loading rate using 15 seconds spray in every 10 minutes on the about 1 m² surface area and 0.5 m depth. The influent concentrations of total coliform (TC), fecal coliform (FC), and E. coli were in the range of 10,000 MPN/100 mL, and they were reduced to less than 1,000 MPN/100 mL after filtration with average of 320, 270, and 154 MPN/100 mL, respectively, showing over 95 % removal. Turbidity and SS were improved effectively and their average concentration was reduced to 0.8 NTU and 1.7 mg/L, respectively, and removal rate was about 50 %. Average BOD and COD concentrations were also reduced substantially to 2.6 and 25.8 mg/L with about 55 and 27 % removal rate, respectively. Nutrients removal was relatively low and removal rate for T-N and T-P was low however, remaining nutrients might be beneficial and less concerned in case of agricultural reuse. The concentration of biofilter effluent used in this experiment was in the range of secondary treatment effluent but slightly stronger than the one from existing wastewater treatment plants (WWTPs). Therefore, intermittent slow sand filtration might be also applicable to the effluent from WWTPs as long as its agricultural reuse is available. Considering stable performance and effective removal of bacterial indicators as well as other water quality parameters, low maintenance, and cost-effectiveness, the intermittent slow sand filtration was thought to be an effective and feasible alternative for agricultural reuse of reclaimed water. This paper is a preliminary result from pilot study and further investigations are recommended on the optimum design parameters before full scale application.

Keywords : Intermittent slow sand filter, Wastewater reclamation, Water reuse, Total coliform, Turbidity, Organic matter, Nutrients

- * 건국대학교 지역건설환경공학과
- ** 건국대학교 대학원 지역건설환경공학과
- * Corresponding author. Tel.: +82-2-450-3747
fax: +82-2-446-2543
E-mail address: chunyoona@konkuk.ac.kr

I. 서 론

지속적인 인구의 증가, 지표수 및 지하수의 오염, 수자원의 불공정한 분배와 주기적이고 계절 편중적인 가뭄 등으로 수환경의 오염 및 수자원 부족현상은 날로 심각해지고 있다 (Han, 2002; Lee and Kim, 2001; George and Franklin, 1991). 우리나라의 경우 하천수는 강우의 계절적인 편중현상으로 갈수기인 10월부터 4월까지 전 유역에서 물 부족현상이 일어나 하천유지수량이 부족하게 되고 많은 하·폐수의 유입으로 수질오염은 날로 심각해지고 있다 (Kim, 1994). 또한, 우리 나라는 이미 물 부족 국가군으로 분류된 바 있다 (Kwun *et al.*, 1997).

이처럼 지구 전체에 걸쳐서 많은 지역들이 사용 가능한 수자원이 한계에 도달하면서, 용수부족문제에 대한 대책으로 댐 건설과 지표수의 효율적 이용, 새로운 지하수 개발 및 오염방지, 경제적인 해수담수화, 우수 재이용, 그리고 최근 들어 주목받고 있는 하수처리수의 재이용등 수자원 확보를 위한 노력이 다각도로 검토되고 있다. 하수처리수의 재이용은 수자원 보전 및 효율증대라는 측면에서 크게 관심을 끄는 대안으로써, 수자원의 양적인 측면과 함께 수계에 방류되었을 때 발생할 수 있는 수질문제를 경감시킬 수 있는 오염부하 저감측면에서도 관심을 가지게 한다. 물의 재처리 및 비음용수로서의 재이용은 이미 적용 중인 상·하수처리 기술만으로도 가능하기 때문에, 대부분의 국가에서도 적용 가능한 방법으로 우리 나라에서도 그 적용가능성이 크다고 할 수 있다 (U.S. EPA, 1992).

하수처리시설은 대부분 BOD₅나 영양물질의 충분한 제거를 통해 방류수 수질기준을 만족시키는 수준의 처리공정으로서, 재이용을 위한 수질을 모두 만족시키기는 어렵다 (Jari *et al.*, 2003). 또한, 우리나라에서는 수질환경 보전법 하수처리장 방류수 수질기준을 하수도법시행규칙 제6조의 별표 1의 규정으로 이관하였으며, 양질의 수자원 확보를 위

해 대장균군(total coliform, TC) 등의 항목이 추가되어, 일부 하수처리장에서는 고도처리를 통해서 수질기준에 부합하는 방류수를 생산하기 위한 노력과 소독시설의 적용성을 검토하고 있다 (M.O.E., 2002).

재이용을 목적으로 하수처리수를 이용할 경우, 적절한 재이용수 수질기준을 마련하여 그에 맞는 처리방법을 연구하여 적용하는 것이 무엇보다 중요하다. 우리나라에서는 제한된 범위의 하수재이용 기술이 활용되고 있으며, 그 이용량이나 실적이 미비한 실정이다. 건교부에서는 중수도의 개념을 도입하여 수세식변기 세척수, 살수용수, 조경용수 등의 수질기준을 마련하여 일정규모 이상의 건물과 공장등에 재이용시설 설치 및 운영을 법제화하였다 (M.O.C.T., 1992). 하수처리장 방류수를 처리하여 농업용수, 양어장 그리고 축산업 등에 대한 폭넓은 수질기준은 마련되어 있지 않은 상태로서, 하수처리수의 재이용을 위한 폭넓은 재이용수 수질기준 마련이 시급하다고 할 수 있다. 우리나라의 경우 농업용수의 사용량이 전체용수량의 약 50%를 차지할 정도로 사용량이 많기 때문에 하수 처리수를 재이용할수 있는 가능성이 매우 크다고 할 수 있다. 하수처리수를 재이용하기 위한 조건으로는 소비자가 사용할 때 무색·무취이어야 하며, 위생학적인 안정성 확보가 무엇보다 중요하기 때문에 미생물의 지표인 대장균군, 분원성 대장균군(Fecal coliform, FC) 그리고, 대장균(*E. coli*) 등과 BOD₅, 탁도, pH와 잔류염소 등을 수질기준 항목으로 정해 규제하고 있다 (Duncan and Sandy, 1989; U.S. EPA, 1992; Anderson *et al.*, 2001; Lee and Kim, 2001).

따라서, 하수처리수의 재이용이나 방류수의 수질 개선을 위해서 하수처리수를 여과, 질산·탈질화, 응집·침전 그리고, 활성탄흡착 등 많은 고도처리 기술들이 활용되고 있다. 모래 또는 혼합 여재를 통한 여과과정이 2차처리 후에 연결될 때 BOD₅, COD, 그리고 TOC의 45~85% 정도 제거할 수 있

으며 상당량의 미생물을 제거하며, 하수의 탁도를 매우 낮게 하여 후속되는 살균효과를 증대시키는 것으로 보고된바 있다 (Sanitation District of Los Angeles, 1977). U.S. EPA(1992)에 의하면 완속모래여과에서는 적절한 설계와 유지관리가 이루어지면 바이러스(Virus)의 90~99%의 제거가 이루어진다고 하였으며, 미생물의 제거는 급속여과와 비교했을 때 완속모래여과의 가장 큰 장점으로 소개하고 있다 (Goldstein *et al.*, 1972). 또한, 완속모래여과에서는 탁도 뿐만 아니라 색도와 맛과 냄새를 제거할 수 있는 것으로 알려져 있다 (U.S. EPA, 1992). 이는 심미적인 거부감을 없애기 위해 무색·무취이어야 하는 재이용수의 조건을 해결하는 방법이며, 수계로 방류되어 오염부하를 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 간헐분사방식의 완속모래여과장치는 모래층을 호기성으로 유지할 수 있기 때문에 호기성 미생물이 서식하여, 모래를 통한 여과기능이외에도 생물학적인 처리를 기대할 수 있는 장점을 갖고 있는 방법으로서 미생물이나 유기물질 등의 제거 효율을 높일 수 있는 방법으로 사용되고 있으며, 최근에는 하수의 3차 고도처리과정에 초점을 맞춘 연구가 진행되고 있다 (Nakhla and Farooq, 2003). 하지만, 완속모래 여과는 유입수의 오염농도가 낮아야 하기 때문에 전처리를 필요로 하며, 고형물질들이 모래여과 표면을 막음으로써 수두손실이 일어나 처리유량을 감소시키며, 여과가 성숙하기 전 낮은 처리효율을 보일 수 있는 단점이 있다 (Ron and Tchobanoglous, 1998).

본 연구에서는 2차 처리수준의 biofilter 유출수를 이용해 간헐분사방식의 완속모래여과장치 실험을 통해서, 미생물과 수질인자들의 처리효율을 평가함으로써 일반적인 하수처리수의 용수재이용에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 간헐분사방식의 완속모래여과 장치

간헐분사방식의 완속모래여과 장치는 직경(1.1 m), 높이(1.1 m)의 fiberglass reinforced plastics (F.R.P.)통을 이용하여 설계하였으며, 총 3개의 층으로 구분하였다. 바닥으로부터 5 cm에는 자갈을 깔고, 그 위에 입경 1~2 mm의 굵은 모래를 10 cm를 채웠고, 그 위의 부분은 입경 0.1~0.3 mm의 잔모래를 45 cm가량을 채웠다. 경기도 양평군 소재 연립주택에 설치된 처리용량 8 m³/day 규모의 호기성 biofilter 처리수를 완속모래여과 유입수로 이용하였다 (Fig 1). 완속모래여과의 유입장치는 모래여과 전 표면에 균등한 유량이 공급될 수 있게 설계하였으며, 먼저 유입된 유량을 처리한 후 다시 유입시키는 간헐분사방식을 선택하여 모래여과 전 부분을 호기성상태를 유지하게 하였다. 분사장치는 간헐적(intermittent) 분사를 위해서 biofilter 처리수를 저류한 후, 펌프 (1/6HP)에 콘트롤 박스 (control box)를 설치하여, 10분 간격으로 15초 동안 분사하였으며, 유입유량은 0.6 m³/day였다. 본 실험은 2002년 3월부터 12월까지 이루어졌으며, 완속모래여과장치는 실외에 설치하였으며 강우의 영향을 받지 않게 관리하였다.

수질측정항목은 분석시간이 비교적 빠르고 용수재이용과 관련이 많은 미생물, 유기물 그리고 영양물질 위주로 Standard Methods (APHA, 1995)에 따라 분석하였으며 항목별 처리방법은 Table 1과 같다. 미생물 분석은 최적 확산 시험법 (multiple-tube fermentation method, MPN)을 사용하였으며, DIFCO 사의 시약을 이용하였다. Total coliform은 Lauryl trptose broth, Fecal coliform은 EC broth 그리고 *E. coil*는 EC-MUG broth 시약을 사용하였다.

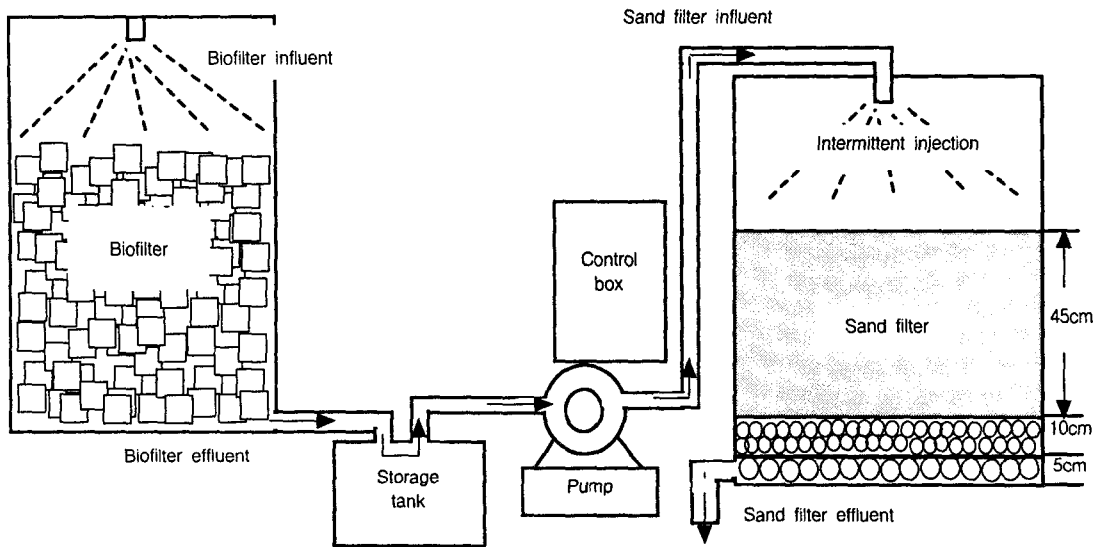


Fig. 1 Schematic of experimental system

Table 1 Analytical methods used for constituents

Constituents	Standard methods	Remark
DO	SM 4500-O C	Azide modification method
BOD ₅	SM 5210-B	5-day BOD test
SS	SM 2540-D	-
Turbidity	SM 2130-B	Nephelometric method
T-N		
Organic nitrogen	SM 4500-N _{org} -C	
NH ₃ -N	SM 4500-NH ₃ -D	BÜCHI 435와 B-316
NO ₂ -N	SM 4110-B	Dionex DX-100
NO ₃ -N	SM 4110-B	Dionex DX-100
T-P	SM 4500-P E	HP8452A spectrophotometer
Total coliform	SM 9221-B	
Fecal coliform	SM 9221-E	Multiple-tube fermentation method
<i>Escherichia coli</i>	SM 9221-F	

Table 2 Comparison of water quality of biofilter and conventional wastewater treatment systems

Parameter	Biofilter ^a		WWTP ^b	
	Influent	Effluent	Influent	Effluent
TC (MPN/100mL)	507,142	11,684	122,205	3,390
FC (MPN/100mL)	247,857	9,179	-	-
<i>E. coli</i> (MPN/100mL)	217,142	9,638	-	-
BOD ₅ (mg/L)	74.4	5.7	107.4	6.9
SS (mg/L)	55.8	3.8	111.7	5.9
Turbidity (NTU)	51.4	1.1	-	-
T-N (mg/L)	60.4	49.3	30.2	15.5
NH ₄ -N (mg/L)	44.9	9.1	-	-
NO ₃ -N (mg/L)	0.7	25.0	-	-
T-P (mg/L)	7.4	4.0	3.4	1.1
PO ₄ -P (mg/L)	2.3	4.2	-	-

^a : Mean concentration from March to December in 2002.

^b : National mean concentration of WWTPs in 2001. (M.O.E., 2001).

2. Biofilter와 Wastewater treatment plant(WWTP)의 수질

본 연구에 이용된 biofilter 유입수와 처리수의 2002년 3월에서 12월까지 1~2주 간격으로 샘플링(sampling)한 각 항목별 15~20 여개의 시료에

대한 평균 수질과 2001년도 전국 하수종말 처리시설(WWTP) 연 평균 수질이 Table 2에서와 같다. Biofilter 처리수가 TC의 경우 4.81배, T-P는

3.64배, 그리고 T-N의 경우 3.18배 정도 높은 상태이었고, SS와 BOD₅는 약간 낮은 상태이었다. 이러한 차이는 유입수질의 차이도 있으나 biofilter 처리의 경우 정화조에서 고형물질이 침전된 후 다른 처리과정이 없이 biofilter 한가지의 처리공정만을 거치는데, 일반 하수종말처리장에는 1차 처리, 2차 처리뿐만 아니라 일부에서는 고도처리 및 소독 처리까지 거친 후 방류하기 때문에 biofilter 처리수가 일반 하수종말처리장보다 상대적으로 높은 수치를 나타낸 것으로 판단된다.

III. 결과 및 고찰

1. 대장균군 (TC), 분원성 대장균군 (FC), 대장균 (*E. coli*)

미생물의 모래여과 유입수와 처리수의 미생물 농도와 처리율은 Fig 2와 같다. 유입수의 평균 TC, FC, *E. coli* 농도는 약 10⁴ MPN/100 mL로서 비교적 높은 수치를 나타내었으나, 완속모래여과 후에는 1,000 MPN/100 mL 이하로 낮아져서 평균 농도가 330, 207, 154 MPN/100 mL로 95% 이상의 높은 제거효율을 나타내었다. 다른 연구결과를 살펴보면 간헐분사방식의 모래 여과에서 TC,

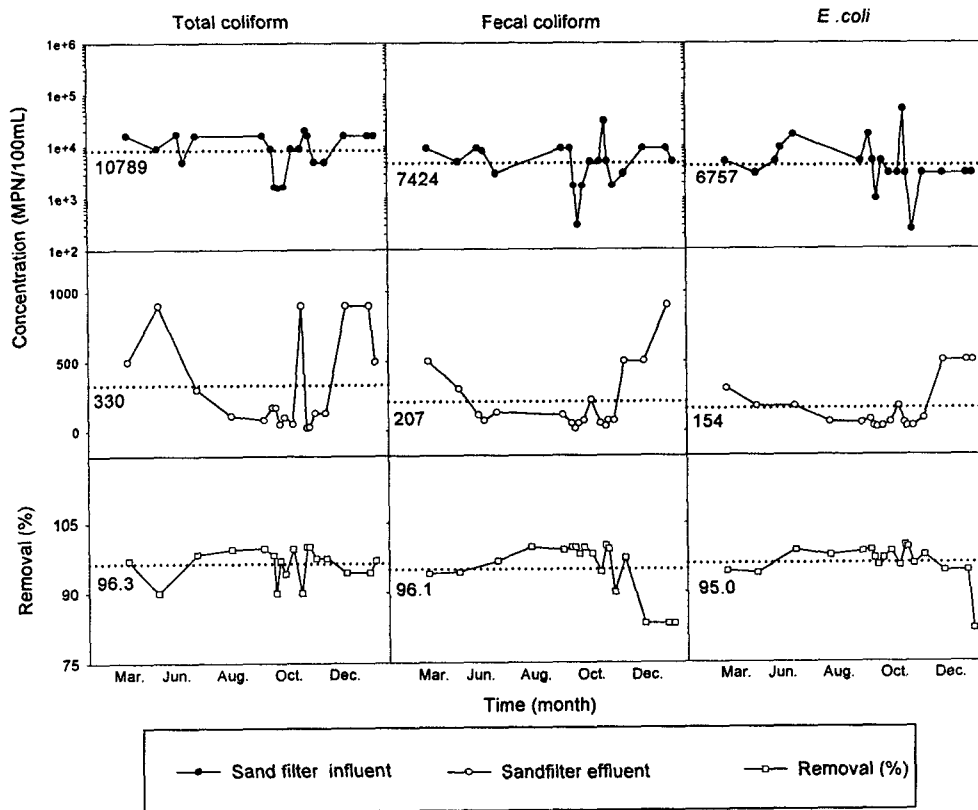


Fig. 2 Concentrations of TC, FC, and *E. coli* in slow sand filter system

FC의 경우 각각 3-log, 3.3-log의 평균 제거효율을 보였으며, 기온이 높은 시기에는 더 높은 처리효율을 보였다고 보고하였다 (Makni, 2001). Log 제거율은 일반적으로 단위가 큰 미생물에 많이 사용되는 방법으로서 log-1이 제거되었다는 의미는 약 10,000개 정도의 미생물이 약 1,000개 정도로 한 단위 제거되었다는 의미이다. Gold *et al.*(1992)은 FC의 경우 따뜻한 기후에서 더 높은 처리효율을 나타낸다고 하였다. 이는 본 연구 결과보다 약간 높은 처리효율인데 이유는 유입수의 농도가 상대적으로 높았기 때문에 처리효율이 높게 나타난 것으로 생각되며, 본 연구에서도 5월에서 11월 초순까지 대장균의 처리효율이 대체적으로 높아서, 온도가 대장균의 처리효율에 영향을 미친 것으로 생각된다. 그러나, 앞의 연구 결과와는 약간 다르게 Ausland *et al.*(2002)는 간헐분사방식의 완속모래여과 처리 후 129개의 샘플에서 FC가 완전히 제거되었고, 2~17°C 사이에서 처리효율 차이는 없으며, 미생물의 제거효율은 모래여과 내의 체류시간과 호기상태가 온도보다 중요하다고 발표하였다.

우리 나라 하수처리장 방류수 수질기준은 대장균군(TC)을 3,000 개/ mL로 규정하고 있으며, 하수도법 시행규칙을 2003년부터 강화하여 상수원보호구역 및 그 경계구역으로부터 상류로 유하거리 10 km 이내 지역과 취수시설로부터 상류로 유하거리 15 km 이내 지역은 방류수 수질기준을 1,000 개/mL로 강화하여 적용하고 있다. 모래여과를 거친 후 TC의 방류수 수질이 평균 330 MPN/100 mL로 방류수 수질기준을 충분히 만족시키기 때문에 하수처리장에 적용가능성이 높으며, 재이용수로서 사용할 경우에도 TC 뿐만 아니라, FC, *E. coli*의 농도를 낮게 유지할 수 있기 때문에 보건·위생상의 문제를 크게 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

2 탁도 (Turbidity), 부유물질 (SS, Suspended solid)

탁도와 SS의 유입수와 유출수 수질은 Fig. 3과

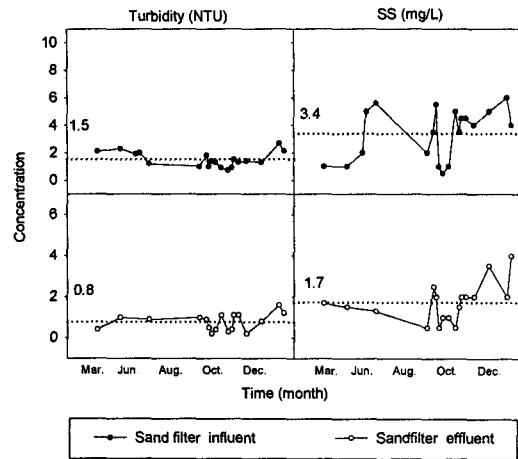


Fig. 3 Concentrations of turbidity and suspended solid in slow sand filter system

같다. 탁도의 경우 유입수 평균수질이 1.6 NTU에서 약 50% 제거되어 유출수의 농도가 평균 0.8 NTU로 나타났으며, SS의 경우는 유입수의 농도가 3.4 mg/L에서 약 50% 제거되어 유출수의 SS농도가 평균 1.7 mg/L 이었다. 국내·외 다른 연구 결과를 살펴보면, 모래층 여과깊이를 45 cm로 하였을 때 탁도 제거율이 41.4 ~ 51.1%의 처리효율을 보였으며(Lee, 1998), Water pollution control federation (WPCF)에서는 여과를 통한 평균 탁도와 SS의 제거 효율이 각 71, 73%라고 발표하였다(WPCF, 1989). SS의 농도가 3.4 mg/L로 상대적으로 낮은 농도였기 때문에 WPCF의 평균 처리효율보다 낮았던 것으로 판단되며, 모래여과를 거친 후 SS의 농도가 평균 1.7 mg/L로 매우 깨끗한 수질을 보였다. 탁도는 다른 수질 기준에는 사용되지 않지만, 먹는물 수질기준을 1 NTU로 제한하고 있는데, 완속모래여과 처리수의 경우 평균 0.8 NTU로 먹는물 수질기준에 부합하는 처리수준을 보였으며, 육안 관찰시에도 탁도와 SS가 거의 완전히 제거되어 매우 깨끗한 수준이었다.

또한, 유출수의 SS와 탁도가 저감됨에 따라 모래여과 후 소독과정이 이어질 때 그 효율을 높일 수 있을 것이라 판단되며, 특히 UV가 후속되는 소독

과정으로 사용될 경우 그 효율에 나쁜 영향을 미치는 SS를 저감시켜 그 처리효율을 높일 수 있을 것이라 판단된다.

탁도와 SS의 제거는 주로 여과기능에 의해 이루어지는데, 이러한 여과는 궁극적인 제거가 아니고 물리적인 분리과정이기 때문에 여과된 부유물질은 입자상태로 처리조내에 잔류하게 된다. 이렇게 잔류하는 고형물질중에서 유기물질들은 미생물에 의한 생물학적인 분해나 기타 화학적인 반응에 의해 궁극적인 제거를 기대할 수 있다. 그러나, 유입되어 잔류하는 고형물질의 부하량이 처리조내의 제거율을 초과하게 되면 처리조에 고형오염물질이 누적되어 모래여과의 전반적인 처리효율과 처리유량을 감소시킬 수 있다. 본 실험에서는 지난 10개월간의 실험에서 처리유량이나 처리효율저하는 나타나지 않았다. 만약, 처리유량과 처리 효율이 저하될 시에는 대부분의 고형물질과 같은 오염물질이 모래여과의 상층부(10~20 cm)에 존재하기 때문에 (Crites and Tchobanoglous, 1998), 상층부의 모래를 제거한 후 교체해 주는 방법으로 문제를 해결할 수 있을 것으로 생각된다.

3. 생화학적산소요구량 (BOD), 화학적산소요구량 (COD)

BOD₅와 COD의 완속모래여과 유입수와 유출수는 Fig. 4와 같다. BOD₅는 모래여과 유입수의 평균농도가 5.8 mg/L에서 유출수의 평균농도가 2.6 mg/L로 감소하였으며, 그 처리 효율이 약 55%이었다. COD는 유입수의 평균 농도가 35.1 mg/L에서 유출수의 평균농도가 25.8 mg/L로서 약 27%의 처리 효율을 보였다. Nakhla and Farooq (2003)는 BOD₅와 COD의 유출수 수질이 각각 1~2, 27~30 mg/L였으며, BOD₅의 평균 제거율이 65.4%고 COD의 평균 제거율은 34.9%로 본 연구결과와 유사한 형태 처리효율과 처리농도를 보였다.

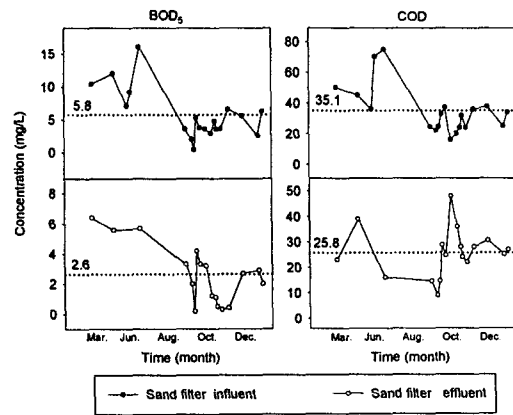


Fig. 4 Concentrations of BOD₅ and COD in slow sand filter system

유입수의 COD의 농도는 BOD₅ 농도보다 높았으며, COD의 처리효율은 BOD₅보다 낮았으나 제거되는 양은 약 5 mg/L로 더 많은 양을 나타내었다. 5월 말 BOD₅와 COD의 농도가 상대적으로 높은 수준이었음에도, 모래여과를 거친 후 처리수 농도는 크게 변화하지 않았다. 이는 유입수의 농도가 갑자기 증가하여도 완속모래여과를 거치면 유출수의 농도를 일정수준으로 유지할 수 있는 완충역할 (buffering)을 기대할 수 있을 것이라 판단된다.

4. 총인 (T-P, total phosphorus)

총인은 입자상태와 용해상태의 모든 인산성분을 합한것으로서, 일반적으로 하수나 폐수의 방류수 수질기준에서는 인성분을 총인으로 규제하고 있으며 (Yoon *et al.*, 2000), 본 연구에서는 총인과 용존성 인(PO₄-P)으로 구분하여 측정하였다. Fig. 5는 완속모래여과의 유입수와 유출수를 나타내었다. 용존성 인의 유입수와 유출수 농도를 비교해 볼 때 평균 2.7 mg/L로서 거의 같은 수치를 나타내어 거의 없었으나 총인으로 보았을 경우에는 평균 16.6% 처리효율을 나타내었다. 용존성 인의 경우는 완속모래여과를 거치면서, 여과(straining), 차단(interception), 흡착(sorption)등과 같은 과정에 의

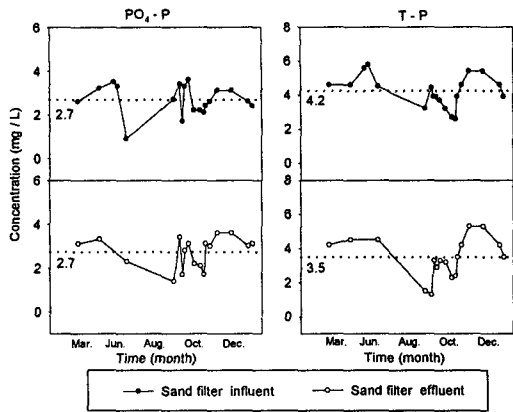


Fig. 5 Concentrations of phosphorus ($PO_4\text{-P}$, T-P) in slow sand filter

해서는 거의 제거되지 못하였고 입자성 인과 같은 인의 형태 일부가 제거된 것으로 생각된다.

5. 총질소 (T-N, total nitrogen)

총 질소는 인과 함께 식물생장에 필수요소이며 유기성 질소 (Org-N), 암모니아성 질소 ($NH_4\text{-}$

N), 아질산성 질소 ($NO_2\text{-N}$), 그리고 질산성 질소 ($NO_3\text{-N}$) 등의 형태로 자연계에 존재하며 (Yoon *et al.*, 2000), 본 연구에서 측정된 모래여과 유입수와 유출수의 농도는 Fig. 6과 같다.

모래여과 유입수의 총 질소 평균농도는 49.3 mg/L이었으며 유출수의 총 평균농도는 47.5 mg/L로서 처리효과는 거의 나타나지 않았다. 암모니아성 질소는 유입수가 평균 9.1 mg/L에서 평균 제거율 36%의 처리율을 나타내어 유출수의 평균농도는 5.8 mg/L 이었다. 질산성 질소는 평균 25.0 mg/L에서 평균 28.0 mg/L로 오히려 농도가 더 증가하였다. 그 이유는 호기성을 유지하고 있는 처리조직을 통과하면서 질산화작용 (nitrification)이 일어나 암모니아성 질소가 질산성 질소로 바뀌었기 때문이라 판단된다. 본 실험에서는 암모니아성 질소가 질산성 질소로 변환되는 과정을 제외하고는 일반적인 질소제거효과가 저조하게 나타났다. Nakhla and Farooq(2003)는 모래여재의 깊이를 50 cm로 하여 운전하였을 때 52%의 제거효율을 보였으며, 여재의 깊이를 150 cm에서는 67.5%의 질소

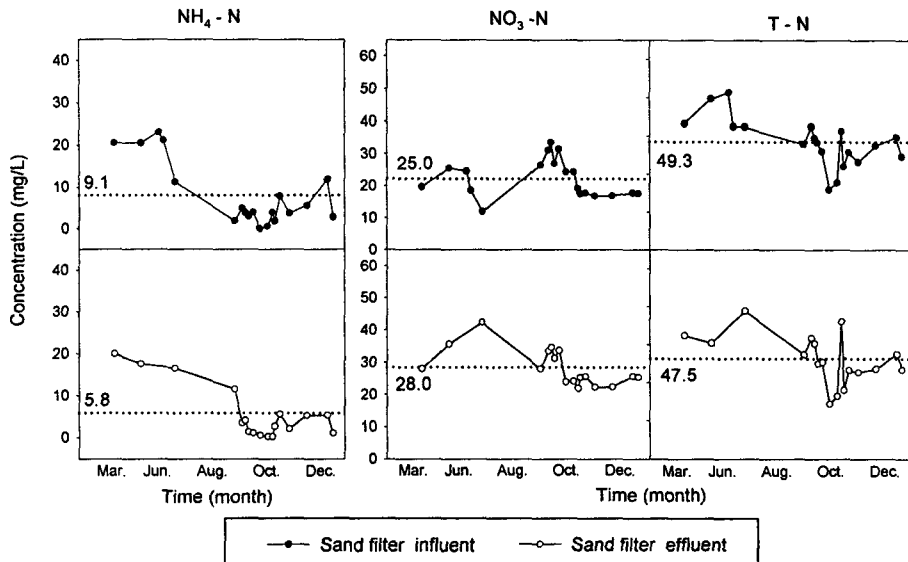


Fig. 6 Concentrations of nitrogen (T-N, $NH_4\text{-N}$, $NO_3\text{-N}$) in slow sand filter system

제거율을 보였다고 발표하였다. 본 연구의 완속모래여과를 통해 질소제거가 일어나지 못한 이유는 모래 전체가 간헐분사방식을 통해 호기성상태를 유지하였으며 모래의 깊이도 다른 연구에 비해 상대적으로 낮아, 혐기성 상태에서 일어날 수 있는 탈질화(denitrification)가 일어나지 못했기 때문으로 추정한다. 따라서, 모래층의 깊이를 더 깊게 하여 모래 하층부를 혐기상태로 유지하거나, 유입량을 증가시켜서 모래층 일부가 혐기성 상태가 유지된다면 질소제거 효과를 기대할 수 있을 것이라 판단된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 용수재이용을 위해 생활하수 처리수를 간헐분사방식의 완속모래여과 시스템 이용하여 하루 처리용량 0.6 m³/day로 처리하였을 경우 미생물과 각 수질인자들의 처리효과를 분석하였으며, 그 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 미생물의 처리효율은 TC, FC, *E. coli* 모두 유입수의 평균농도가 10⁴ MPN/100 mL이었으며 평균 95% 이상 높은 처리 효율을 나타내었고, 완속모래여과 후의 평균농도는 각각 330, 207, 154 MPN/100 mL 으로, 일반적인 하수처리수를 완속모래여과 처리과정을 거친 후 수계로 방류하거나 용수재이용에 이용될 때 보건·위생상의 문제를 크게 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

2. 탁도와 SS는 각각 1.6 NTU와 3.4 mg/L의 유입수 평균농도에서 모두 약 50%의 처리효율을 나타내었으며 유출수의 평균농도는 0.8 NTU와 1.7 mg/L를 나타내었다. 탁도의 완속모래여과 처리수의 경우 평균 0.8 NTU 로써 먹는물 수질기준인 1 NTU 수준이었고, 색도가 제거되어, 완속모래여과 시스템을 재이용에 이용할 경우 심미적인 문제를 해결할 수 있을 것이라 생각된다.

3. BOD₅는 모래여과 유입수의 평균농도가 5.8 mg/L에서 유출수의 평균농도가 2.6 mg/L로 감소하였으며, 그 처리 효율이 약 55%이었다. COD는

유입수의 평균 농도가 35.1 mg/L에서 유출수의 평균농도가 25.8 mg/L로서 약 27%의 처리 효율을 보였다. 하수처리장에 완속모래여과를 설치하여 운영한 후 수계로 방류할 경우 상당량의 유기물 오염 부하를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

4. 총 질소와 인의 평균농도는 각각 49.3 mg/L 와 4.2 mg/L이었으며 유출수의 총 평균농도는 47.5 mg/L 와 3.5 mg/L로서 처리효과는 거의 나타나지 않았다. 영양물질인 인이나 질소의 제거율은 상대적으로 낮아서, T-P의 경우는 약 16%, 그리고 T-N은 거의 제거가 일어나지 않았는데, T-P의 경우 입자성 성분의 일부가 제거된 결과이며, T-N은 질산화과정에 의해 암모니아성 질소가 질산성질소로 형태만 바뀌었으며, 궁극적인 T-N 제거는 거의 없었다. 이러한 영양물질이 수계로 직접 유입 될 경우에는 부영양화의 원인이 될 수 있지만, 농업적으로 재이용되면 자원화가 가능한 성분들로 농업용수 재이용에는 오히려 긍정적인 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 용수재이용을 위해서는 보건·위생상의 문제인 미생물과 사용자가 사용할 때 심미적인 불쾌감을 주지 않아야 한다. 본 연구에서 사용된 간헐분사방식의 완속모래여과의 경우 2차 처리수에서 95% 이상의 미생물을 제거하였으며, 탁도의 경우도 먹는물 수준인 0.8 NTU로 낮추었고, 유기물도 50% 정도 제거하였다. 용수재이용에 완속모래여과가 사용될 경우 보건위생상의 문제와 심미적인 문제를 동시에 해결할 수 있으며, 여과 후에 소독하는 시설을 이어질 경우 그 효율을 증대시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 간헐분사방식의 모래여과는 경제적이고 유지관리가 간편하기 때문에, 부지확보가 가능하고 농업용수로 재이용이 가능한 적정 규모까지의 하수처리시설에서는 고도 처리 시설로 사용할 경우에도 높은 적응성을 갖을 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 4-5-1)에 의해 수행되었습니다.

References

1. Anderson, J., A. Adin, J. Crook, C. Davis, R. Hultquist, B. Jimenez-Cisneros, W. Kennedy, B. Sheikh, and B. van de Merwe. 2001. Climbing the ladder: a step by step approach to international guidelines for *water recycling*. *Water Science and Technology*. 43(1): 1-8.
2. APHA, 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 19th Ed.*, APHA.
3. Ausland, G., T. K. Stevik, J. F. Hanssen, J. C. Kohler, and P. D. Jenssen. 2002. Intermittent filtration of wastewater - removal of fecal coliforms and fecal streptococci. *Water Research*. 26: 3507-3516.
4. Crites, R., and G. Tchobanoglous. 1998. *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*. WCB McGraw-Hill. pp. 708-710.
5. Dancan, M., and C. Sandy. 1989. *Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture*. WHO. pp. 78-82.
6. Gold, A. J., B. E. Lamb, G. W. Loomis, J. R. Boyd, V. J. Cabelli, and C. G. Mckiel. 1992. Wastewater renovation in buried filters and recirculating sand filter. *Journal of Environment Quality*. 21: 720-725.
7. Goldstein S., V. Weak, M. Fowler, and S. Poh. 1972. A study of selected economic and environmental aspects of individual home wastewater treatment systems. National Technical information Service. US Department of Commerce. Springfield. VA. pp. 10-29.
8. Jari, K., S. Anja, and H. T. Helvi. 2003. Elimination of enteric bacteria in biological - chemical wastewater treatment and tertiary filtration units. *Water Research*. 37(3): 690-698.
9. Makni, H. 2001. Disinfection of secondary effluents by infiltration percolation. *Water Science and Technology*. 43(12): 175-178.
10. Nakhla, G., and S. Farooq. 2003. Simultaneous nitrification-denitrification in slow sand filters. *Journal of Hazardous Materials*. B96: 291-303.
11. Ron, C. and G. Tchobanoglous. 1998. *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*. McGRAW-HILL.
12. Sanitation Districts of Los Angeles County. 1989. 1988-89 Annual ground water Recharge monitoring report. *Sanitation Districts of Los Angeles County*. Whittier, California.
13. US. EPA. 1992. *Manual - Guidelines for water reuse*. 1992. EPA/625/R-921004. *U.S. Agency international development*. <http://www.epa.gov>. Assessed 9 Aug. 2002.
14. Water Pollution Control Federation. 1989. *Water reuse (second edition)*. Manual of practice SM-3. Water Pollution Control Federation. Alexandria. Virginia.
15. Han, D. W. 2002. Treatment characteristics of rapid filtration process treating secondary clarifier effluent for wastewater reuse. (in Korean)
16. Kim, S. W. 1994. The effect of constructing a multipurpose dam on water quality in basin of Nan Dong river. *Technique of Water treatment*. 2(3): 115-131. (in Korean)
17. Kwun, S. K. 1997. Issues and Perspectives on the Demand and Supply of Agricultural Water, *Report of 47th Regular Monthly Seminar of the Forum for Agricultural and Rural Policy* : 50. (in Korean)
18. Lee, N. Y., and W. I. Kim. 2001. Water reuse using wastewater treatment plant

- effluent. *Journal of Environmental Hi-Technology*. pp. 100–109. (in Korean)
19. Lee, C. W. 1998. A study on the treatment efficiency of small water supply system using slow sand filtration and membrane separation. Master c. Seoul. Seoul university. (in Korean)
20. Ministry of construction and transportation (M.O.C.T.). 1992. A standard of equipment and guidelines for reclaimed water. (in Korean)
21. Ministry of Environment (M.O.E.). 2001. *The Water Quality Reports of Wastewater Treatment Plant*. 2001. (in Korean)
22. Ministry of Environment. 2002. *Guidelines for Setting Disinfection System in Wastewater Treatment Plant*, 1–5. (in Korean)
23. Yoon, C. G., S. K. Kwun, J. H. Ham, and J. K. Noh. 2000. Study on the performance of constructed wetland system for sewage treatment. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 42(4): 96–105. (in Korean)