

완속여과 공정에서 전처리 공정 도입에 따른 입자제거 효율평가 Evaluation of particulate removal in slow sand filtration processes

김성수* · 배철호 · 박노석 · 강석형

Seong-Su Kim* · Chul-Ho Bae · No-Suk Park · Suk-Hyung Kang

한국수자원공사 수자원연구원

(2008년 1월 18일 접수 ; 2008년 8월 4일 수정 ; 2008년 8월 11일 채택)

Abstract

Because of their simplicity, efficiency, and economy, slow sand filters are appropriate means of water treatment for small water systems. In this study, the effect of filtration velocity and dirty skin (Schmutzdecke) was evaluated on the performance of turbidity removal. Also, removal characteristics of particulate were investigated in the case of the usage of non-woven fabric on the surface of sand and the application of PCF as pretreatment process. Comparative column tests were carried out for the various operation condition. From the result of column tests, filtration velocity had little effect on the turbidity removal rate. The formation of algal biofilm on the surface of media is helpful in turbidity removal, while non-woven fabric is not as effective as expected. The relative contribution of biomass and accumulated particulates to head loss development in slow sand filters requires further study.

Key words : slow sand filtration, filtration velocity, Schmutzdecke, dirty skin

주 제 어 : 완속여과, 여과유속, 생물막

1. 서론

완속여과지는 상부표면에 형성된 생물여과막에 의하여 탁도, 유기물질, 철, 망간, 암모니아 등 무기물질, 바이러스, 병원성 미생물 등의 제거에 매우 효과적인 공정으로 알려져 있다(Clark and bautin, 2001; Roger and Gary, 2001; 전 등, 2004). 그러나 완속여과지는 탁도를 포함한 고농도의 오염물질은 제거하기 어렵고, 특히, 장마철 고탁도 유입 시 여과지의 급격한 폐색으로 운전이 어렵다. 현재 미국을

포함한 유럽 등 선진외국에서는 고탁도에 대응하기 위하여 여과지를 이중으로 설치하여 운영하는 방법(50 NTU 처리 가능)과 여재표면에 다공성의 특수물질이나 자갈(또는 Roughing filter 도입, 조류제거도 가능)등으로 덮어 여과시키는 방법(50 NTU 이상) 등이 검토되고 있다. 특히 최근 Giardia/Cryptosporidium 등과 같은 병원성 미생물을 포함하여 SOCs(Synthetic Organic Chemicals), 소독부산물, 무기물 등의 수질기준 강화에 대한 하나의 해결방안으로서 생물학적 처리공정에 대한 관심이 증대되면서 기존처리

시설에서의 생물학적 기능 강화로의 시스템의 변경, 개량, Upgrade 등을 위하여 완속여과지에 대한 생물학적 기능강화 방안에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다 (Poynter slade 1997; Timms 등, 1995; Clark and bautin, 2001; 신 등 2003; 전 등 2003).

그러나 국내의 경우에는 소규모 정수장에서 대부분 여과 공정으로 완속여과지가 사용은 되고 있으나, 사실상 소규모 정수장 근무인력 조차도 완속여과지의 여과기작에 대한 이해부족과 운영기술의 전문성 결여 등으로 완속여과지의 효율적인 운영이 이루어지지 못하고 있다. 특히 우리나라는 사계절이 뚜렷하고 홍수기에 고탁도 유입은 피할 수 없는 경우가 대부분이므로 완속여과지 시설 중 복류수를 원수로 사용하지 않는 정수장의 경우 전처리 공정이 없으면 탁도제거 측면에서 정수수질의 안전성 확보는 매우 어려운 실정이다. 또한, 국내에서 일부 고탁도 유입시 완속여과지의 여과속도 향상을 위한 연구가 실험실 규모에서 기초적인 연구가 수행된 바 있으나 아직까지 완속여과지의 운영, 시설개선, 그리고 물리적 또는 생물학적 기능강화를 위한 기술적 개발은 미흡한 실정이다(전 등, 2003).

일반적으로 완속여과 공정에서 물리적인 기능강화 방안으로는 Roughing Filter와 Schmutzdecke 발달 강화를 위한 여과매트의 적용 등이 있다. Roughing filter는 고탁도 원수가 유입할 경우 생물막이 폐색되어 활성을 잃을 뿐 아니라 여재가 막혀 정상적으로 상수를 생산할 수 없을 때, 고탁도를 제거하기 위한 목적의 전처리 방법 중 하나로서 원수처리 과정에서 완속여과 전에 사용되는 여과를 말한다. 여과매트의 경우 Graham and Mbwette 등(1991)은 Geotextile surface mats 또는 Reticulated polyurethane(망구조) 등이 물과 여재 경계면에서 입자의 역류를 향상시켜줌을 보고하였고, 또한 수두손실 발달 감소(여과지속시간 증가)와 재료내부에서의 생물학적 기능강화(전반적인 처리효율 증대)의 증거를 관측한 결과를 제시하고 있다.

우리나라 소규모 정수장의 수질안정성 확보를 위해서는 고탁도 유입에 대처하기 위한 전처리공정의 개발은 물론, 완속여과지의 여과 메커니즘 규명과 더불어 개선을 위한 연구가 무엇보다 시급하다. 따라서, 본 연구에서는 기존 완속여과지의 처리성능을 평가하고, 완속여과지 개선을 위한 부직포 사용에 따른 영향과 섬유사여과기(PCF)를 이용한 완속여과 전처리 공정에 의한 개선효과를 평가하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 완속여과지용 모형실험장치

2.1.1 개요

기존 완속여과지의 처리성능 평가와 고탁도 유입시 이를

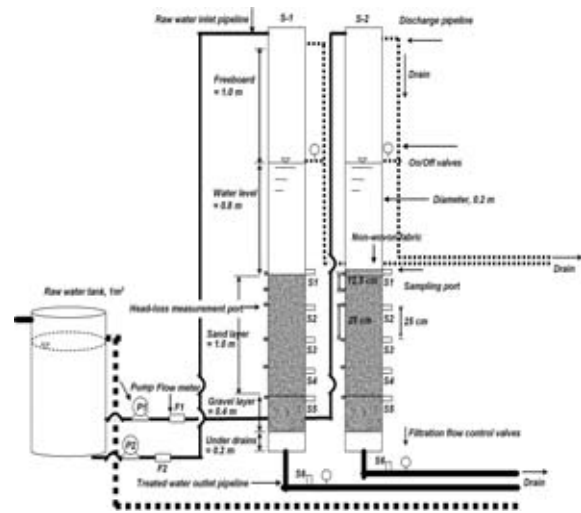


Fig. 1. 완속여과지 Pilot plant 구성도.

대처하기 위한 전처리 방안으로 여과지상부 부직포 설치에 따른 효과를 평가하기 위하여 L정수장 내에 Fig. 1과 같이 완속여과지 모형장치를 설치 운영하였다. 각 완속여과지 내에 설치된 모래는 Table 1과 같이 급속여과방식의 모래여재보다 작은 유효경 0.37 mm, 균등계수 1.7 mm이하인 모래를 각각 90 cm 높이로 설치하였고, 여과지상부에 설치할 부직포는 두께가 3 mm인 Non-woven fabric(NWF)을 8겹(총 2.4 cm)으로 설치하여 연구를 수행하였다.

2.1.2 운전조건 및 원수특성

부직포가 설치되지 않은 완속여과 모형플랜트의 운전유속은 일반적인 완속여과 공정의 운전 대표유속으로서 4 m/일과 원수 수질이 양호한 조건에서 상수도 시설기준에서 제시하고 있는 최대 유속인 8 m/일로 각각 운전하면서 평가를 수행하였다. 또한, 부직포가 설치된 여과지의 경우에는 4 m/일의 유속으로 운전을 수행하여 설치 유무에 따른 효율을 비교 평가하였다. 평가에 수행된 원수는 L정수장 공정수로 일반적으로 완속여과 공정에서의 유입원수 탁도범위인 2~5 NTU로 조정하여 수행하였으며, 유입원수의 용존유기탄소(DOC)는 2.4~5.0 mg/L범위이며, pH는 7.1~7.3 범위를 나타내었다.

Table 1. 완속여과지 모형장치에 충전된 여재 규격

모래	자갈
유효경(Effective size, ES) : 0.35 mm	· 4 층 구조, 100 mm 간격, 총 깊이 400 mm
균등계수(Uniformity, UC) 1.7 mm 이하	· 층별 여재크기 (0.4~25 mm)
여재깊이 : 900 mm	- 0.4~0.6 mm
	- 1.5~2.0 mm
	- 5~8 mm
	- 15~25 mm

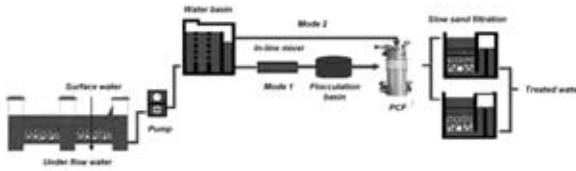


Fig. 2. 섬유사여과기 연계 실공정 완속여과지 구성도.

2.2. 섬유사여과기 연계 실공정 완속여과지

2.2.1 원수특성

섬유사여과기에 의한 전처리 효과에 대한 평가는 NS 소규모정수장 원수인 복류수(표류수가 일정 모래깊이(약 1.5m)를 통과한 복류수)를 이용하였다. 유입되는 복류수의 수온은 계절에 따라 6°C(3월)에서 27°C(8월)범위이었으며, pH는 계절에 관계없이 6.8 ~ 7.4(평균 pH 7.02) 범위로 안정적으로 유입되었다. 탁도는 0.45 ~ 37 NTU 범위(강우시에는 표류수 탁도 증가에 따른 영향으로 최고 37NTU까지 상승)이었으며, 알칼리도는 33.8 ~ 53.2 mg/L(as CaCO₃) 이었다.

2.2.2 운영조건

NS 소규모정수장에 설치된 섬유사여과기와 연계된 완속여과지 처리공정 구성도를 Fig. 2에 나타내었다. 섬유사여과기 연계 실공정 완속여과지 공정은 섬유사여과기 2개 모듈(ø600, 높이 900mm)로 설치하였고, 처리용량은 700 m³/일 규모이다. 유입원수 탁도가 5 NTU 이상으로 강우시 고탁도가 유입되는 경우에는 응집제를 투여하여 운영(Mode I)하였고, 유입원수 탁도가 5 NTU 이하인 경우에는 무응집제로 운영(Mode II)하였다 이때 섬유사여과기 운영을 위한 응집제 투여량은 탁도 상승에 따른 Jar-test를 수행하여 그 결과를 토대로 주입하였다.

2.3. 실내·외 환경조건의 Y정수장 모형플랜트

2.3.1 원수특성

실내·외 환경조건에 따른 완속여과지 효율평가를 위한 Y정수장 모형플랜트로 유입되는 원수는 하천수가 2.5 m의 집수매거를 통과한 복류수로서 pH는 5.8 ~ 7.4(평균 7.03), 부유물질(SS)은 0.1 ~ 0.7 mg/L(평균 0.22) 범위로 유입되었다. 용존산소(DO)는 5.8 ~ 12.5 mg/L(평균 9.1) 범위를 나타

Table 2. 완속여과지 모형장치에 충전된 여재 규격

여과조건	역세척 조건	
	여과면적 4.044m ²	역세척빈도
역세척 간격		여과압력조건이 0.3kgf/cm ²
여과속도 207.7m/d	역세척 시간	3분
	역세척속도	296m/d
	역세척 수량/처리수량	1~3%

냈으며, 탁도는 강우시 표류수의 탁도 상승에 의해 다소 증가되는 경향을 나타냈으며, 0.16 ~ 10 NTU(평균 0.56) 범위로 유입되었다.

2.3.2 운영조건

Y정수장 모형플랜트는 복류수를 유입원수로 약품 투입공정 및 침전공정 없이 직접 완속여과지로 유입되는 공정으로서 한 지당 여과속도는 4 m/일로 유량을 조정하여 평가하였다. Y정수장 모형플랜트 완속여과 컬럼은 환경조건을 햇빛의 영향을 전혀 받지 않는 실내(1지)와 햇빛의 영향을 직접적으로 받는 실외(2지)에 각각 설치하여 여층상부 생물막 생성에 따른 효율평가를 수행하였다. 여과사는 여재비중 2.65, 여재 유효경(d10) 0.30 ~ 0.45 mm이며, 여재균등계수(Uc)는 1.40 이하의 모래를 이용하였고, 여층 구성은 모래 80cm에 여과사리 60cm를 충전하여 사용하였다.

2.4. 분석방법

본 연구에서는 탁도 제거효율을 분석하기 위하여 유입원수와 처리수에 각각 On-line Turbidimeter (Micro TOL, HF Scientific, U.S.A.)를 설치하여 운영하였고, 여과 전·후 입자의 제거 거동특성을 평가하기 위하여 입자계수기(WQA-2000, USF/Stranco, U.S.A.)를 간헐적으로 설치 운영하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 여과속도 및 생물막 형성에 따른 탁질 처리효율

Fig. 3과 Fig. 4에 완속여과지의 여과속도 4 m/d(S-1지), 8 m/d(S-2지)에 따른 유입수 및 처리수의 탁도와 입자개수를 각각 나타내었다. Fig. 3에서 보이는 바와 같이 S-1과 S-2여과지 모두 운전 4일 후 최종 처리수 탁도가 1 NTU 이하로 급격히 감소하여 안정화 되었으며, 전반적으로 유입원수 탁도에 따라서 다소 증가 또는 감소되면서 안정화되는 경향을 나타내었다. 운영결과에서 보이는 바와 같이 여과속도 4 m/일과 8 m/일의 운전속도에 따른 유출수 수질은 탁도 제거 측면에서 평가한 결과 큰 차이를 나타내지 않았다. 또한, 유입수 및 유출수의 총 입자개수를 나타낸 Fig. 4를 보면 완속여과지를 통과한 후에는 두 운영조건 모두 총 입자개수 500 counts/mL 이하로 저감되었으며, 두 운영조건의 차이는 크게 나타나지 않았다. Fig. 5의 완속여과 전·후 입자크기 분포변화를 보면, 두 여과속도 조건에서 각각 처리수의 입자크기별 입자개수가 거의 유사한 것을 더욱 확연히 알 수 있다. 따라서, 동일한 수질의 원수를 대상으로 여과속도가 각각 4 m/d, 8 m/d로 두 배 정도의 차이가 있으나 탁도 및 입자 제거에서는 효율차이는 크지 않은 것으로 나타나, 해당 여과속도에서 다소 여과속도를 8 m/d까지 높이더라도 동일한 수준

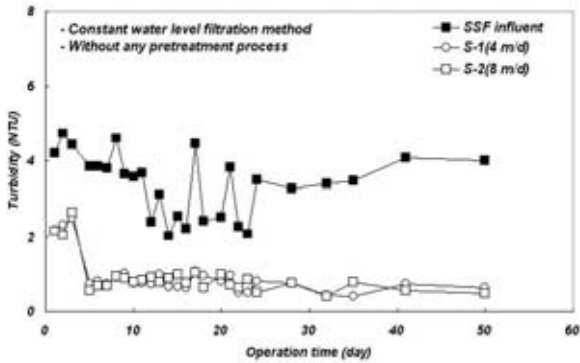


Fig. 3. 여과속도에 따른 탁도제거 경향 (정수위여과방식).

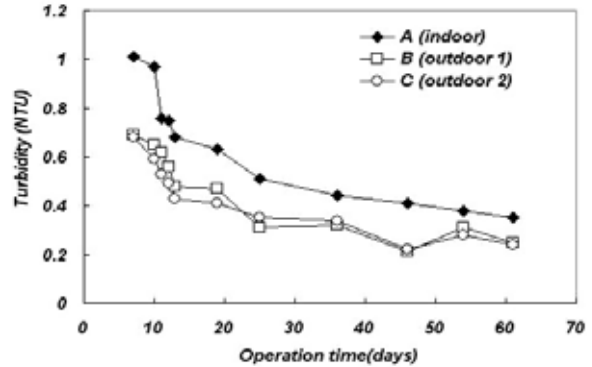


Fig. 6. 생물막 형성에 따른 완속여과 공정 운영초기 탁도 제거특성(Y정수장 모형플랜트).

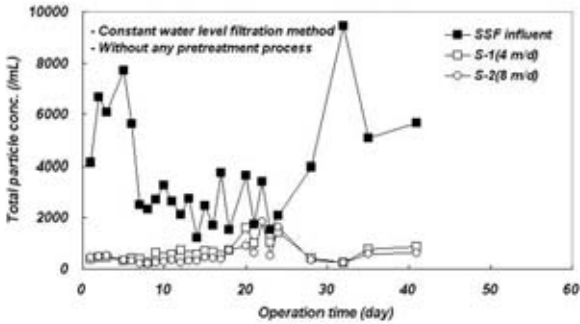


Fig. 4. 완속여과지에 의한 입자제거 변화 특성.

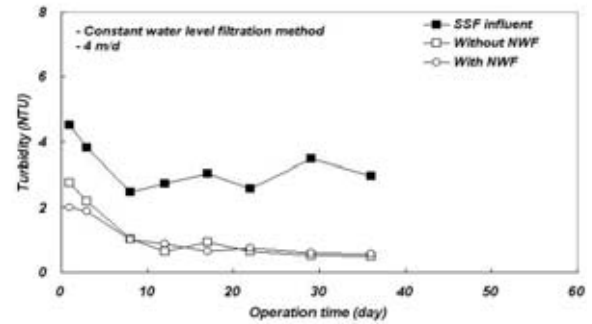


Fig. 7. 부직포 설치 유무에 따른 탁도 제거경향.

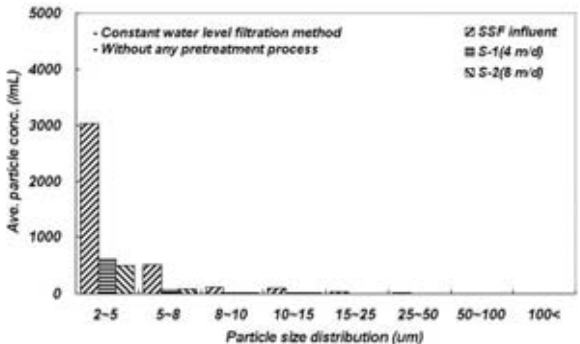


Fig. 5. 완속여과 공정에서 입자크기 분포 변화.

의 원수수질에서는 수질에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단된다. 그러나 이러한 경향은 일반적으로 원수수질이 일정한 조건에서 여과속도를 일정하게 유지하여 여과공정의 처리유량을 균등하게 운영할 때 나타나는 현상이며, 운영시 여과속도가 변경되는 경우에는 충격부하의 영향으로 일시적인 탁질 누출현상이 나타날 수 있는 것으로 예상된다.

또한, 완속여과 실공정 운영시 나타나는 표층 생물막의 생성은 이러한 탁질 제거효율을 일부 증가시킬 것으로 예상되지만, 본 연구에서는 실내에 설치된 모형장치를 이용하여 평가되어 이러한 생물막에 의한 탁도 제거효율의 증가는 나타나지 않은 것으로 판단된다. 그러나 Fig. 6의 Y정수장에서 수

행된 완속여과 모형실험 결과를 보면 알 수 있듯이 완속여과 공정 운영초기 대략 10일 이후부터 표층 생물막이 형성되어 실내에 설치 운영된 완속여과지에 비해 햇빛을 직접적으로 받은 야외 조건에서 운영된 완속여과지가 처리효율이 높게 나타났다.

따라서, 완속여과 공정의 운영에 있어서 여과속도 8 m/day 이하에서는 여과속도에 따른 처리수질의 차이는 크지 않으며, 유량의 일정한 유지 및 표층 생물막 유지관리 등 운영에 의한 처리수질의 차이가 더욱 크게 작용될 것으로 판단된다.

3.2. 부직포 설치 유무에 따른 효율평가

완속여과 공정에서 부직포의 적용은 모래 여층표면에서 발생하는 손실수두의 저감과 그로인한 운영시간의 증가, 부직포에서의 오염물질의 저감 효과 증대, 여층 삭취횟수 저감 또는 여층관리 효율성 등의 효과를 기대할 수 있다. 완속여과 표면에 부직포를 설치하여 설치되지 않은 여과지와 탁질 제거효과를 비교 평가하였다. Fig. 7과 Fig. 8에 완속여과지 상부에 부직포 설치 유(S-2)무(S-1)에 따른 처리수의 탁도 및 입자개수의 변화를 여과속도 4 m/d로 운영하면서 각각 나타내었다. 이때 유입원수의 탁도 범위는 2~5 NTU 이내였다. Fig. 7에서 보면, 운전 초기 다소 부직포 설치로 인하여, 완속

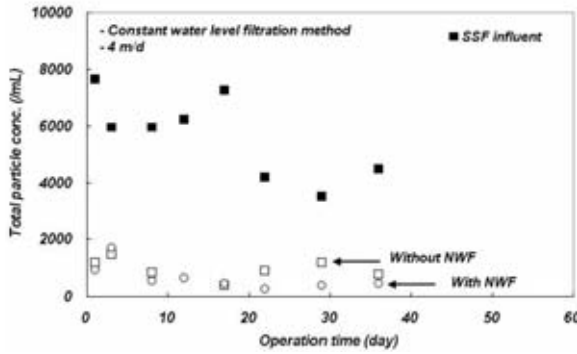


Fig. 8. 부직포 설치 유무에 따른 입자제거 변화.

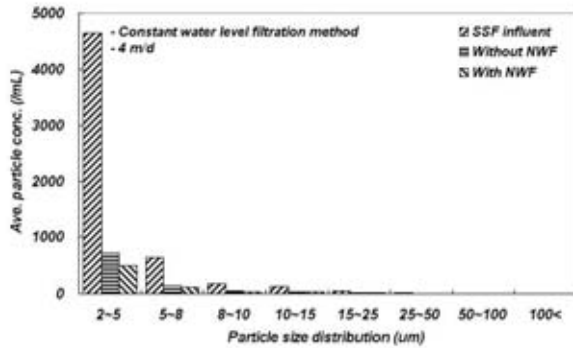


Fig. 9. 부직포 설치 유무에 따른 입자크기 분포 변화.

여과지 유출수에서의 탁도가 부직포를 설치하지 않는 S-1지에 비하여 다소 감소하는 경향을 보였으나 운영기간이 길어질수록 탁도 제거에서의 차이가 크지 않은 것으로 나타나, 유입원수 탁도 2~5 NTU 범위내에서 부직포 설치에 따른 탁도 제거효과는 미미한 것으로 나타났다. 그리고, 여과지 상부에 부직포 설치유무에 따른 입자개수의 처리효과를 보면 설치한 여과지에서 일부 시기 추가적인 제거가 나타났으나, 운전기간 동안 총 입자개수로 비교해 보면 평균적으로 약 5% 정도 추가적으로 제거되는 결과를 보이고 있다.

또한, Fig. 9의 부직포 설치 유무에 따른 입자크기 분포를 보면, 부직포를 설치하지 않은 S-1지에 비하여 S-2지에서 부직포 설치로 인하여 2~5 μm 범위 크기를 갖는 입자들의 제거율이 상대적으로 높게 나타났으나, 그 이상의 입자크기에서는 큰 차이를 나타내지 않았다. 따라서, 완속여과지 상부에 부직포 설치하는 유입원수 2 ~ 5 NTU 범위를 대상으로 탁도 제거측면에서는 큰 효과를 나타내지 않는 것으로 판단된다. 그러나, 완속여과지의 운영 및 유지관리 부분과 이러한 부직포 설치에 따른 생물막 형성에 미치는 영향 등은 좀 더 평가를 해야 할 것으로 판단되어 진다.

3.3. 전처리 장치(섬유사 여과기)에 의한 개선효과 일반적으로 완속여과 공정의 안정적인 운영과 양질의 처리

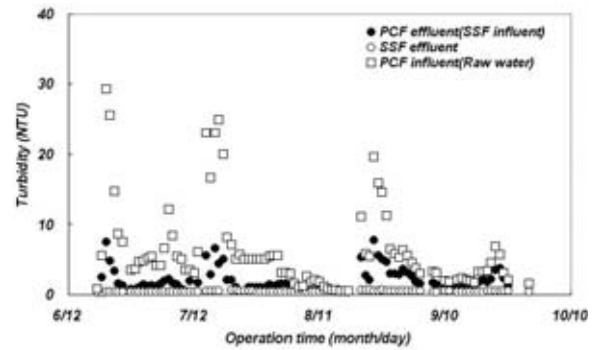


Fig. 10. 섬유사 여과기에 의한 완속여과지 수질개선 효과.

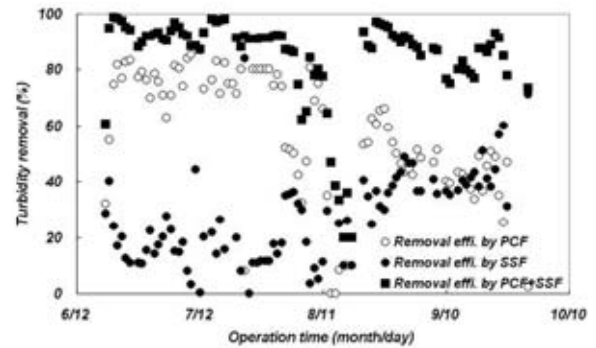


Fig. 11. 완속여과지 전처리공정 도입에 따른 탁도 제거효과.

수를 얻기 위해서는 기본적으로 유입원수의 수질이 절대적인 영향을 미치게 된다. 국내 완속여과 공정의 운영에 있어서 가장 어려운 문제는 원수 수질 저하시 대처가 거의 불가능하다는 것이다. 특히 원수의 고탁도가 유입되는 경우 완속여과 공정에서는 대처능이 부족하여 유출수의 탁도가 처리기준을 초과하는 경우가 발생할 가능성이 매우 크다. 이러한 경우 수처리 시설에서는 원수 수원을 변경하지 않는다면 추가적인 전처리 공정의 도입이 필수적인 대안인 경우가 대부분이다. 본 연구에서는 완속여과지 전처리 공정으로 섬유사 여과기(PCF)를 도입하여 그 개선효과를 평가하였다. Fig. 10와 Fig 11에 전처리 공정과 연계한 완속여과지의 운전 결과를 나타내었다. Fig 10에서 나타난 바와 같이 섬유사여과기로 유입되는 탁도는 매 강우시 마다 고탁도를 유지하였으나, 대부분 섬유사 여과기를 통과한 후에는 대부분 10 NTU 이하의 안정적인 수질을 유지하여, 완속여과지 후 유출수의 최종 탁도도 0.5 NTU로 안정적으로 유지되었다. 또한, Fig. 11의 각 처리 단계에 따른 탁도 제거율을 보면, 운전기간동안 섬유사여과기와 완속여과지를 거친 후 탁도 제거율은 평균적으로 84.3%이었으며, 이중 섬유사여과기의 기여율은 평균적으로 57.1%, 그리고 완속여과지의 기여율은 27.7%로 나타나 섬유사여과기에 의해서 전체적인 탁도 제거율에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다.

따라서 향후 표류수 등의 사용으로 인해 주기적인 고탁도의 원수가 유입되는 수처리 시설에서는 섬유사 여과기와 같은 전처리 공정 도입에 의해 고탁도를 크게 저감할 수 있으며, 완속여과지의 안전한 수질 생산에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

표류수 및 호소수를 수원으로 사용하는 완속여과 시설의 경우 홍수기에 고탁도 유입은 피할 수 없는 경우가 대부분이며, 복류수를 사용하는 완속여과 처리시설에서도 년중 일부 시기에 고탁도 유입으로 인한 수처리 애로사항을 가지고 있다. 본 연구에서는 이러한 완속여과 시설의 운영 및 개선을 위하여 기존 완속여과지의 운영시 운전 유속에 따른 처리 성능과 생물막 형성이 탁질 제거효율에 미치는 영향을 평가하고, 완속여과지 개선을 위한 부직포 사용에 따른 영향과 전처리 공정으로 섬유사 여과기를 통과한 원수를 이용하여 완속여과 전처리 공정에 의한 개선효과를 평가하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째 전처리 공정이 없는 단독 완속여과지 운영결과 유입 유량과 수질이 일정한 조건하에서 완속여과지의 일반적인 여과속도 범위인 4~8 m/일에서 여과속도는 수질에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타났다. 또한, 완속여과지 표층의 생물막 형성에 의해 탁질의 제거효율은 형성되지 않은 지에 비해 높게 나타났다.

둘째 완속여과지 여층 상부에 부직포를 설치한 경우, 유입 원수 탁도 2~5 NTU 범위내에서 부직포 설치에 따른 평가 결과 부직포를 설치하지 않는 여과지에 비해 설치한 여과지의 탁도가 다소 감소하는 경향을 보였으나 운영기간이 길어질수록 차이가 크지 않은 것으로 나타나 이러한 부직포 설치 효과는 미미한 것으로 판단된다.

셋째 완속여과지 전처리공정으로 섬유사여과기를 도입한 경우, 고탁도 유입시에도 섬유사 여과기를 통과한 후에는 대부분 10 NTU 이하의 안정적인 수질을 유지하여, 완속여과지 유출수의 최종 탁도도 0.5 NTU로 안정적으로 유지가 되었다. 따라서, 향후 표류수 등의 사용으로 인해 주기적인 고탁도의 원수가 유입되는 수처리 시설에서는 섬유사 여과기와 같은 전처리 공정 도입에 의해 고탁도를 크게 저감할 수 있으

며, 완속여과지의 안전한 수질 생산에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

완속여과지는 대부분 여과속도가 매우 느리고, 그 효과를 규명하는 데에는 장기간의 운전결과가 필요하다. 또한, 이러한 전처리 공정 뿐만 아니라 공정내의 조류 및 미생물 등의 생물학적인 환경조사 및 그에 따른 운영 조건의 도출 등이 완속여과지에서 안정적인 처리수질을 확보하기 위해 추후 연구가 필요한 것으로 판단된다. 따라서, 향후 국내 200개 이상의 수처리 시설에서 운영 중에 있는 완속여과지에 대한 최적 운영조건 도출하기 위해서는 장기간 지속적인 운영을 통한 평가가 필요하다.



참고문헌

1. 신승식, 홍진아, 전항배(2003), 완속여과 시스템에서 입자 제거와 손실수두(headloss)의 관계, *건설기술논문집*, Vol.22, No.1, pp.51~58.
2. 전항배, 이영주, 신승식(2003), "표면처리된 완속여과 시스템에서 입자 및 자연유기물(NOM)의 제거 특성 연구", *대한환경공학회지*, Vol.25, No.9, pp.1132~1137
3. Clark, R.M., Boutin, B.K., *Microbiological Removal by filtration Processes*, EPA/600/R-01/110, pp.8-1~8-16.
4. Graham, N.J.D., Mbwette, T.S.A.(1991), Protected slow sand filtration: specification of non-woven synthetic fabric layers, *Water Supply*, Vol.9, No.1, pp.157~164.
5. Roger W. K., and Gary S. L.(2001), "*Slow sand filtration*", World Water and Environmental Resources Congress, May 20-24, Orlando, Florida, USA, p.483.
6. Poynter, S.F.B., and Slade, J.S.(1997), "The removal of viruses by slow sand filtration", *Progress in Water Technology*, No.9, pp.75~88.
7. Timms, S., Slade, J.S., Fricker, C.R.(1995), Removal of cryptosporidium by slow sand filtration, *Water Science and Technology*, Vol.31, No.5, pp.81-84(4)