

ORIGINAL ARTICLE

## 정수장의 노후 급속 모래여과지 진단 및 개량

김상구 · 박현석<sup>1)</sup> · 손희종\* · 이정규 · 류동춘 · 유평중

부산시 상수도사업본부 수질연구소, <sup>1)</sup>부산시 상수도사업본부 화명정수사업소

### Diagnosis and Renovation of a Time-worn Rapid Sand Filter used for Drinking Water Treatment

Sang-Goo Kim, Hyun-Seog Park<sup>1)</sup>, Hee-Jong Son\*, Jeong-Gyu Lee, Dong-Choon Ryu, Pyung-Jong Yoo

Busan Water Quality Institute, Busan Water Authority, Gimhae 50804, Korea

<sup>1)</sup>Hwamyung Water Treatment Plant, Busan Water Authority, Busan 46529, Korea

#### Abstract

The H water treatment plant has been operating since 1982 and has had no renovation. It is assumed that the filters have been operated for more than 30 years and therefore are deteriorated. Many of the filters show an unequal state of air scouring during backwashing. For this study one filter, which was presumed most deteriorated among eighteen filters, was selected as a model filter for renovation. Some of the effects seen after renovation of the underdrain system were a lower average filtrated turbidity by approximately 0.02 NTU and an equal backwash state throughout the filter bed. Sand wash efficiencies by backwash before renovation of the underdrain system were 28%, 8%, and 5% at the surface, 50 cm depth, and 100 cm depth, respectively, and after renovation of the underdrain system were 94%, 26%, and 15%, respectively. The standard deviation of the effective sand size was 0.025-0.033 mm before renovation of the underdrain system and 0.002-0.011 mm after renovation of the underdrain system, meanings there was equal backwash pressure throughout the filter. Filtration time after renovation was approximately 2 times longer than before renovation.

**Key words** : Sand filter, Underdrain system, Renovation, Backwash, Turbidity, Filtration time

#### 1. 서론

정수처리 공정에서 사용되는 급속 모래여과지는 수중의 입자상 물질들의 최종 제거공정으로 사용되고 있으며, 유입수 중에 함유되어 있는 바이러스 및 원생동물을 99% 이상 제거함으로써 정수처리기준을 만족시키는 매우 중요한 역할을 한다(Ongerth and Pecoraro, 1995; Shaw et al., 2000). 일반적으로 정수장에서 급속 모래여

과지의 유지관리에 가장 중요한 운영인자로는 역세척이며, 역세척 효율에 따라 생산수량 및 수질에 많은 영향을 미친다(Monk, 1987).

급속 모래여과지의 역세척은 하부집수장치의 구조나 운전형태에 따라 역세척 방식에 많은 차이가 있으며, 일반적으로 물과 공기를 혼용하는 스트레이너 방식의 하부집수장치가 미국과 일본을 비롯하여 전 세계적으로 많이 채택되어 사용되고 있다(Monk, 1987). 역세척 효율은

Received 29 April, 2016; Revised 10 June, 2016;

Accepted 13 June, 2016

\*Corresponding author: Hee-Jong Son, Busan Water Quality Institute,

Busan Water Authority, Gimhae 50804, Korea

Phone: +82-51-669-4626

E-mail: menuturk@hanmail.net

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

역세척에 사용되는 물(역세척수)과 공기(역세척 공기)가 일시에 여과지 전체에 균등한 압력으로 공급되는가에 따라 역세척 효율에 많은 차이를 유발한다(Monk, 1987).

급속 모래여과지의 사용연한이 오래되면 여과지의 하부 집수장치와 여과지 하부의 여러 구조물들의 노후화로 구조적인 변형이 발생해 역세수 및 역세 공기가 불균등하게 공급되어 여층 전반에 균등한 세정이 이루어지지 않으며 이로 인해 여과시에도 역세척이 진행되어 잘 세척된 여재쪽으로 집중적으로 여과가 진행된다.

본 연구는 실제 정수장에서 30년 이상 사용한 노후 급속 모래여과지에서 발생하는 문제점들과 개량시 노후 여과지 전체 구조물의 변형을 최소화하여 최소의 투자로 최대의 효율을 얻을 수 있는 급속 모래여과지 개량방법을 제시하고자 한다.

## 2. 실험 재료 및 방법

### 2.1. 실험 재료

#### 2.1.1. 노후 급속모래여과지

노후 급속 모래여과지는 H 정수장의 18개 노후 여과지 개량방향을 결정하기 위하여 한지를 우선 선정하였다. 조사 대상 노후 여과지는 중앙에 0.95 m×17.46 m의 퇴수로를 중심으로 좌우로 세로 17.46 m×가로 3.88 m의 여과층이 2지로 구성되어 있다. 여층의 구성은 스트레이너 형태의 하부집수장치 위에 105 cm 깊이의 여과사(유효입경 : 0.9~1.0 mm)가 충전되어 있다.

### 2.2. 실험 방법

#### 2.2.1. 급속 모래여과지 효율 진단

급속 모래여과지의 효율 진단을 위해 여층 깊이별 여재 입경분포, 여재 오염도 및 여과사의 잔류탁도를 조사하였다.

여층 깊이별 여재 입경분포 및 여재 오염도 조사를 위해 여과지 퇴수로를 중심으로 좌우편 여상 안쪽, 중앙 및 바깥위치의 여재를 표층, 50 cm 및 100 cm 깊이의 여과사를 채취하였으며, Fig. 1에 채취 위치를 나타냈다. 여재 오염도 측정은 각각의 채취 위치에서 깊이별로 채취된 여과사 100 g씩을 순수 100 mL에 취해 격렬히 혼합한 후 각각의 여과사들에서 탈리되어 순수에 잔류하는 탁도를 측정하였다. 또한, 입경분포 조사는 체눈 크기

2.0 mm, 1.4 mm, 1.0 mm, 0.7 mm 및 0.5 mm의 5종류 체를 이용하였다.

여과효율은 개량된 여과지 처리수 중의 잔류탁도와 개량하지 않은 이웃 여과지 처리수의 잔류탁도를 상호 비교하여 여과지 공사의 효율을 평가하였다.



Fig. 1. Figure of time-worn rapid sand filter and sampling sites.

#### 2.2.2. 노후 급속모래여과지 개량

노후 급속모래여과지의 개량공사는 여과지의 전체 구조는 변형시키지 않고, 노후된 하부집수장치와 받침보의 전면 교체 및 하부 집수장치(블록) 하부에 설치되어 30년간의 사용으로 인한 구조적 변형이 유발된 공기 및 물의 유입시설에 대한 개량공사를 시행하였다.

노후된 스트레이너형 하부 집수장치는 사수방지형 하부 집수장치로 교체하였다. 사수방지형 하부 집수장치는 사수방지형 유공블록과 사수방지형 스트레이너를 일체화시킨 개념으로 기존의 평평한 유공블록 표면이 아닌 스트레이너를 중심으로 블록표면에 사수방지턱을 만들어 스트레이너에서 분출된 역세척수가 전체적으로 유공블록 표면을 세척하여 블록표면에 사수구역을 발생시키지 않는 구조인 하부 집수장치이다. 또한 사수방지형 스트레이너는 기존 스트레이너인 수평으로 분출되는 방식이 아니라 헤드상부에도 역세척 공기와 물이 분출되어 스트레이너 헤드부분인 사수구역을 방지하는 구조로 되어 있는데 그 형태는 Fig. 2와 같다.

역세척 공기 유입구의 개량은 역세척시 공기 관랑에서 하부 집수장치 하부로 유입되는 공기유입구들이 구조적 변형이 유발되어 수평이 되지 않아 상대적으로 압력

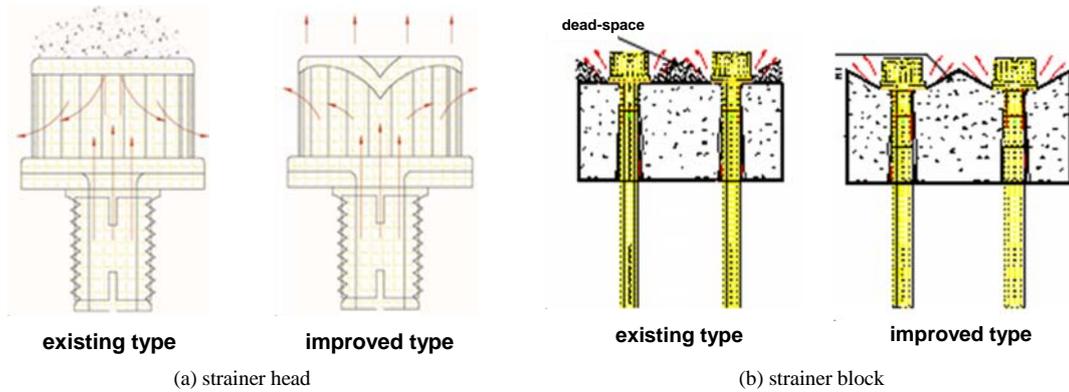


Fig. 2. Shapes of strainer head and strainer block.

이 낮은 높은 위치의 공기 유입부 쪽으로 쏠리게 되어 균 등한 역세척이 이루어지지 않아 역세척 공기 유입구의 위치를 수평으로 재시공하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 노후 급속 모래여과지 개량 작업

30년간 사용되어온 급속 모래여과지는 장기간 사용에 따른 노후화로 인해 구조물의 변형이 유발되어 자체 진단에서 역세척 수행시 역세공기가 여층 전반에 불균등하게 공급되었고, 하부 집수장치 상부의 여과사를 제거한 후 시행된 무부하 테스트에서도 많은 부분의 스트레이너 블록에서 역세척 공기가 분출되지 않는 것을 확인하였다. 현재 H 정수장의 여과지는 다른 정수공정과 수리학적으로 연계가 되어있어 여과지의 전체 구조는 변형시키지 않는 범위 내에서 개량공사가 필요하였다.

급속 모래여과지의 개량공사 진행과정을 사진으로

Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이 여과사를 제거하고(Fig. 3(a)), 하부 집수장치를 철거한 후 하부 집수장치 받침보를 철거하였으며(Fig. 3(b)) 다음으로 물과 공기 유입구 및 하부 집수장치 받침보를 재시공한 후(Fig. 3(c)), 사수방지형 하부 집수장치를 받침보 상부에 설치하였다(Fig. 3(d)).

3.2. 노후 급속 모래여과지 개량에 따른 하부 집수장치 압력 분포

노후된 급속 모래여과지 개량공사 전·후의 개량 효과 평가를 위해 역세척 과정에서의 역세공기 압력분포 실험을 수행하였다. 역세공기에 대한 압력분포 실험은 육안 관찰로 평가하였으며, 육안관찰 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4의 (a)는 노후 급속 모래여과지 개량공사 이전의 공기 역세척 사진(좌)과 여과사를 걷어낸 무부하 상태에서의 공기 역세척 사진(Fig. 4 (b))을 나타낸 것으로 공기 역세척 과정을 촬영한 사진(좌)을 보면 역세척 공기



Fig. 3. Photographs of sand filter renovation processes.



Fig. 4. Photographs of state of air scouring before and after renovation of underdrain system.

가 한쪽으로 편중되어 수층 표면에서 과도한 공기분출 현상이 나타나는 것을 볼 수 있으며, 무부하 상태에서의 공기 역세척 과정을 나타낸 우측 사진에서는 몇몇 스트레이너 블록에서는 역세척 공기의 분출이 전혀 관찰되지 않는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 여과지 역세척시 압력이 낮은 부분을 중심으로 역세가 집중적으로 이루어져 여재 교란의 원인이 되고, 여재가 교란되는 부분에서는 여층이 집중적으로 세척된다. 이러한 부분에서는 역세척이 잘 수행되지 않은 부분에 비해 여과시에 수류의 흐름이 편중되어 상대적으로 높은 여과속도를 나타내며, 상대적으로 많은 처리수량을 생산한다. 따라서 편중된 역세척으로 과도한 세척이 이루어진 여층에서 여과수의 탁도 누출이 증가할 가능성이 높아진다.

노후 급속 모래여과지 개량공사 이후에는 Fig. 4(b)에 나타난 사진에서 볼 수 있듯이 편중된 과다 공기분출현상 없이 스트레이너블록의 레벨이 잘 이루어져 균등한 공기분출이 나타나고 있다.

### 3.3. 노후 급속 모래여과지 개량에 따른 여과 효율 비교

노후 급속 모래여과지의 개량효과를 평가하기 위하여 개량된 급속 모래여과지와 노후된 이웃 급속 모래여과지에 대한 처리수의 탁도를 평가하였다. 실험에 사용된 두 여과지를 동일한 조건으로 역세척하고 여과지가 안정화된 이후에 동일한 유입수 조건에서 10시간 동안 매 15분마다 여과된 처리수를 채수하여 탁도를 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5에서 볼 수 있듯이 노후된 이웃 여과지의 처리수 탁도는 10시간 동안의 실험기간 동안 0.06~0.14 NTU의 범위였으며, 평균 탁도는 0.086 NTU를 나타내었다. 반면 개량된 급속 모래여과지 처리수의 탁도는 10시간의 실험기간 동안 초기부터 0.06 NTU를 유지하여 노후 급속 모래여과지에 비해 우수한 여과효율을 나타내었다. 이러한 현상은 앞에서 서술한 바와 같이 역세척시 공급되는 공기의 균등한 분배로 인해 전체 여과지 면적에 균등한 역세척이 실시되어 여과지 일부분으로 편중된 여과현상이 발생하지 않아 안정한 여과수 탁도를 유지한 것으로 보인다.

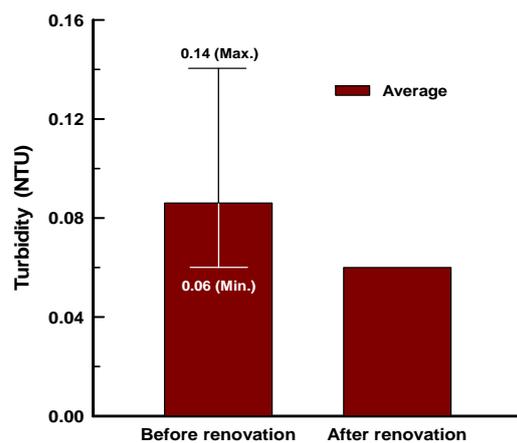


Fig. 5. Comparing filtrates turbidity of renovated filter with existing filter for 10 hours.

**Table 1.** Backwash efficiency before and after renovation of underdrain system

Filter depth	Attached turbidity (NTU)	
	Before renovation	After renovation
10 cm	310~357	150~198
50 cm	475~1073	110~161
100 cm	1084~2046	125~150

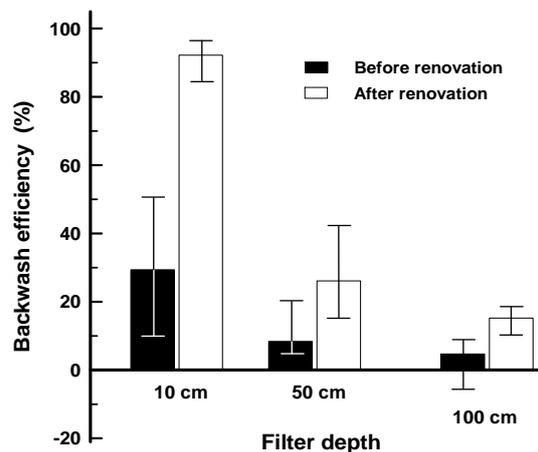
### 3.4. 하부집수장치 개량에 따른 역세척 효율 평가

급속 모래여과지의 여재로 사용되는 여과사의 오염도는 적절한 역세척에 의해 방지할 수 있다. 그러나 역세척이 원활히 수행되지 못할 경우에는 여과사에 부착된 역류물들이 역세척에 의해 충분히 탈리되지 못하여 여과사의 오염이 급속도로 진행될 수 있다(Kawamura, 2000).

노후 급속 모래여과지의 개량 효과를 평가하기 위하여 개량된 급속 모래여과지와 노후된 이웃 급속 모래여과지에 대해 역세척 직전의 여층 깊이별 여과사 부착탁질을 조사한 결과를 Table 1에 나타내었다. 노후된 이웃 여과지의 경우 표층 10 cm의 여과사에서의 부착탁질은 310~357 NTU의 범위로 나타났고, 여층의 깊이가 50 cm와 100 cm로 각각 깊어질수록 475~1073 NTU 및 1084~2046 NTU로 증가하였다. 개량된 여과지의 경우는 전 여층에서 여과사 부착탁질이 일정하게 나타났다. 일반적으로 급속 모래여과지의 여층 오염도는 오염물질의 부하율이 높은 표층이 높고 여층 하부로 갈수록 낮아지는 경향을 보인다. 그러나 노후 여과지의 경우 여과지 하부의 하부로 갈수록 여과사 오염도가 표층보다 높게 나타나고 있으며, 이는 노후 여과지의 여과사의 경우 3년 이상 사용하면서 여과지의 여러 구조적인 문제점으로 인해 충분한 역세척이 수행되지 못하여 여과사의 표면에 역류 부착탁질이 점진적으로 증가한 것으로 보인다. 그러나 개량된 여과지에서는 여층 표면에서의 여과사 오염도가 높고, 여층 하부로 갈수록 오염도가 감소하는 것으로 나타나고 있다.

개량된 급속 모래여과지와 노후된 이웃 급속 모래여과지에 대해 여층 깊이별 여과사 부착탁질을 조사한 후에 동일한 조건에서 역세척을 수행한 다음, 역세척에 따른 여과사 부착탁질 회복율을 조사한 것을 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이 개량 후 역세척에 따른

여과사 부착탁질 회복율은 표층 10 cm의 경우 평균 94% 정도로 나타나 노후 여과지의 29%에 비해 월등히 높은 회복율을 나타내었으며, 여층 50 cm 및 100 cm 하부의 경우도 개량된 여과지가 26%와 15%로 노후 여과지의 8%와 5%에 비해 높은 회복율을 보였다.

**Fig. 6.** Comparing removal efficiency of attached turbidity of renovated filter with existing filter after backwash.

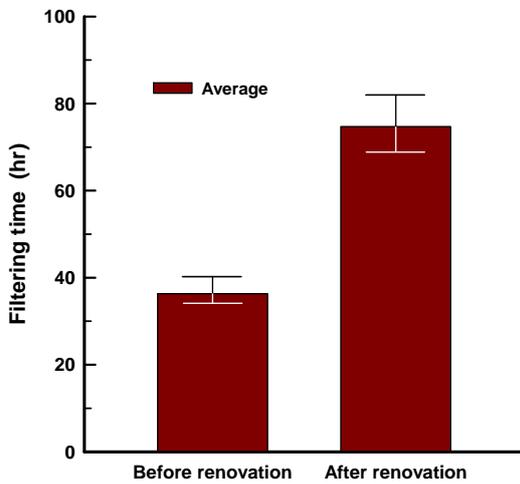
### 3.5. 노후 급속 모래여과지 개량에 따른 여과 지속시간 비교

노후 급속 모래여과지의 개량 효과를 평가하기 위하여 개량된 급속 모래여과지와 노후된 이웃 급속 모래여과지에 대해 역세척 후 여과 지속시간을 동일한 조건에서 비교한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 역세척이 완료 후부터 동일한 유입수 조건에서 정수변 개도율 60% 이상 열림이 지속되는 시간을 측정하여 여과 지속시간으로 평가하였다. 개량 여과지와 노후 여과지의 여과 지속시간 측정실험은 3회 수행하였으며, 여과지 개량결과 여과

**Table 2.** Effective sizes and its standard deviations at each site of filter bed before and after renovation underdrain system

sampling site	Before renovation		After renovation	
	South (mm)	North (mm)	South (mm)	North (mm)
inner	0.95±0.005	0.93±0.005	0.85±0.0001	0.88±0.0018
center	0.87±0.0024	0.89±0.002	0.87±0.0017	0.87±0.0009
outer	0.83±0.0014	0.82±0.0001	0.87±0.0001	0.81±0.0002
total ave.	0.88±0.033	0.88±0.025	0.86±0.002	0.85±0.011

지속시간은 약 2배 정도 증가하였다.

**Fig. 7.** Filtering time before and after renovation of underdrain system.

### 3.6. 노후 급속 모래여과지 개량에 따른 여재 입경분포 비교

역세척시 발생가능한 여층의 교란도를 평가하기 위하여 역세척 이후 각 여상에서 여층 깊이별 여재입도를 분석한 결과를 Table 2에 나타내었다. 본 여과지는 역세척시 여층을 팽창시키면서 역세척하는 구조가 아니고 공기와 물을 이용하여 여층에 진동을 주면서 역세척을 수행하기 때문에 여재의 구성은 여과지에 초기 여재를 충전할 때와 똑같이 여층 깊이나 여상 위치에 따라서 달라지지 않는 구조이다. 그러나 Table 2에서 나타난 바와 같이 공사 전에 남측과 북측의 유효입경을 비교하면 안쪽이 바깥보다 0.1 mm 이상 큰 것으로 나타났으나 공사이후

에는 남측이 0.02 mm 북측이 0.07 mm로 상대적으로 유효입경의 차이가 적었다. 이러한 이유로 여상 전체의 평균적인 입도의 표준편차도 공사 이후가 공사 이전에 비해 작아 여재의 고른 입도분포 구성을 확인할 수 있었다. 이와 같이 여상의 각각 지점에서 상대적으로 균등한 여재입경을 나타내는 이유는 역세척시 전 여상에 균등한 압력을 주어 일부 압력을 높게 받는 여상의 쓸림 현상이 적었기 때문으로 해석할 수 있다.

## 4. 결론

정수장에서 30년 이상 사용한 노후 급속 모래여과지를 경제적으로 개량하기 위하여 시범적으로 노후 여과지 한 지를 선정하여 개량하였을 때 다음과 같은 효과를 얻을 수 있었다.

1. 노후 급속 모래여과지 개량 후 무부하 역세척 실험시에 전 여상에 걸쳐 균등한 역세척압력을 나타냈다. 이는 여과시에 전 여상에 균등한 여과를 진행하는 것으로 판단할 수 있다.
2. 개량된 여과지와 노후 여과지의 처리수 탁도를 비교한 결과 개량된 여과지의 여과수가 0.02 NTU 정도 낮았다.
3. 노후 급속 모래여과지 개량 전 표층, 50 cm 및 100 cm의 여층 깊이에서의 역세척 효율이 29%, 8% 및 5% 였으나 개량 후에는 94%, 26% 및 15%로 상승하였다.
4. 노후 급속 모래여과지 개량 전에 비해 개량 후에 전 여재입도의 표준편차가 감소하여 개량 후에 상대적으로 균등한 여재입경을 나타내었다.
5. 노후 급속 모래여과지 개량 전에 비해 개량 후에 여과 지속시간이 약 2배 정도 증가하였다.

REFERENCES

- Kawamura, S., 2000, Integrated design and operation of water treatment facilities, 2nd edition, John Willy and Sons.
- Monk, R. D. G., 1987, Design options for water filtration, Jour. AWWA., 79(9), 93-106.
- Ongerth, J. E., Pecoraro, J. P., 1995, Removing cryptosporidium using multimedia filters, Jour. AWWA., 87(12), 83-89.
- Shaw, K., Walker, S., Koopman, B., 2000, Improving filtration of Cryptosporidium, Jour. AWWA., 92(11), 103-111.