

論 文

여과지 표면역세척 공정의 효율개선

Improvement of Efficiency in Surface Washing of Granular Filters

안종호 · 김자겸 · 윤재흥 · 신익상

Jong-Ho Ahn · Ja-Kyum Kim · Jae-Heung Yoon · Ik-Sang Shin

Abstract

Backwashing is an important process for the efficient operation of granular filters, and the efficiency of the surface washing among the backwashing processes can affect the filtration rate and filter run-time. In this study, the efficiency of surface washing is evaluated using real filters for three cases: with surface washing (with and without drainage of water to the surface of filter bed) and without surface washing. As a result, in the case of adopting both the drainage and surface washing, the filter of which condition is initially worse than those of the other filters shows improvement in head-loss development, filtration velocity, filter run-time, and total filtration volume. On the other hand, the conventional method of surface washing rarely has an effect on the filter washing.

1. 서 론

정수장 여과지의 운용상 나타나는 가장 큰 문제점의 하나는 여과지의 표면에 형성되는 Mudball이 시간이 지남에 따라 여과지 내부로 침투하여 여과면적의 감소 및 스트레이너의 폐색을 초래하여 여과지 기능을 저하시키는 것이다. 이러한 현상은 역세척이 효과적으로 이루어지지 않은 결과로 여과속도 및 여과지속시간을 감소시켜 비경제적인 여과지 운용을 초래하게 된다.

내부분의 정수장 여과지의 설계는 부압방지 및 Air Binding 방지, 수리적 안정성 등을 고려하여 여과지 유출 웨어를 여제층 표면보다 10cm 정도 높게 설계^{1,2)}되기 때문에 수동으로 여과지의 물을 배수시키지 않으면 물이 항상 여과지 표면에 15~20cm 정도 차 있는 상태이다. 실제 표면세척의 목적이 여과지 표면에 Jet수류의 분사로 표면에 있는 Mudball과 탁질의 파괴로 효율적인 역세척을 수행하기 위한 것이나, 표면세척을 여과지 표면에 물이 고여 있는 상태로 실시할 경우에는 단지 수류에 의한 전단력을 일시 증가시킨 것으로 끝나 그 효과는 매우 감소된다.

따라서 본 연구에서는 표면세척의 효율을 증

*한국수자원공사 수자원연구소 상하수도연구팀

대시키기 위한 표면세척설비의 효율적인 운용 방법으로 표면세척방식이 현재 여재표면 위에 고여있는 물위로 분사하는 Jet수류 방식을 여과지 표면을 Jet수류가 직접 때릴 수 있는 방법으로 개선하여 표면세척 효과를 평가 및 비교 하였다.

2. 실험방법

실험은 S정수장의 실제 여과지를 대상으로 실시하였다. S정수장 여과지는 단일 모래여과지로서 여재깊이 60cm로 정속여과방식으로 운전되고 있으며, 총 10시로 구성되어 있다. 실험방법은 3개의 대상 여과지를 선정하여 각각 역세척 방법을 변화시켜 그에 따른 결과를 비교하였다. 첫번째는 (조건 1) 현재 표면세척설비가 있는 대부분의 정수장에서 시행되고 있는 일반적인 역세척 방법으로 여과지 표면 10cm의 물이 고여 있는 상태에서 표면세척을 3분 동안 먼저 실시하고, 3분후에 역세척을 시작하여 표면세척과 3분간 병용한 후 역세척 단독으로 3분정도 실시하였다. 두번째는 (조건 2) 물을 여재의 표면 아래 10cm까지 배수시킨 상태에서 첫번째와 똑같은 방법으로 역세척을 실시하였다. 세 번째는 (조건 3) 여과지 물을 배수시키지 않고 표면세척설비도 가동하지 않는 상태에서 역세척만 시행하여 표면세척의 상대적 인 효과를 조사하였다.

실험대상 여과지는 5, 7 및 10번 여과지를 선정하였다. 각 여과지의 여재구성은 다음 표 1과 같다. 선정된 여과지 중 7번 여과지는 비교적 효율이 좋은 안정된 여과지로서 세번째 실험조건을 적용시켜 안정되었던 여과지가 표면세척을 하지 않는 경우에는 여과속도가 어느 정도 감소되는가를 조사 하였고, 두번째 실험 조건은 가장 여과속도가 적고 Mudball도 가장 많이 산재되어 있는 10번 여과지에 적용하였다. 첫번째 실험조건은 과거와 마찬가지로 표면세척을 물을 채운 상태에서 시행할때 이에 따른 여과속도의 변화를 보기위해 보통의 여과지 상태에 있는 5번 여과지에 적용하였다.

역세척시에 적용된 역세척속도는 0.75 m/min이며 표면세척수량은 $0.075\text{m}^3/\text{m}^2/\text{min}$ 로서, 실험 순서는 각 여과지별로 각각의 방법대로 2번 역세척 후 여과속도를 측정하였고 3회에 걸쳐 연속적으로 반복 실시하였다. 실험은 1개월 동안 실시되었으며 실험기간동안의 여과지 유입 탁도는 2.2 NTU이었으며, 여과수 탁도는 0.8 NTU, 여과수 pH는 7.0이었다.

3. 실험 결과

1. 초기 손실수두의 발달

일반적으로 여과공정에서 초기에 손실수두가 빠르게 발달하는 것은 역세척이 효율적으로 되지 못하여 여재입자 사이에 억류되어 있는 탁질을 제대로 제거하지 못한 것이 원인이다. 또한 표층여과사의 크기에 비하여 상대적으로 큰 탁질이 유입되는 경우, 탁질이 여과지 내부로 침투되지 못하고 여과지 표층의 여재사이에 걸리는 체작용(Straining)에 의하여 초기에 빠른 손실수두의 발달을 보인다. 표면세척실험의 결과 표면세척설비의 효율적인 운용은 초기 손실수두의 발달을 저감시킬 수 있다는 것이 규명되었다. 그림 1은 조건 2에 대한 결과로 그림에서 보는 바와 같이 수심 0.3m나 0.6m에 도달할 때의 여과수량을 비교하면 실험전에는 역세척 후 손실수두가 발달하여 사면상 수심 0.3m에 도달할 때의 여과량은 약 400m^3 이었으나, 1 및 2차 실험을 거치는 동안 여과량은 점점 증가하여 3차 실험시는 약 $10,000\text{m}^3$ 의 여과수량으로 증가하였다.

초기 손실수두의 발달에 영향을 미치는 요소로는 유입수의 수질과 역세척 정도 그리고 표층여과사의 크기 및 표면세척의 정도를 들 수 있다. 이 중에서 가장 크게 영향을 미치는 요소로는 표층여과사의 크기와 표면세척의 정도이다. 실험대상인 S정수장의 여과지 조건에서 표 1의 여과사 분석 결과에서 보는 바와 같이 표층여과사의 크기는 비슷한 것으로 나타나 주 영향 요소는 표면세척의 정도에 달려있다고 판단된다. 이는 조건 3을 적용시켜 사면상 수심

표 1. 각 여과지 여세의 물리적 특성

구 분	조 건 1 (5번 여과지)		조 건 2 (10번 여과지)		조 건 3 (7번 여과지)	
	표층*	평균	표층*	평균	표층*	평균
D10, mm	0.55	0.62	0.56	0.60	0.64	0.68
D60, mm	0.69	0.94	0.68	0.90	0.98	0.98
균등계수(U.C)	1.26	1.53	1.24	1.50	1.53	1.51

*여제 표면 10cm

에 따른 실험별 여과수량의 변화를 도시한 그림 2에 잘 나타나있다. 2차 실험결과를 제외하고는 1 및 3차 실험결과는 사면상 수심 0.3m에 대하여는 차이가 없이 비슷하게 나타났지만, 수심 0.6m에 대하여는 감소한 것으로 나타나 수질에 의한 영향보다는 표층여과사의 세

적정도에 따른 영향이 크다는 것을 간접적으로 보여준다.

하지만 조건 2(10번 여과지)에 대한 여과수량에 따른 손실수두의 발달 형태가 사면상 수심 0.6m 이상에서는 조건 2(7번 여과지)와 비슷한 양상을 보여 표면세척설비의 효과에도 한계가 있다는 것을 보여준다. 따라서 정수 생산량의 증대를 위하여는 표면세척설비의 효과적인 운용 뿐만 아니라 효율적 역세척을 위한 적정 역세척수량의 공급도 필수적임을 나타낸다.

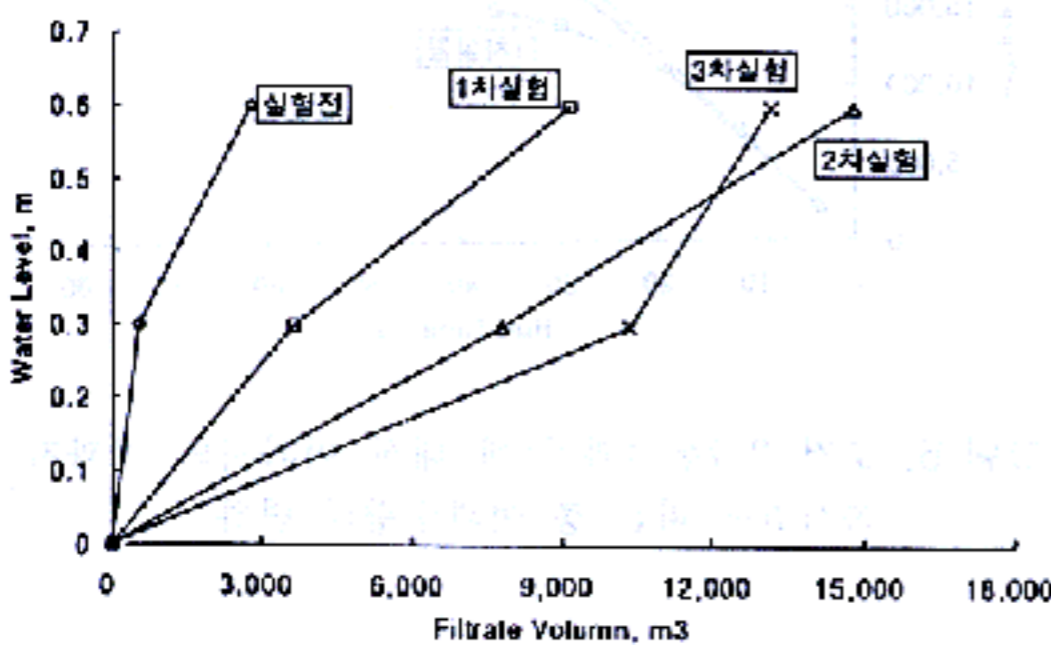


그림 1. 조건 2(10번 여과지)에 대한 수심에 따른 여과수량의 변화

2. 실험별 평균여과속도의 변화

각 여과지의 평균여과속도의 변화를 보면 그림 3에서와 같이 조건 1 및 3에 대한 여과지는 실험전에 상대적으로 높았던 평균여과속도가 감소하는 것으로 나타났다. 이에 반하여 조건 2에 대한 여과지의 평균여과속도는 실험후 27%가 증가되어 표면세척설비의 효율적 운용이 평균여과속도를 높이는데 기여했음을 알 수 있다. 특히 조건 1에 의한 여과지는 일반적인 표면세척 방법인 여과지상에 물을 매수시키지 않은 채로 표면세척을 시행한 결과로서, 실험 후에는 설계여과속도인 139m/day보다 작은 평균여과속도를 보인데 비하여 조건 2에 의한 여과지는 평균여과속도보다 큰 여과속도를 보여 표면세척의 효과를 확인할 수 있다.

그러나 조건 3에 의한 여과지는 표면세척설비를 운용하지 않았음에도 불구하고 실험전의 여과지 상태가 양호한 관계로 조건 1에 의한 여과지에 비하여 높은 여과속도를 보였으나, 실험후 여과속도의 감소율은 조건 1에 대한 여

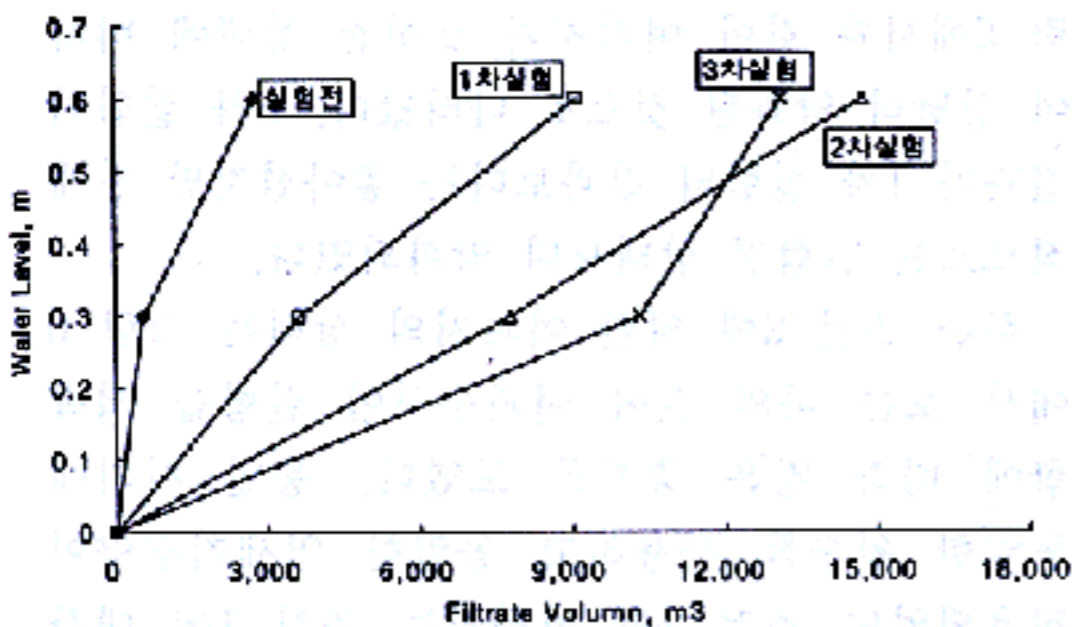


그림 2. 조건 3(7번 여과지)에 대한 수심에 따른 여과수량의 변화

표 2. 각 실험조건별 평균여과속도(m/day)

구 분	조 건 1 (5번 여과지)	조 건 2 (10번 여과지)	조 건 3 (7번 여과지)
실험전	149	122	128
1차 실험	129	116	140
2차 실험	141	147	174
3차 실험	151	146	156

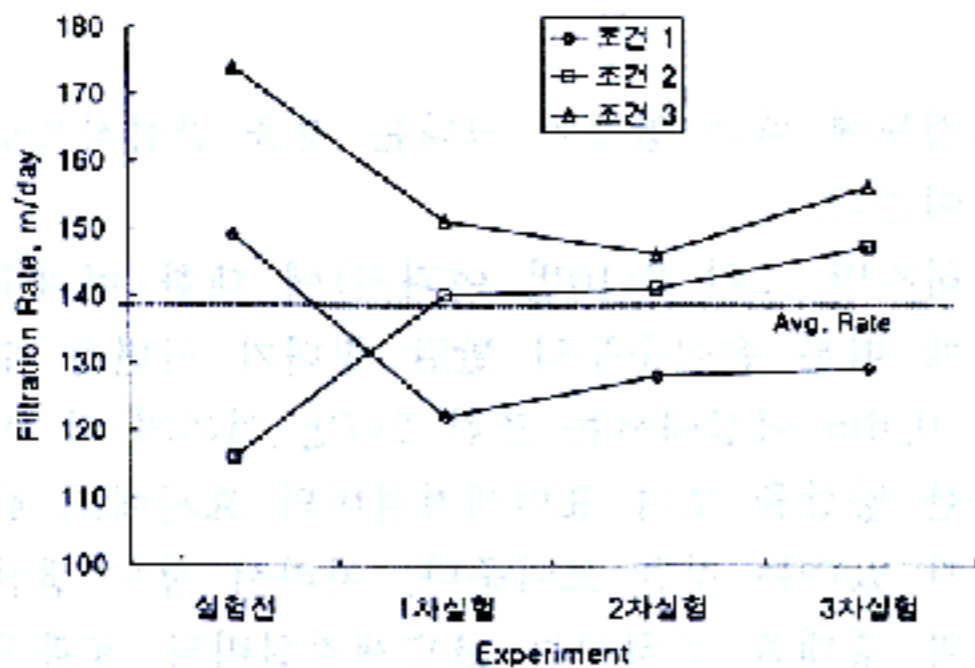


그림 3. 각 실험조건별 여과속도의 변화

과지의 여과속도 감소율과 비슷하게 나타났다. 이러한 이유는 7번 여과지의 상태가 악화되지 않았고 또한 표면세척수를 물위로 분사하는 것은 표면세척을 하지 않는 것과 효율면에서 차이가 없다는 것을 보여준다.

3. 시간에 따른 총 여과수량의 변화

개선된 표면세척설비의 적용 효과를 알아보기 위한 또 하나의 방법으로 여과지속시간과 총 여과량의 실험별 변화를 분석하였다. 그 결과는 그림 4~6에 나타나 있다. 실험결과중 2차 결과는 3차 결과와 비슷하여 1차와 3차에 대한 결과만 실험전 결과와 비교하였다.

그림 4에서 보면 조건 1의 여과지는 실험전에 비하여 여과지속시간이나 총 여과수량이 증가한 것으로 나타났다. 조건 1은 여과지에 물을 채운 상태로 표면세척을 실시하였기 때문에 큰 변화를 기대하지 않았으나, 실험당시의 여과지 유입수내 탁질의 양이 감소되었고 수온이 여름에 비하여 낮아져 역세척시 공극율이 증가

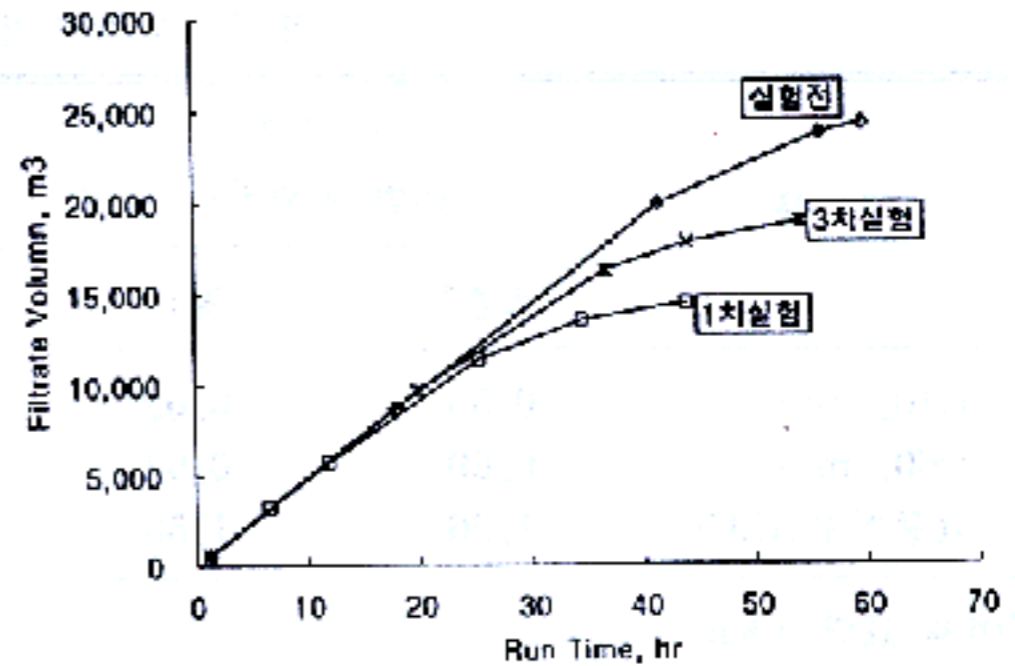


그림 4. 조건 1(5번 여과지)에 대한 여과지속시간에 따른 총 여과수량의 변화

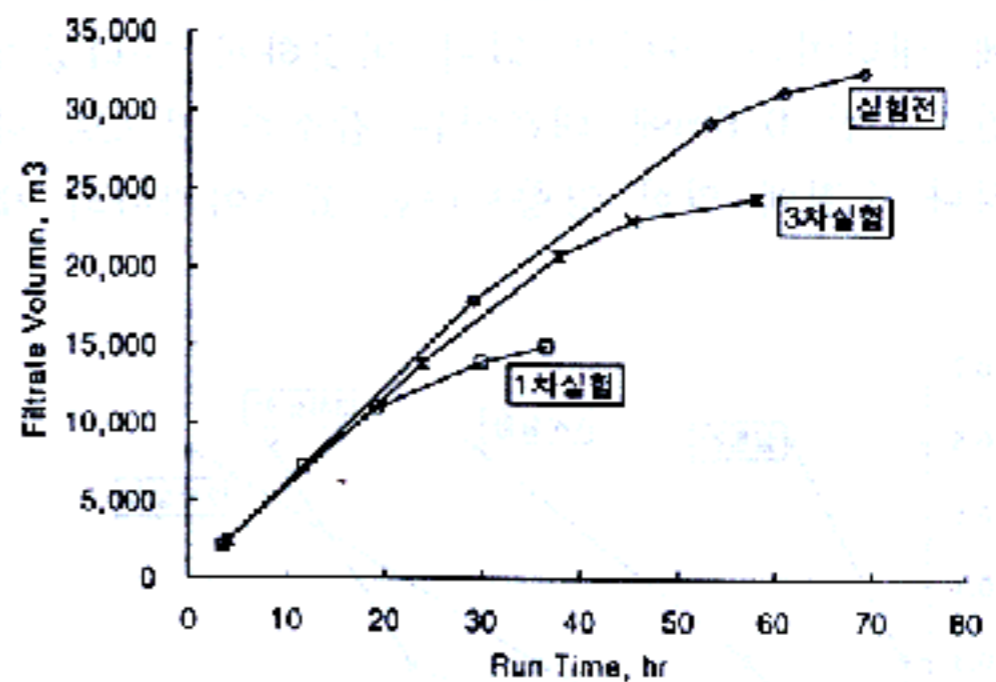


그림 5. 조건 3(7번여과지)에 대한 여과지의 여과지속시간에 따른 총 여과수량의 변화

되어 여름철보다 역세척이 효율적으로 수행되어진 것으로 판단된다.

그러나 동일한 조건에서 표면세척을 적용하지 않은 조건 3에 대한 여과지의 실험후 상태는 그림 5에서와 같이 여과지가 실험전 상태에 비하여 상당히 악화된 것으로 나타났다. 3차 실험의 결과가 1차 실험의 결과보다는 좋아졌지만 전체적으로는 실험전 상태보다 악화되었다.

한편 조건 2에 의한 여과지의 상태는 그림 6에서 보는 바와 같이 여과수량이 실험을 계속함에 따라 많은 증가를 보였다. 동일 시기에 동일한 원수를 사용하고 동일한 역세척수량이 적용되었던 조건 2의 여과지는 조건 1에 대한 여과지의 변화상태와는 달리 실험 전 보다는 1차 실험 결과가, 1차 실험결과 보다는 3차 실험

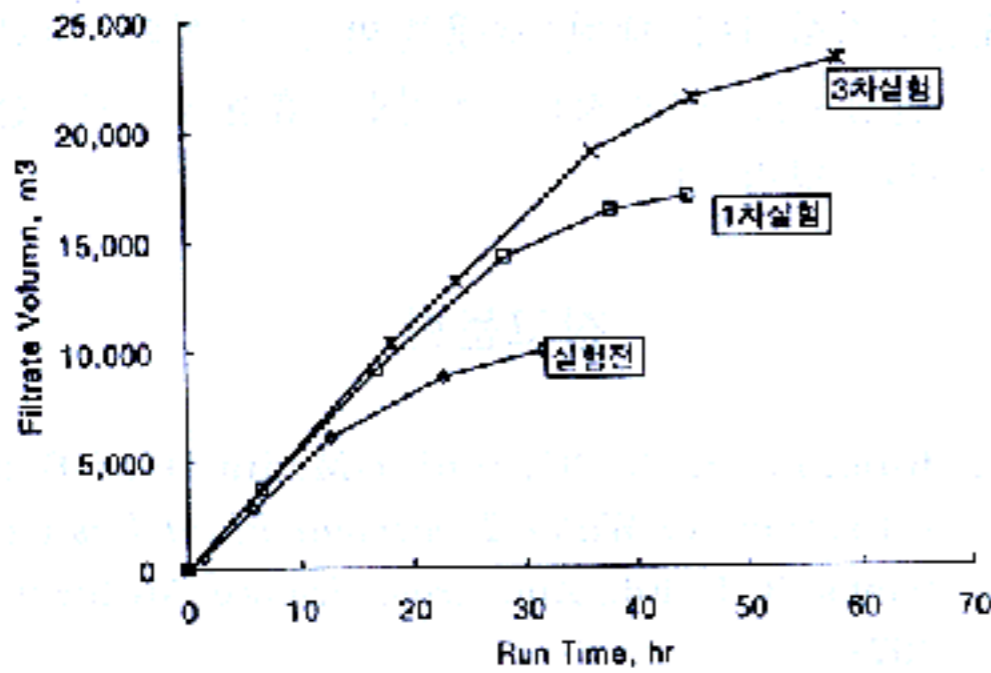


그림 6. 조건 2(10번 여과지)에 대한 여과지의 여과 지속시간에 따른 총 여과수량의 변화

험결과와 총여과수량이 증가하여 표면세척설비의 개선된 운용방법이 여과지속시간과 총 여과수량의 증가에 상당한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

4. 표면세척시의 유의사항

표면세척실험을 하기 위하여는 역세척밸브를 가능한 천천히 열어야 한다. 또한 역세척시 역세척 직전에 시행되는 표면세척의 효과를 제대로 살리기 위하여는 여과지 표면에 고여있는 물이 제거되어야 Jet수류 분사에 의한 탁질층 및 Mudball의 파괴효과를 기할 수 있다. 하지만 대부분의 여과지는 여과말기에 발생할 수 있는 부압을 방지하기 위하여 여과지 유출수 밸브가 없는 경우에는 여과지 유출위어를 여과지 표면과 같은 높이로 설치하거나 10cm 정도 높여 설치하는 것이 보통이다.^{1,2} 이에 따라 여과지 유입수가 없다 하더라도 유출위어부의 윗류수심까지 고려하면 사면상 20cm 정도의 물이 고여 있게 된다. 이 상태에서 역세척을 시행하기 위하여 여과수 유출밸브를 닫으면 여과지상의 물의 수심은 20cm 정도가 유지된 상태에서 표면세척을 시행하게 되어 표면세척의 기본효과인 Jet수류에 의한 파괴 효과는 기대할 수 없다. 따라서 표면세척설비 본래의 효과를 거두기 위하여는 여과지 사면상 고여있는 물을 배수시킨후 표면세척설비를 가동시켜야 한다.

여과지 사면상의 물을 배수시키기 위해서는

역세척수의 완만한 공급이 필수적이다. 여과지 내 물이 완전히 채워 있지 않은 상태에서 역세척수의 갑작스런 공급은 여과지의 지지층의 변동 및 여층에서 Channeling 현상을 일으키기 때문이다. 따라서 표면세척 설비의 효율적인 운용을 위하여는 반드시 역세척 밸브의 개, 폐시간을 설계 역세척수량에 대하여 최소 30초 이상, 기본적으로 1분 이상이며 안정적인 운영을 위하여는 2~3분이 바람직하다. 만약 역세척수량의 공급이 설계 역세척수량에 대하여 30초 이상을 확보할 수 없는 경우에는 이에 대한 대책을 수립한 후 표면에 있는 물을 배수시켜야 한다.

또한 표면세척설비의 가동시간은 표면세척 후 역세척과의 병용시 역세척수에 의한 수심이 트로프 상단에서 15~20cm 떨어진 지점까지 올라올 경우 멈추어야 한다. 이는 표면세척설비의 회전에 의한 소류력과 Jet수류에 의한 분사력에 의해 여재가 트로프에 월류되는 것을 방지하기 위함이다.

표면세척설비의 효율적 운용은 여과시 초기 손실수두의 발달을 늦추고 표면에 있는 탁질층 및 Mudball을 효율적으로 제거하므로, 여과지의 여과효율을 높이기 위하여는 효율적인 표면세척 방법이 적용되어야 한다. 그러나 일반 정수장에서는 역세척밸브의 개, 폐시간이 짧고 여과지 사면상 고여있는 물을 배수하기 위하여 별도로 Gallery에 있는 배수밸브를 수동으로 작동하여야 한다. 이러한 번거로움으로 대부분의 정수장에서는 표면세척설비를 설치하고도 비효율적으로 운용하고 있는 실정이다. 따라서 역세척 운전시 효율적인 역세척과 표면 탁질층 및 Mudball의 제거를 위하여는 배수밸브의 원격 구동설비가 갖추어져야 하며, 역세척밸브의 충분한 개, 폐시간을 확보하여야 한다.

4. 결 론

제한된 시설여건에서 여과지속시간 및 여과량을 증대시킬 수 있는 방법중의 하나가 표면세척설비의 효율적인 운영이다. 대부분의 정수

처리시설의 여과지에서는 여과지의 구조적인 문제로 여과지 사면상에 물을 10~20cm 정도 유지한 상태에서 표면세척을 실시하여 설비를 효과적으로 사용하지 못하고 있다. 그러나 여과의 표면위에 물을 표면 아래까지 배수시킨 상태에서 표면세척을 실시한 결과 S정수장의 10개의 여과지중 가장 불량한 상태였던 여과지에서 변동된 자갈층에도 불구하고 손실수두의 발달이 지체되었으며 여과속도와 여과지속시간 및 총 여과수량이 개선되었다. 반면에 기존의 표면세척 방법은 표면세척 효과가 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구에서 제시된

표면세척설비에 대한 운용방법은 시설의 간단한 변경으로 여과지의 운영을 효율적으로 할 수 있는 방법이다.

참고문헌

1. Bumann, E. R., "Granular-Media Deed-Bed Filtration" in *Water Treatment Plant Design*, Sanks, R. L. Ed., Ann Arbor Science, Michigan, 1978.
2. Letterman, D. Raymond., "Filtration Strategies to Meet the Surface Water Treatment Rule," AWWARF, Denver, 1991.

표면세척을 위한 배수설비를 도입하여 여과지 표면의 물을 표면 아래까지 배수시킨 상태에서 표면세척을 실시한 결과 여과지속시간이 10% 이상 증가하였고, 손실수두의 발달이 지체되었으며 여과속도와 여과지속시간 및 총 여과수량이 개선되었다. 반면에 기존의 표면세척 방법은 표면세척 효과가 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구에서 제시된 표면세척설비에 대한 운용방법은 시설의 간단한 변경으로 여과지의 운영을 효율적으로 할 수 있는 방법이다.

참고문헌

표면세척을 위한 배수설비를 도입하여 여과지 표면의 물을 표면 아래까지 배수시킨 상태에서 표면세척을 실시한 결과 여과지속시간이 10% 이상 증가하였고, 손실수두의 발달이 지체되었으며 여과속도와 여과지속시간 및 총 여과수량이 개선되었다. 반면에 기존의 표면세척 방법은 표면세척 효과가 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구에서 제시된 표면세척설비에 대한 운용방법은 시설의 간단한 변경으로 여과지의 운영을 효율적으로 할 수 있는 방법이다.