

유입유량과 연계한 여과지 가동지수 변동 운영이 여과수 수질에 미치는 영향

Influence of Filtrate Quality by Variation of Operating Filter Number Based on Inflow

김진근* · 이정택
Jinkeun Kim* · Jungtaek Lee

한국수자원공사 수도관리처 · 한국수자원공사 정읍수도서비스센터
K-water, Dept. of Water Supply Operation and Maintenance, K-water Jeongeup Water Supply Service Center

(2009년 7월 23일 접수, 2009년 8월 27일 채택)

ABSTRACT : To prevent turbidity breakthrough in a depth filter caused by hydraulic shock loads, influence of turbidity and particle number in filtrate by variation of operating filter number depending on inflow change was investigated. Inflow quantity at the S water treatment plant (WTP) was varied and ratio of maximum/minimum inflow quantity was 2.2, therefore filtration velocity was also subsequently changed. The S WTP changed operating filter number depending on inflow variation to minimize change of filtration velocity. Particle breakthrough was not severe when operation system was changed, out-of-operation and re-start of filter was repeated depending on inflow quantity. Slight particle breakthrough was noticed when re-start of filter was implemented at the filter that had a cumulative filtration run time of less than 10 h or more than 50 h. This can be attributed to the inadequate ripening and over accumulation of particles on media. Therefore, it is more efficient to choose a re-starting filter basin which has cumulative filtration run time more than 10 h or less than 50 h to reduce particle breakthrough. Filter number variation depending on inflow change was proven to be a method for improvement of unit filter run volume (UFRV).

Key words : Filtration, Filtration velocity, Particle breakthrough, Hydraulic shock loads, Water treatment, UFRV

요약 : 여과공정에서 수리적 충격부하로 인한 탁질누출을 방지하기 위하여, 여과지 유입량 변화에 대응하여 여과지 운영지수를 변화시키면서 여과수의 탁도 및 입자수를 고찰하였다. S 정수장은 여과지 유입량 최대/최소의 비가 2.2였으며, 이에 따라 여과속도도 변동하였다. S 정수장에서는 여과속도 변동 최소화를 위하여 여과유입수량 변동에 따라 여과지수를 변동시켰다. 여과지 유입유량 변화에 따라 가동, 휴지, 재가동을 반복하였을 경우 탁질누출은 심하지 않았다. 여과가동 누계시간이 10 h 이전이나 50 h 이후에 재가동시는 탁질누출현상이 일부 발견되었다. 이런 현상은 여재의 숙성이 충분하지 않거나 입자물질의 부착량 과다에 기인할 수 있다. 따라서 여과지를 재가동할 때는 누계여과지속시간이 10 h 이상, 50 h 미만인 여과지를 선택하는 것이 효율적인 것으로 조사되었다. 여과지 유입유량 변동에 따른 여과지수 변동은 UFRV 향상을 위한 방법으로 판단된다.

주제어 : 여과, 여과속도, 입자누출, 수리적 충격부하, 상수처리, 단위여과면적당여과량(UFRV)

1. 서론

약품응집-침전-급속여과-소독공정으로 구성된 일반적인 정수처리공정에서 급속여과는 입자물질을 제거할 수 있는 최종공정이다. 일반적으로 여과수 탁도가 0.1 NTU 이하일 경우 안전한 것으로 간주되지만 이러한 저탁도에서도 많은 입자물질의 존재가 확인되었다.¹⁾ 탁도와 병원성 미생물 제거율 간에는 매우 밀접한 상관관계가 있다고 알려져 있으며 여과수 탁도가 높은 경우 여과공정에서 원생동물(protozoa)의 제거율이 낮아 수도물을 마신 후 집단발병 사례가 보고된 바도 있다.^{2~4)} 병원성 미생물, 특히 원생동물의 경우 개별 미생물에 대한 제거율을 정수장에서 반복 측정하는 것은 전문 분석인

력, 검사시간 및 검사비용 등을 고려할 경우 현실적으로 매우 어려우므로 이에 대한 대안으로 탁도를 지표로 관리하고 있다.^{5,6)}

환경부는 2002년 정수처리기준을 제정하고 2004.7.1부터 병원성 미생물의 불활성화를 간접적으로 모니터링하기 위하여 시설용량 100,000 m³/일 이상 정수장의 경우 여과지별 탁도계를 설치하고 연속적으로 탁도를 감시하도록 규정하고 있다. 2007.1.1부터는 정수처리기준 적용대상을 시설용량 5,000 m³/일 이상으로 확대하였다(환경부, 2008). 정수처리기준에 의하면 통합여과수의 탁도가 0.3 NTU 이하, 95% 이상이고 최고 탁도가 1.0 NTU 이하일 경우 원생동물의 일종인 *Giardia*는 2.5 log(99.68%), 바이러스는 2 log(99%) 불

† Corresponding author : E-mail : kjinkeun@kwater.or.kr Tel : 042-629-2822 Fax : 042-629-2849

활성화 되었다고 인증해주고 있다.⁶⁾

일반적인 정수처리공정에서 여과지 유입수내 존재하는 입자물질의 크기는 여재공극보다 매우 작아 여과지 유입 입자물질의 제거 메커니즘은 체거름보다는 입자물질과 여재표면 또는 입자물질과 여재에 이미 부착된 입자물질 표면과의 부착에 의해서 발생하고 있다. 부착력을 향상시키기 위해 급속여과공정은 특성상 전처리로 약품주입공정이 반드시 필요하며, 전처리를 통한 입자물질의 불안정화 정도에 따라 입자물질 제거율에 많은 차이를 보이고 있다.^{7,8)}

입자물질은 수처리 환경의 조건변화에 따라 여과공정에서 파과될 수 있는데 주로 두 가지 원인에 기인하고 있다. 우선, 화학적 변화에 의한 요인으로 입자물질의 불안정화 조건의 변화를 꼽을 수 있다. 응집제 주입량 및 유입탁질입자의 증감, pH 변화 등에 의한 입자물질의 표면전하 변동이 발생할 경우 입자물질의 탈착이 발생할 수 있다. 다음으로, 물리적 변화에 의한 요인으로 수류전단력의 증가를 원인으로 들 수 있다. 여과속도의 증가 또는 부착입자물질의 증가는 수류전단력을 상승시켜 입자물질 탈착의 원인이 된다.^{9~11)} 여과칼럼 실험에서 여과가 일정기간 진행된 후 수리적 충격부하를 가하고 시간변화에 따라 입자물질의 탈착현상을 연구한 결과, 여과지속시간, 입자물질의 불안정화 정도, 플록강도 등 입자물질의 물리화학적 특성에 따라 입자의 파과양상에 큰 차이가 있는 것으로 보고되었다.^{12~16)} 응집제 주입이 적절하게 운영되는 실공정의 여과지에서 입자물질의 파과는 대부분 역세척 직후와 여과과정 말기에 나타난다.¹⁷⁾ 이와는 별도로 여과과정 중에도 여과지 운영조건의 변동에 따라 탁질누출이 발생할 수 있는데 가장 큰 원인은 수리적 충격부하이다. 여과지에서 발생하는 수리적 충격부하는 취수유량의 증가, 인근 여과지의 역세척으로 인한 여과지 유입 물량 증가, 여과지 운영지수의 변동 등에 따라 발생할 수 있다.

입자물질 파과를 방지하기 위해서는 여과공정에서 수리적 충격부하의 최소화, 즉 여과속도의 급격한 변동을 방지하는 것이 중요하다. 이를 위해, 영국의 바데노크 전문가 그룹은 여과속도의 단계적 변화를 분당 5% 이하로 권장하였으며, 플록의 강도가 낮을 경우에는 분당 1.5%의 여과속도 변화를 상한 값으로 제안하였다. 이는 플록의 강도가 강할수록 수류전단력에 대한 저항력이 강해지고 입자물질의 탈착이 발생한 이후에 탈착지점보다 아래의 여층에서 재부착 가능성이 높기 때문이다. Ives는 여과속도 변화를 일반적으로 분당 3%로 제한하는 것을 권장하였고, 플록의 강도가 낮을 경우에는 1%로 줄여야 하며, 플록의 강도가 높을 경우에는 5%까지 높일 수 있다고 언급하였다.¹⁸⁾

정수장 운영과정 중에 취수펌프 유량제어 등의 설비개선을 통하지 않고 여과속도의 급변을 방지하는 방법 중의 하나는 여과지 운영지수를 취수물량과 연계하여 가변적으로 운영하는 것이다. 본 연구에서는 여과지 가동지수를 여과속도 증감과 연계해 운영하고 여과지 가동지수 변동이 여과수 수질에 미치는 영향을 고찰하여 실제 정수장에서 수리적 충격부하 발생시 입자물질 파과 최소화 방안을 제시하였다. 또한 유입물량에 따른 여과지수 변동운영이 단위여과면적당여과량(UFRV, unit filter run volume)에 미치는 영향도 고찰하였다.

2. 실험 방법

2.1. 실험대상

연구대상은 낙동강과 섬진강에서 지표수를 취수하여 정수하는 G, S 정수장이었다. G, S 정수장은 모두 일반적인 정수처리공정으로 구성되어 있으며, 세부적인 여과지 및 유입량 변동 현황은 Table 1과 같다. Table 1의 여과속도는 시설용량을 총여과지 면적으로 나눈 설계여과속도이며, 실제 운영속도는 여과지 유입유량에 따라 변동되므로 설계여과속도와 차이가 발생할 수 있다.

2.2. 조사내용

G 정수장의 경우 여과지 유입유량 변동에 따른 탁도변화를 여과지별로 설치된 온라인(on-line) 탁도계를 이용하여 관찰하였다. 한편, 여과지 가동지수 변동에 따른 여과속도 변화

Table 1. Specification of G, S water treatment plant (WTP)

Classification	S WTP	G WTP
Capacity(m ³ /day)	90,000	200,000
Source of water	Seomjin River	Nakdong River
Filter	-	-
Media	Sand	Anthracite + Sand
Filter depth (cm)	62.8	130
Filter size (m)	7.2 × 9.0	9.5 × 10.8
Filtration velocity (m/h)	5.8 (139 m/day)	8.1 (193.6 m/day)
Effective size (mm)	0.62	0.6(Sand) 1.1(Anthracite)
Uniformity coefficient	1.59	1.5(Sand) 1.4(Anthracite)
Number of filter	10	10
Inflow (m ³ /h)	-	-
Maximum	2,680	8,276
Minimum	1,194	1,792
Average	2,136	5,351

* Inflow data are based on the operation data of two months (2008.11.1~2008.12.31)

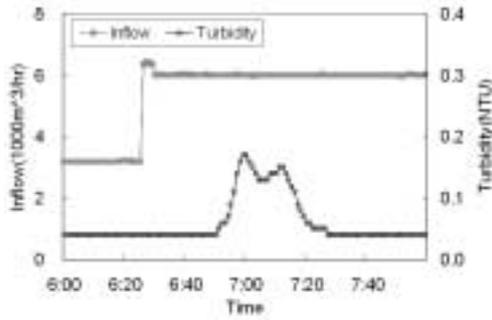


Fig. 1. Turbidity changes as a function of inflow in G WTP.

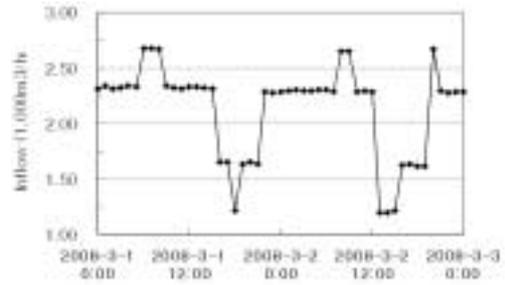


Fig. 2. Inflow changes in S WTP (2008.3.1-2008.3.2).

와 탁질누출 상관관계 파악을 위하여 S 정수장을 대상으로 '08.2~'08.3 중 유입유량 변동에 따라 여과지 사용, 운휴, 재사용을 반복하면서 여과수의 탁도 및 입자수 변화를 분석하였다. 또한, 개별 여과지에서 '07년, '08년 각각 2개월간 (2~3월) 여과지 단위면적당 여과개시 후 역세척 전까지 여과수량 파악을 위하여 여과면적 1 m² 당 총여과수량으로 표시되는 단위여과면적당여과량(UFRV, unit filter run volume)을 조사하여 유입유량 증감에 따른 여과지수 변동운영의 경제성을 조사하였다. 일반적인 정수처리공정에서 UFRV가 200 m³/m² 이하일 경우 불량, 410 m³/m² 이상일 경우 양호, 610 m³/m² 이상일 경우 매우 좋다고 기술하였으나, 이는 개별여과지의 설계조건(여재 유효경, 균등계수, 포설깊이 등), 전처리 정도, 운영조건(가동율, 운영여과속도 등) 등에 따라 상이할 수 있다.¹⁹⁾

여과수 탁도조사는 온라인 탁도계(HF Micro Tol3)를 사용하여 측정하였으며, 입자수는 입자계수기(2200PCX)를 사용하여 1 μm 이상의 입자수를 측정하였다. S 정수장에서는 적정 여과속도 유지를 위한 여과지 가동대수를 연구기간 동안 Table 2와 같은 기준을 설정하여 운영하였다.

3. 고찰

3.1. 유입물량 변동에 따른 탁도변화

Fig. 1은 G 정수장에서 여과지 유입물량 변동에 따른 여과수 탁도변화를 나타내고 있다. G 정수장은 정수지 체류시간이 2.5시간으로 수용가 용수수요에 따라 수시로 정수지 수위변화가 생기고 정수지 수위변화는 곧 취수물량 변동의 직접적인 원인이 된다. G 정수장 취수물량의 최대/최소 비는 4.6으로 매우 큰 편이다. 대부분의 취수펌프는 가동 후 단시간 내에 정격유량에 도달하기 때문에 Fig. 1에서 유입유량의 변화는 계단모양을 하고 있으며 착수정에서 유입유량의 변화는

Fig. 1에 나타난 바와 같이 약 20~40분 후 여과속도 변화로 나타나게 되고 탁도누출의 직접적인 원인이 된다. 한편, 탁도누출의 정도는 여과지속시간, 입자물질의 전처리 정도, 유입유속변화, 여재조건 등에 따라 여과지별로 상이할 수 있다.¹⁶⁾

S 정수장에서는 G 정수장에서 발생한 것과 같은 여과지 유입유량 변동에 따른 탁도누출을 방지하기 위하여 여과지 유입유량과 연계하여 여과지 가동지수를 변동함으로써 여과속도의 급격한 증가를 방지하고자 하였다. S 정수장의 경우 시설용량은 3,750 m³/h (90,000 m³/day)이나, Fig 2에 나타난 바와 같이 시간대 별로 유입유량의 변화폭이 크고 최대/최소 유입량의 비는 2.2였다.

한편, 여과속도가 지나치게 느린 경우에는 당초 급속여과에서 추구하는 심층여과의 발생정도가 줄어들고 탁질 제거가 주로 표층에서 많이 발생한다. 급속여과지에 유입되는 입자물질은 보통 5 μm 이하로 여재공극의 크기가 50 μm 이상임을 고려할 경우 대부분의 입자물질은 내부여과를 통해서 제거되나 여과속도가 느린 경우는 입자물질의 침투깊이가 얕아 대부분의 입자물질이 표층부(0~10 cm)에 많이 부착하게 된다. 이 경우 S 정수장 여과지의 여층 깊이가 62 cm 임에도 불구하고 입자물질의 부착이 여재표층에 집중되어 여과지속시간이 짧아지고, 따라서 경제적인 운영에 제약이 가해질 수 있다. 물론 여과지의 주요목적은 입자물질의 제거율을 극대화

Table 2. Number of operating filters based on inflow variation in S WTP

Inflow (m ³ /h)	Number of operating filters	Filtration velocity (m/h)
<800	3	< 4.1
800~1200	4	3.1~4.6
1200~1600	5	3.7~4.9
1600~2000	6	4.1~5.1
2000~2300	7	4.4~5.1
2300~2700	8	4.4~5.2
2700~3200	9	4.6~5.5
>3200	10	> 4.9

하여 안전한 수돗물을 생산하는 것이고 입자물질의 침투깊이를 너무 깊게 할 경우 탁질누출로 연결될 수 있기 때문에 여과수의 수질과 경제성을 모두 고려하여 적정하게 운영하는 것이 중요하다.^{7,13,20)}

3.2. 여과수 탁도와 입자수 조사 결과

여과지 #4지에 설치된 온라인 입자계수기와 탁도계의 측정 자료를 여과지 재사용 개시 후 30분 동안 1분 간격으로 비교 조사하여 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 동일한 여과지에서 입자수에 큰 차이가 나타나는데 이는 여과지 재사용 전까지의 누계여과지속시간, 여과개시시의 여과속도, 입자물질의 불안정화 정도 등에 따라 발생하는 것으로 생각된다. 2.13의 경우 여과지 재가동 시점에서 입자수가 가장 높게 나타났는데, 재가동 시점에서 누계여과지속시간은 9 h 이었다. 즉, 역세척 후 9 h를 운영하다가 7 h 30 min 운휴 후 재가동한 직후의 30분간 측정결과를 살펴보면, 여과초기시 입자수

가 22 particles/mL로 가장 높았으며 이후 지속적으로 개선되어 30분 후에는 16으로 감소되었는데, 초기에 입자개체수가 높게 검출된 것은 여과숙성(ripening)이 불충분하거나 역세척 미흡, 초기여과속도의 과다 등을 원인으로 들 수 있다.

2.14의 경우는 2.13 가동개시 후 추가로 12 h 50 min을 여과하였으며, 중간에 2회에 걸쳐 총 16 h 30 min의 운휴시간이 있었다. 여과수의 수질은 누계여과지속시간이 9 h일 경우보다 21 h 50 min일 경우 탁도 및 입자제거율이 더 높은 것으로 나타나서 여과숙성에 의한 개선효과로 볼 수 있다. 2.18, 2.23, 2.24의 경우는 특이사항이 발견되지 않았으며, 전반적으로 탁도 및 입자수 제거효과가 우수한 것으로 판단된다.

한편, Table 4는 '08년 2월 여과지 #5지 여과수에서 측정된 탁도 및 입자수 현황이다.' 08년 2월 #5 여과지의 사용, 운휴, 재가동에 대한 1 μm 이상의 입자수 조사결과 2월 6일 초기 입자수가 52개까지 검출되었으나 15분 후 안정화되었다. 이 경우 여과초기에 입자물질의 누출이 일부 발생하였으

Table 3. Turbidity of filtrate at the beginning of filtration re-start at filter #4 (unit : Time-min, Turbidity-NTU, Particle No. : particle/mL)

Date Time	2.13		2.14		2.18		2.23		2.24	
	Tur.	Particle No.								
1	0.05	22	0.04	11	0.03	6	0.03	10	0.02	8
2	0.04	22	0.03	9	0.03	7	0.03	10	0.03	9
3	0.05	23	0.04	10	0.03	8	0.02	10	0.03	9
4	0.05	22	0.04	10	0.03	7	0.03	11	0.03	8
5	0.05	23	0.03	9	0.03	7	0.03	10	0.02	9
6	0.05	23	0.04	9	0.03	7	0.03	10	0.03	9
7	0.05	20	0.04	10	0.03	6	0.03	10	0.03	9
8	0.05	20	0.03	10	0.03	7	0.03	10	0.03	9
9	0.05	20	0.03	10	0.03	7	0.03	10	0.03	8
10	0.05	19	0.04	10	0.03	6	0.03	10	0.03	8
11	0.04	19	0.04	10	0.03	7	0.03	10	0.03	9
12	0.04	19	0.03	10	0.03	7	0.02	10	0.03	9
13	0.05	20	0.03	11	0.03	7	0.03	10	0.03	9
14	0.05	20	0.05	10	0.03	7	0.03	10	0.03	8
15	0.05	20	0.04	10	0.03	7	0.03	10	0.03	10
16	0.05	20	0.04	10	0.03	7	0.03	9	0.02	10
17	0.04	20	0.04	11	0.03	8	0.03	10	0.02	9
18	0.05	20	0.04	10	0.03	7	0.03	10	0.02	8
19	0.04	19	0.04	9	0.03	8	0.03	10	0.02	9
20	0.05	18	0.03	10	0.03	7	0.03	10	0.03	8
21	0.04	19	0.04	11	0.03	8	0.03	10	0.03	8
22	0.05	19	0.04	10	0.03	9	0.03	11	0.03	9
23	0.04	18	0.04	10	0.03	8	0.03	11	0.02	9
24	0.04	17	0.03	11	0.03	9	0.03	11	0.03	9
25	0.04	17	0.04	10	0.03	8	0.03	11	0.03	8
26	0.04	16	0.03	11	0.03	9	0.03	11	0.03	8
27	0.04	16	0.03	11	0.03	9	0.03	11	0.03	9
28	0.04	16	0.03	10	0.03	9	0.03	10	0.02	9
29	0.04	16	0.03	11	0.03	8	0.03	13	0.03	9
30	0.04	16	0.03	9	0.03	10	0.03	11	0.03	8

* Cumulative filter run times before re-start of filtration were 9 h(2.13), 21 h 50 min(2.14), 10 h 20 min(2.18), 16 h 40 min(2.23) and 40 h 20 min(2.24), respectively.

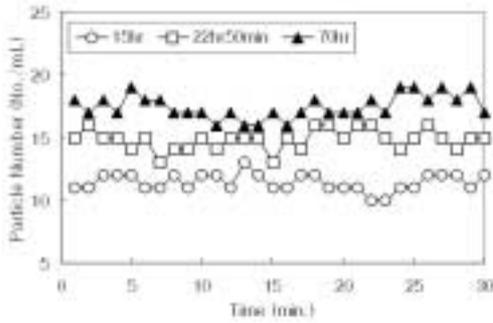


Fig. 3. Variation of particle number of filter #4 in March 2008 depending on cumulative filter run time.

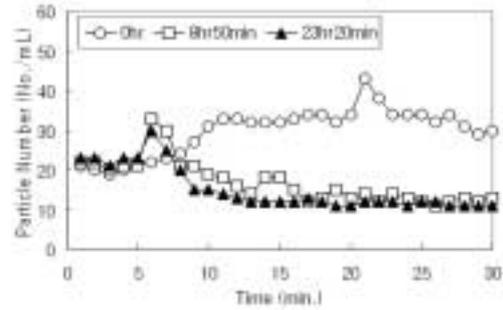


Fig. 4. Particle number in filtrate of #5 filter in March 2008 depending on cumulative filter run time.

며, 이에 대한 개선대책 수립이 필요한 것으로 판단된다. 한편, 탁도는 재가동 직후 0.07 NTU로 나타났으며, 30분 가동 후에는 0.05 NTU, 입자수는 11 particles/mL로 조사되어 30분이 지난 후에는 다른 여과지와 유사한 수준으로 안정화 되는 것으로 나타났다. 2.6의 경우는 누계여과지속시간이 59 h 20 min으로 조사기간 중 가장 길었다. 이는 여과지속시간

이 길수록 입자물질의 부착량이 증가하여 일정기간 운휴 후 재가동시 입자물질 파과의 가능성이 높아져서 발생하는 현상으로 판단된다. 즉, 동일한 여과속도로 여과할 경우 여과지속 시간에 따라 여재 부착량의 차이가 발생하고 여재 부착량에 비례하여 전단력이 증가하기 때문이다.

2.27 경우 입자수가 지속적으로 높게 나타나는데 이는 재

Table 4. Turbidity of filtrate at the beginning of filtration re-start at filter #5 (unit : Time-min, Turbidity-NTU, Particle No. : particle/mL)

Date Time	2.2		2.6		2.15		2.27		2.29	
	Tur.	Particle No.								
1	0.05	14	0.07	52	0.04	4	0.05	24	0.04	3
2	0.05	14	0.07	51	0.04	4	0.04	25	0.04	3
3	0.05	14	0.07	52	0.04	5	0.05	25	0.04	4
4	0.05	13	0.06	41	0.04	5	0.04	24	0.04	4
5	0.05	14	0.06	31	0.05	5	0.05	24	0.05	4
6	0.05	15	0.06	33	0.04	5	0.04	27	0.04	3
7	0.05	16	0.06	31	0.04	6	0.04	24	0.05	5
8	0.05	19	0.06	23	0.04	4	0.04	24	0.04	13
9	0.05	15	0.05	19	0.04	7	0.04	25	0.04	13
10	0.05	18	0.05	16	0.04	8	0.04	26	0.04	12
11	0.04	13	0.05	17	0.04	8	0.04	25	0.04	10
12	0.04	12	0.06	16	0.04	6	0.04	25	0.04	11
13	0.05	13	0.06	13	0.04	7	0.04	24	0.04	8
14	0.05	12	0.05	14	0.04	7	0.04	25	0.04	12
15	0.05	11	0.05	14	0.04	8	0.04	25	0.04	11
16	0.05	13	0.05	11	0.04	6	0.04	26	0.04	7
17	0.04	13	0.05	13	0.04	7	0.04	26	0.04	10
18	0.05	14	0.05	14	0.04	6	0.05	26	0.04	9
19	0.04	11	0.05	13	0.04	6	0.04	26	0.04	9
20	0.05	13	0.05	11	0.04	7	0.04	26	0.04	10
21	0.05	12	0.04	14	0.04	6	0.04	28	0.04	9
22	0.04	13	0.05	11	0.04	7	0.04	27	0.04	9
23	0.05	12	0.05	10	0.04	6	0.04	26	0.05	8
24	0.05	14	0.05	12	0.04	5	0.04	27	0.04	8
25	0.05	13	0.05	8	0.04	8	0.04	26	0.04	10
26	0.05	13	0.05	10	0.04	6	0.04	26	0.04	8
27	0.05	13	0.05	10	0.04	7	0.04	26	0.04	9
28	0.05	12	0.04	10	0.05	6	0.04	27	0.04	10
29	0.05	14	0.05	13	0.04	8	0.04	26	0.04	9
30	0.05	13	0.05	11	0.04	6	0.04	24	0.04	6

* Cumulative filter run times before re-start of filtration were 17 h(2.2), 59 h 20 min(2.6), 31 h 30 min(2.15), 8 h 30 min(2.27) and 37 h 40 min(2.29), respectively.

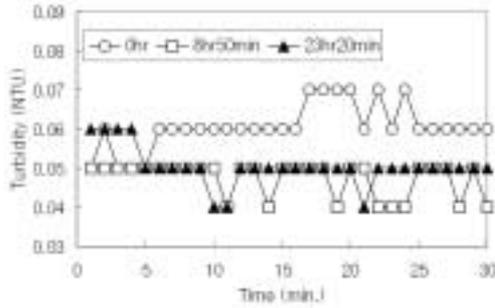


Fig. 5. Turbidity in filtrate of #5 filter in March 2008 depending on cumulative filter run time.

가동전 누계여과지속시간이 짧아(8 h 30 min) 여재의 속성이 미흡해서 나타나는 현상으로 생각된다. 여과수내 입자수가 가장 적은 것으로 조사된 2.15, 2.29는 누계여과지속시간이 각각 31 h 30 min과 37 h 40 min으로 전체 여과지속시간의 약 절반정도에 해당된다. 이를 통해 S 정수장에서 여과지를 운휴할 경우는 여과지속시간이 10 h 이상 되어 충분한 속성이 되어 있고 50시간을 초과하지 않아서 재가동시 입자물질의 파과가능성이 적은 여과지를 선택하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 즉 가동시간이 지나치게 짧은 여과지를 운휴하고 재가동시에는 여재 미숙성에 의한 파과가능성이 있으며, 지나치게 긴 여과지를 운휴하고 재가동시에는 입자물질 부착량이 많아 재가동시 작은 수리적 부하에도 입자물질 파과가능성이 크기 때문이다. 한편, 누계운전시간 뿐만 아니라 여과후 중단 지속시간도 여과효율에 영향을 미칠 것으로 생각되며, 이에 대한 추가연구가 필요하다.

Fig. 3은 각각 15 h, 22 h 50 min, 70 h 여과를 지속한 후 여과지 유입량 감소로 일정시간 운휴하고 다시 가동했을 때 재가동으로부터 30분간 여과지 유출수의 입자수 검출현황을 나타내고 있다. 누계여과지속시간이 길수록 여과수에서 입자물질의 누출이 높게 나타나는데 이는 여과지속시간이 길수록 동일한 수리적 부하에서 입자물질의 파과정도가 심하다고 보고한 다른 연구결과와 유사하다.²¹⁾ 누계여과지속시간이 70 h 이상일 경우는 입자수가 여과지속시간이 15 h 이후 재가동한 경우에 비하여 약 2배 정도 높게 나타나는 것으로 조사되었다. 여과지속시간이 70 h 이상의 경우 탁도, 입자수, 손실수 두 변화에 대한 지속적인 모니터링을 통해 입자물질의 누출을 감시하고 일정 기준 이상으로 상승할 경우는 역세척을 실시하여야 할 것으로 판단된다.

Fig. 4는 #5 여과지에서 누계여과지속시간이 0 h(역세척 직후), 8 h 50 min, 23 h 20 min일 때 일정시간 운영 후 재가동시 입자수 분포를 조사한 결과이다. 분석기간 동안 역세척은 실시되지 않았다. 0 h의 경우 여과와 동시에 입자수가

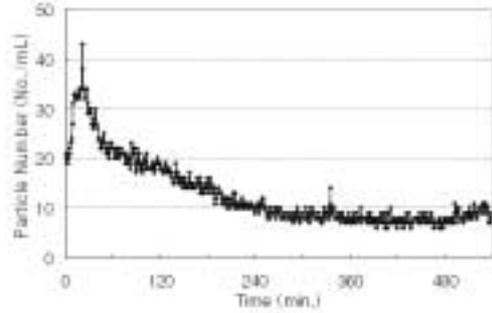


Fig. 6. Particle number in filtrate of #5 filter during 9 hours filtration in March 2008.

지속적으로 증가하는 경향을 나타내고 있다. 특히 21 min 경에 최고로 높은 농도를 나타내고 이후 조금씩 개선되는 현상을 보여주고 있다. 이는 역세척 후에 발생하는 전형적인 초기 누출을 나타낸다. 한편 8 h 50 min의 경우 여과를 한 후 일정기간 운휴 후 역세척 없이 다시 여과를 시작한 경우는 약 6-7분 경과 후 입자수의 분포가 가장 높은 것으로 나타났다. 이러한 경향은 누계여과지속시간 23 h 20 min 후에 조사된 여과수의 입자분포와 유사하며, Table 4에서 '08.2.2, 2.15, 2.29의 측정결과와 유사하다. 한편 #5지의 경우는 전체적으로 #4지에 비하여(Table 3 참조) 초기 입자물질의 파과가 더 심한 것으로 나타났다. 이러한 차이의 원인 파악을 위해 밸브 개폐시간, 여충구성, 하부집수장치 파손, 역세척 효율 등에 대한 여과지별 조사가 필요하다. 또한, 초기 30분간 배출되는 여과수량, 역세척 후 여재나 하부집수장치에 남아 있던 역세척수의 탁질누출 영향 등에 대한 추가조사도 필요하다.

한편, Fig. 5는 #5 여과지에서 여과지속시간에 따른 탁도변화를 나타낸 것이다. Fig. 4의 결과와 비교해볼 때 전체적으로 유사한 경향을 나타내나 입자수 분포의 변화가 훨씬 더 민감한 결과를 나타내는 것을 알 수 있다. 특히 탁도가 낮을수록 입자계수기가 훨씬 더 수질변화에 민감한 것을 알 수 있다.

Table 5. UFRV following operating filter number change in 2007 and 2008 (unit : m³/m²)

Filter No.	February		March	
	2007	2008	2007	2008
1	327	366	287	411
2	377	389	345	390
3	350	342	327	355
4	355	376	366	436
5	377	402	352	441
6	Not measured	399	Not measured	412
7	332	340	286	355
8	384	407	352	414
9	281	336	245	330
10	358	368	319	404
Mean	349	373	320	395

Fig. 6은 Fig. 4에 표시한 내용중 역세척 직후부터 8 h 50 min 동안 실공정에서 입자수를 연속적으로 측정한 결과이다. Fig. 4에서 8 h 50 min과 23 h 20 min의 경우 여과개시 후 약 19분과 27분 후에 입자수가 mL 당 10 이하로 감소하였으나, 역세척 후 바로 여과를 실시한 0 h의 경우 Fig. 4에서는 입자수가 mL 당 10 이하로 감소하지 않았다. 한편 Fig. 6에서는 약 3 h 경과한 후에야 입자수가 mL 당 10 이하로 감소하였다. 그러나 11 h 40 min 운휴 후 재가동시 입자수가 20 particles/mL까지 상승한 후 (Fig. 4에서 8 h 50 min에 해당되는 그래프 참조) 약 20분 후 안정화되는 것으로 나타났다. 즉, Fig 6은 숙성기간이 전혀 없어서 3 h 후에 여과수에서 입자수가 10 particles/mL에 도달하였지만 이후 재가동시(Fig. 4에서 8 h 50 min, 23 h 20 min의 경우)에는 20분 만에 안정된 상태에 도달한 것으로 판단된다. 따라서 역세척 직후 여과시에는 숙성에 약 3 h 정도 필요하였지만 일정기간 여과 후, 운휴, 재가동시에는 여재가 이미 숙성되어 여과초기 탁도 상승은 크지 않는 것으로 생각된다. 그러나 Table 4의 2.6의 경우처럼 여과지속시간이 너무 길 경우에는 재가동 초기에는 오히려 입자물질의 탈착이 발생하여 여과수에서 입자물질의 증가가 발생할 수 있다.

3.3. UFRV 조사 결과

유입유량의 변화에 따른 여과지수 변동운영의 경제적 효율성을 평가하기 위하여, UFRV를 '07년과 '08년의 동일시기(2~3월)를 대상으로 조사하였다. 일일 측정자료를 토대로 분석한 원수의 월평균 탁도는 '07년 2월과 3월은 각각 4.53, 14.64 NTU였으며, '08년 2월과 3월은 각각 2.01, 2.77 NTU로 조사되었다. pH, 알칼리도, 수온의 경우는 큰 차이가 발생하지 않았다. 월평균 원수 탁도는 '07년 3월의 경우 '08년 3월 보다 약 5배 가량 높은 것으로 조사되었다. 특히 '07.3.2~'07.3.6(5일간)의 강우에 의해서 발생하는 것으로 판단되며, 당시 최고 탁도는 108.1 NTU로 조사되었다. 그러나 지속시간은 5일 정도였으며, 다른 기간의 탁도는 전년과 유사하였다.

UFRV 조사결과 '07년 2월은 평균 349 m³/m² 이었으나, '08년 2월은 평균 373 m³/m²으로 약 7% 향상되었다. '07년 3월은 평균 320 m³/m² 이었으나 '08년 3월은 평균 395 m³/m²으로 23%가 향상되었다. UFRV는 여과지속시간에 많은 영향을 받으며, 여과지속시간은 여과지 유입 탁질량에 영향을 받는다. S 정수장의 경우 유입원수의 탁도가 100 NTU 이하일 경우에는 여과지 유입수의 탁도는 대부분 1.0 NTU 이하로 관리되어 여과지속시간에 큰 영향을 주는 것으로 판단

되지는 않는다. 그러나 보다 정확한 분석을 위해서는 원수 수질이 유사한 기간을 선정하여 추가 조사가 필요한 것으로 판단된다. 전반적으로, 여과속도 변동과 연계한 여과지 운영은 재가동에 의한 여과수 수질의 저하는 크지 않으면서 UFRV를 향상시킬 수 있는 유용한 방법이라고 생각된다.

4. 결론

정수지 또는 배수지의 체류시간이 짧을수록 정수장에서는 용수수요량의 변동에 따라 여과지 유입유량의 변동이 심하게 발생한다. 실공정 여과지를 대상으로 조사한 결과 여과지 유입물량은 시간별로 많은 변동이 있었으며, 유입물량의 변동은 여과속도 변동의 직접적인 원인이 되어 입자물질의 파과를 초래하였다. 이러한 현상의 개선방안으로 S 정수장에서 여과지 유입물량 변동에 따라 여과지 가동지수를 연계운영(가동-운휴-재가동)한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 역세척 직후에는 여재 미숙성으로 입자물질의 부착이 잘 이루어지지 않아 입자물질의 파과가 발생했으며 안정화까지 약 3시간이 소요되었다. 그러나 일정기간 운영한 여과지를 운휴 후 재가동하였을 경우는 여재가 이미 숙성되어 초기 입자물질의 파과는 심하지 않았으며, 여과개시 약 20분 후에 안정화 되었다.
2. 일정기간 운영한 여과지를 운휴 후 재가동할 경우에는 누계여과지속시간이 길수록 입자물질의 파과정도가 심했으며, 이는 부착량이 증가할수록 수류에 의한 전단력이 상승하여 나타나는 현상으로 판단된다.
3. 일정시간 여과지 가동 후, 운휴, 재가동하였을 경우 여과지속시간이 지나치게 짧거나 길 경우 입자물질의 파과가 능성이 높았다. 지나치게 짧을 경우는 여재 숙성이 미흡하고 길 경우에는 수류에 의한 전단력이 증가하여 나타나는 현상으로 생각된다. 따라서 S 정수장의 경우 누계 여과지속시간이 10시간~50시간인 경우에 여과지 운휴, 재가동이 권장된다.
4. 여과속도를 설계속도에 근접한 값으로 유지함으로써 UFRV가 7~23% 상승하는 효과를 가져왔다. 따라서, 유입량 변동과 연계한 여과지수 운영이 여과지 운휴 후 입자물질의 파과를 발생시키지 않으면서, UFRV를 향상시킬 수 있는 유용한 방법이라고 생각된다.

KSEE

참고문헌

1. McTigue, N. E., LeChevallier, M., Arora, H., and Clancy, J. (1998) *National Assessment of Particle Removal by Filtration*. AWWARF and AWWA, Denver.
2. LeChevallier, M. W., and Norton, W. D., Examining Relationship *Between Particle Counts, Giardia, Cryptosporidium, and Turbidity*. *J. AWWA*, **84**(12), 54-60.(1992)
3. Smith, J. E., and Perdek, J. M. "Assessment and management of watershed microbial contaminants." *Crit. Rev. Environ. Sci. and Tech.*, **34**, pp. 109-139.(2004)
4. Tufenki, N., Dixon, D. R., Considine, R., and Drummond, C. J., Multi-scale Cryptosporidium/sand interactions in water treatment, *Wat. Res.*, **40**, 3315-3331.(2006)
5. Emelko, M. B., Huck, P. M., and Coffey, B. M., "A review of Cryptosporidium removal by granular media filtration.", *J. AWWA*, **97**(12), 101-115.(2005)
6. 환경부 (2008) 정수처리기준 등에 관한 규정(환경부고시 제 2008-60호).
7. Amirtharajah, A., "Some Theoretical and Conceptual Views of Filtration.", *J. AWWA*, **80**(12), 36-46.(1988)
8. Kim, J., Nason, J. A., and Lawler, D. F., "Influence of Surface Charge Distributions and Particle Size Distributions on Particle Attachment in Granular Media Filtration.", *Environ. Sci. Technol.*, **42**(7), pp. 2557-2562.(2009)
9. Ahmad, R. Amirtharajah, A., Detachment of Particles During Biofilter Backwashing. *J. AWWA*, **90**(12), 74-85.(1998)
10. Bergendahl, J., and Grasso, D., Prediction of Colloid Detachment in a Model Porous Media: Thermodynamics. *AICHE Journal*, **45**(3), 475-484.(1999)
11. Bergendahl, J., and Grasso, D., "Prediction of colloid detachment in a model porous media: hydrodynamics.", *Chem. Eng. Sci.*, **55**, 1523-1532.(2000)
12. Adin, A., and Rebhun, M., "Deep-Ded Filtration: Accumulation-Detachment Model Parameters.", *Chem. Eng. Sci.*, **42**(5), 1213-1219.(1987)
13. Sharma, M. M., Chamoun, H., Sarma, D. S., and Schechter, R. S., "Factors Controlling the Hydrodynamic Detachment of Particles from Surfaces.", *J. Colloid Interface Sci.*, **149**(1), 121-134.(1992)
14. Ryan, J. N., and Gschwend, P. M., "Effects of Ionic Strength and Flow Rate on Colloid Release: Relating Kinetics to Intersurface Potential Energy.", *J. Colloid Interface Sci.*, **164**(1), 21-34.(1994)
15. Bai, R., and Tien, C., "Particle Detachment in Deep Bed Filtration.", *J. Colloid Interface Sci.*, **186**(2), 307-317.(1997)
16. Kim, J., and Lawler, D. F., "Particle detachment during hydraulic shock loads in granular media filtration.", *Wat. Sci. and Tech*1910., **53**(7), pp. 177-184.(2006)
17. Amburgey, J. E., "Optimization of the extended terminal subfluidization wash (ETSW) filter backwashing procedure.", *Water Res.*, **39**(2-3), 314-330.(2005)
18. AWWARF, *Filter Maintenance and Operations Guidance Manual*. AWWARF and AWWA, Denver.(2002)
19. Kawamura, S., *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities*. John Wiley & Sons, Inc., New York,(2002)
20. McDowell-Boyer, L. M., "Chemical Mobilization of Micron-Sized Particles in Saturated Porous Media under Steady Flow Conditions.", *Environ. Sci. Tech.*, **26**(3), 586-593.(1992)
21. Han, J., Fitzpatrick, C. S., and Wetherill, A., "The impact of flow surges on rapid gravity filtration.", *Wat. Res.*, **43**, 1171-1178.(2009)