



급속여과공정에서 여과수질 저하원인 및 개선방안

Cause of Filtrate Deterioration and Its Improvement in Rapid Filtration

김진근* · 이송희 · 김재원

Jinkeun Kim* · Songhee Lee · Jaewon Kim

한국수자원공사 수도관리처

(접수 2010년4월26일 ; 수정 2010년6월3일 ; 채택 2010년 6월10일)

Abstract

Particle removal is an important step taken at water treatment plants (WTPs) for the safety of tap water due to its proportionality to the pathogen inactivation. Government promulgated a treatment technique for the optimization of filtration including continuous turbidity monitoring using on-line turbidimeters. Based on the turbidity measurements of 460 filters at 31 WTPs operated by K-water, the evaluation of filtration performance and the investigation of major causes related to particle breakthrough were explored. 98.1 % of the filters had an effluent turbidity measurement which was less than 0.1 NTU, but turbidity breakthrough of more than 0.3 NTU was noticed occasionally which is in violation of AWWA 5-Star guidelines. It was shown that the optimization of coagulation, filter-to-waste, the observance of optimal filtration velocity and backwashing process based on filtrate turbidity were crucial for the improvement of filtrate.

Key words : filtration, particle removal, water treatment

주제어 : 여과, 입자제거, 상수처리

1. 서론

탁도와 병원성 미생물간에 일정한 상관관계가 존재하고, 탁도누출 발생시 대규모 수인성 질병 발생사례가 보고됨에 따라 미국에서는 수돗물에 대한 탁도기준을 지속적으로 강화하였다(LeChevallier and Norton, 1992; Emelko 등, 2005; Tufenki 등, 2006).

국내에서도 병원성 미생물에 대한 수질 안전성 향상을 위하여 탁도기준을 2도에서 1.0 NTU, 0.5 NTU로 지속적으로 강화하였다. 특히, 2000년대 초 발생한 수돗물내 미생물

존재 가능성 논란은 정수처리기준 도입으로 귀결되었다. 정수처리기준은 병원성 미생물에 대한 불활성화 기준 준수를 위한 규정으로, 일반적으로 사용되는 급속여과공정에서 *Giardia*는 99.9 %, *Virus*는 99.99 % 불활성화를 목표로 하고 있다(환경부, 2008).

일반적인 정수처리 공정은 혼화-응집-침전-여과-소독으로 이루어진 일련의 처리공정 조합이며, 여과공정은 입자 물질제거의 최종 공정이다. 여과효율은 물리화학적 요소에 많은 영향을 받는다. 화학적 요소로는 전처리 공정에서 입자 물질의 불안정화 정도가 가장 중요하다. 여과공정은 다른

* Corresponding author Tel:+82-42-629-2822, Fax:+82-42-629-2849, E-mail: kjinkeun@kwater.or.kr(Kim, J.)

Table 1. AWWA IWTA 정수장 인증기준

구분		1 - Star	3 - Star	5 - Star
여과수 탁도	대상	통합 여과수		개별 여과수
	시료	4시간 중 최고탁도(maximum value from each 4-hr period) (실시간 연속 측정 탁도계 이용)		
	기준	- 월간 0.3 NTU 이하 95 % 이상 - 최고탁도 1.0 NTU 이하	- 연간 0.14 NTU 이하 95 % 이상 - 월간 0.3 NTU 이하 95 % 이상 - 최고탁도 1.0 NTU 이하	- 연간 0.1 NTU 이하 95 % 이상 - 최고탁도 0.3 NTU 이하
소독능평가		소독능 요구값(CT) 이상 유지		

형태의 응집공정이므로 응집공정 효율은 여과효율에 직접적인 영향을 준다. 다음으로 물리적 요소 측면에서는 여과속도, 즉 수류전단력이 영향을 줄 수 있다. 수류전단력이 입자물질의 파괴에 미치는 영향 정도는 입자물질의 플록강도에 영향을 받는데 이는 결국 화학적 요소에도 지배 받음을 의미한다(Bai and Tien, 1997). 따라서, 여과공정에서 입자물질 제거율 향상을 위해서는 이러한 물리화학적 요소에 대한 성능제한 인자 파악 및 개선이 필요하며, 수도사업자별로는 법적 수질기준 보다 훨씬 강화된 자체 기준을 수립하고 시설 및 공정을 개선하는 등 다양한 노력을 하고 있다.

정수처리공정 운영관리 최적화를 통한 수질안전성 향상을 위해 미국수도협회(AWWA)는 수도사업자간의 자발적인 참여를 바탕으로 하는 PSW(Partnership for Safe Water)를 운영하고 있다(AWWA, 2010). PSW는 모두 4단계(Phase I, II, III, IV)를 통해 정수처리 효율향상을 도모하고 있다. PSW의 최고 단계는 Phase IV인데, 1,2,3단계를 통해 향상된 정수처리 효율에 근거하여 정수장 수준을 평가하는 것이다. Phase IV에서는 모니터링 수준, 개별 침전수 수질 목표(예: 유입수의 탁도가 10 NTU 이하일 경우 침전수의 95 % 이상이 1.0 NTU 미만일 것) 설정, 개별 여과수 수질목표(개별 여과수 및 통합 여과수 탁도, 역세척 직후 초기탁도 기준 등) 설정, 소독능 기준 등에 대한 가이드라인이 있다.

PSW Phase IV 인증의 가장 중요한 요소는 여과수 탁도인데, 15분 간격으로 측정된 개별 여과수 탁도가 연간 0.1 NTU 이하 95 % 이상이고, 최고탁도가 0.3 NTU 이하여야 한다. 현재 미국내 정수장중 Phase IV 가이드라인을 모두 만족하여 Excellence in Water Treatment Award를 수상한 정수장은 6개소이다. 한편 AWWA는 미국외 정수장을 대상으로 PSW와 동등 수준으로 IWTA(International Water Treatment Alliance)를 운영중이며, 정수장 인증

단계를 1,3,5-Star의 3단계로 구분하고 있다. 구체적인 인증기준은 Table 1과 같다(AWWA, 2010).

2002.7.5에 제정된 국내 정수처리기준은 여과지와 정수지 사이에 모든 여과지의 유출수가 혼합되는 지점(즉, 통합 여과수)에서 4시간 간격으로 1일 6회 이상 탁도를 측정하도록 하고 있으며, 매일 측정된 탁도 시료수의 95 % 이상이 0.3 NTU를 초과하지 아니하고 각각의 시료에 대한 측정값이 1.0 NTU를 초과하지 않을 것을 규정하고 있다(환경부, 2008). 국내 정수처리기준은 Table 1에 의하면 1-Star와 동일한 수준이며, 국내 대부분의 정수장은 1-Star 수준을 만족하고 있다.

1-Star 수준에서 한 단계 더 나아가 3,5-Star 수준으로 정수장 운영관리 능력을 향상시키기 위해서는 다양한 노력이 필요하다. 우선, 자체 수질목표 설정(예, 3-Star 또는 5-Star 수준 등)이 필요하며, 이를 달성하기 위해 응집공정 최적화, 여과속도 상승폭 제한, 여재 포설 깊이와 여재 유효경 개선 등을 포함한 다양한 운영 및 시설개선 사항이 포함될 수 있다.

본 논문에서는 K-water에서 운영중인 31개 정수장의 개별 여과지에 설치한 실시간 탁도계 운영자료를 바탕으로 정수장별 5-Star 달성수준을 평가하고 5-Star 미달성 정수장의 원인파악 및 개선방안 수립을 통해 고품질 수돗물 생산 방안을 제시하는 것이다.

2. 실험대상 및 방법

연구대상은 K-water에서 운영관리하는 광역상수도 31개 정수장의 460개 여과지이다. K-water에서는 정수장 가동률이 낮을 경우 경제적인 운전을 위하여 일부 여과지를 순차적으로 운휴하고 있다. 정수장 가동률이 낮음에도 불구하고 여과지를 모두 사용할 경우 단위여과면적당 여과수량

Table 2. 31개 광역상수도 생활용수 정수장의 여과지 현황

정수장	시설용량 (m ³ /d)	취수원	여과속도 (m/d)	여재						포설깊이/유효경 (L/d)
				안트라사이트/GAC			모래			
				유효경 (mm) (d)	균등계수	포설깊이 (cm) (L)	유효경 (mm) (d)	균등계수	포설깊이 (cm) (L)	
A	916,000	팔당호	186	0.97	1.51	50	0.58	1.42	25	946
B	786,000		165	0.91	1.515	50	0.69	1.69	25	817
C	450,000		180	-	-	-	0.90	1.34	108.5	1,206
D	215,000		180	1.1	1.5	48.8	0.61	1.49	25	875
E	150,000		156	0.8	1.41	140	0.46	1.5	25	2,400
F	258,000		130	-	-	-	0.77	1.66	60	780
G	250,000		180	0.99	1.45	50	0.61	1.30	25	915
H	70,000	광동호	120	-	-	-	0.53	1.50	65	1,226
I	100,000	황성호	280	1.14	1.43	175	0.76	1.40	25	1,864
J	403,000	대청호	205	1.1	1.48	18	0.54	1.49	44	978
K	351,000		229	1.14	1.31	43	0.50	1.56	35	1,077
L	350,000		178	1.02	1.34	50	0.51	1.24	30	1,078
M	109,000		185	1.1	1.46	55	0.57	1.38	45	1,043
N	250,000	북한강	145	-	-	-	0.85	1.4	110	1,294
O	285,000	보령호	130	-	-	-	0.61	1.42	61	1,000
P	700,000	용담호	126	-	-	-	0.69	1.67	110.8	1,606
Q	90,000	동진강	139	-	-	-	0.62	1.61	62.1	1,002
R	87,000	부안호	119	-	-	-	0.67	1.49	74	1,104
S	52,000	동화호	120	-	-	-	1.05	1.36	110	1,048
T	100,000	주암호	121	-	-	-	0.64	1.50	660	1,031
U	45,000	이사천	135	-	-	-	0.6	1.57	60	1,025
V	200,000	장흥호	280	1.35	1.4	175	0.75	1.40	25	1,629
W	200,000	낙동강	178	0.82	1.6	100	0.58	1.50	30	1,737
X	10,000	운문호	133	-	-	-	0.63	1.50	70	1,296
Y	40,000		135	0.93	1.57	20	0.59	1.50	50	1,019
Z	62,000	영천호	239	1.01	1.43	30	0.58	1.58	50	1,159
AA	120,000	낙동강	143	0.97	1.39	120	0.55	1.39	25	1,692
AB	20,000	구천호	129	-	-	-	0.63	1.68	65	1,031
AC	261,000	진양호	133/243	0.95	1.5	50	0.65	1.54	70	1,143
AD	70,000	밀양호	224	1.01	1.34	50	0.52	1.38	35	1,168
AE	80,000		227	0.92	1.25	51	0.51	1.37	30	1,142

* E, AA정수장은 기존의 모래여과지를 활성탄 여과지(GAC Filter/Adsorber)로 개량한 정수장임

* AC정수장의 여과속도는 1단계는 133 m/d, 2단계는 243 m/d임

(UFRV; Unit Filter Run Volume)의 감소를 가져와 비경제적인 운영이 될 수 있으므로, 일부 여과지를 운휴하거나, 유입수량에 따라 여과지수를 변동 운영하기도 한다 (Kawamura, 2000; 김과 이, 2009).

광역상수도 생활용수 정수장의 시설용량 및 여과지 사양은 Table 2와 같다. 여과지 면적은 대부분 지당 100 m² 내외이다. 한편, 일부 정수장에서는 유기물 제거효율 향상을 위하여 기존 여과지를 활성탄여과지(GAC Filter Adsorber)로 전환하였다.

여재 규격의 경우 여과효율 향상을 위하여 여재 깊이(L)와 여재 유효경(d)의 비인 L/d를 모두 1,000 이상으로 유지하는 것을 목표로 하고 있으나, 일부 정수장에서 이에 미달

하며, 미달정수장에 대해서는 2012년까지 단계적으로 시설을 개선할 계획이다(K-water, 2008).

본 연구에서는 개별 여과지에 설치한 실시간 탁도계를 이용하여 15분 간격으로 측정된 탁도자료를 바탕으로 정수장별, 여과지별 5-Star 인증기준 달성비율, 기준 미달원인 및 개선방안에 대한 분석을 실시하였다. 연구기간은 2009.8.1-2009.12.31이다. 탁도결과와 병행하여 일부 여과지의 경우 입자계수기 운영결과를 동시에 분석하였다. 탁도계는 주기적으로 검교정을 실시하여 자료의 신뢰도를 확보하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 정수장 개별 여과수 탁도 수준

Fig. 1은 15분 간격으로 측정된 정수장별 개별 여과지 탁도값을 대상으로 한 5-Star 달성률이다. 조사대상인 31개 정수장 중 5개 정수장에서만 5-Star 수준에 도달한 것으로 평가되었다. 당초 평가 기준은 연간 달성률을 목표로 하고 있으므로 본 연구기간이 5개월임을 감안할 때 실제 달성률은 이 보다 낮을 것으로 추정된다. Fig. 1에서 5-Star 달성률이 50%라고 하면 해당 정수장의 전체 운영 여과지중 50%만이 5-Star 인증기준을 달성했음을 의미한다.

한편 Fig. 2는 전체 개별 여과지 유출수 탁도자료에 대한 0.1 NTU 이하 달성률로서, 대부분의 정수장에서 90% 이상을 상회하고 있는 것으로 조사되었다. 조사대상 정수장의 탁도자료를 산술평균하였을 경우, 전체 정수장에서 0.1 NTU 이하 달성률은 98.1%로 조사되었다. 한편, 모래여과지를 활성탄여과지로 개량한 E, AA정수장의 경우 탁질제거율 측면에서 특이사항은 발견되지 않았으며, 이는 기존의 연구결과와 유사하다(Kim and Kang, 2008).

개별 여과지를 대상으로 미달 원인을 분석하여 Fig. 3에

표시하였다. 5-Star 인증기준은 최고탁도 준수(0.3 NTU 이하)와 0.1 NTU 이하 95% 이상 달성으로 구분할 수 있다. 모니터링 초기에는 최고탁도와 0.1 NTU 이하 달성률 불만족이 비슷한 수준으로 평가되었으나, 이후 0.1 NTU 이하 95% 이상 달성률은 상승한 반면, 최고탁도 만족 수준은 상대적으로 미흡하였다. 이는 0.1 NTU 이하 달성률은 응집 공정 최적화, 역세척 시점 조정, 여과속도 상승률 제한을 통해 많이 개선되었으나 역세척 직후에 주로 발생하는 최고탁도의 경우, 시동방수 미비 등으로 개선율이 상대적으로 낮은 것으로 추정된다.

탁도 수준 평가를 통해 여과성능 제한인자 분석을 사례별로 실시하였으며, 이를 통해 여과수 수질향상 방안을 모색하였다.

3.2. 전처리공정 미흡으로 인한 탁질 누출

여과공정은 응집공정의 후속공정이므로, 여과효율은 응집공정을 통한 입자물질의 불안정화 정도에 직접적으로 영향을 받는다(Cleasby and Logsdon, 1999). 따라서, 입자물질 제거율 향상을 위해 전처리 공정으로 응집공정 최적화가 매우 중요하다. 입자물질의 불안정화 정도는 입자물질의

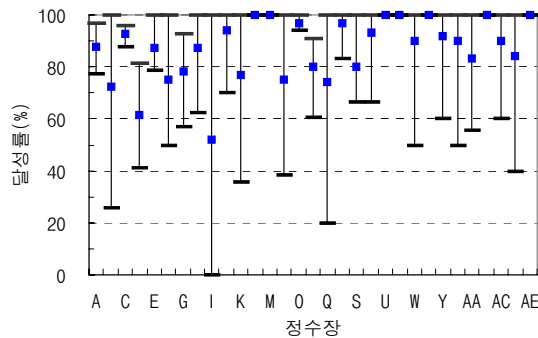


Fig. 1. 여과지별 5-Star 달성률

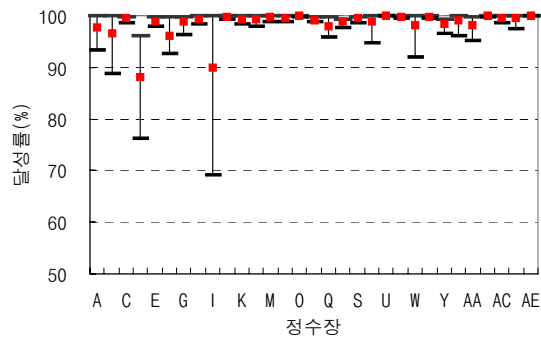


Fig. 2. 정수장별 0.1 NTU 이하 달성률

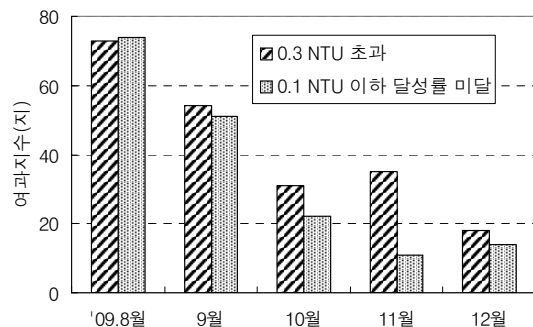


Fig. 3. 여과지별 5-Star 미달 원인 분석(2009년도)

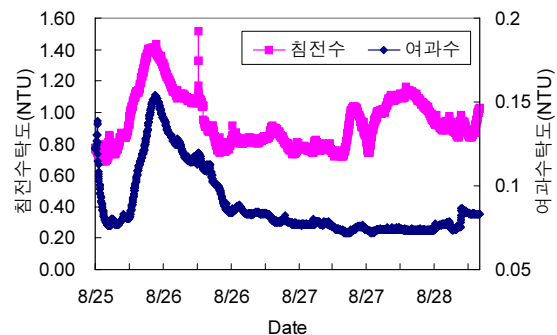


Fig. 4. 침전수 및 여과수 탁도(D정수장)

여재부착력에도 영향을 주지만 여과진행중에 입자물질의 탈착에도 영향을 준다(Ryan and Gschwend, 1994). 입자물질의 불안정화가 약할수록, 즉 입자물질의 안정성이 높을수록 입자물질과 여재간, 입자물질과 입자물질간 부착력이 약하여 입자물질의 비부착과 탈착 정도가 동시에 증가한다. 또한 여과과정을 통해 특정시기에 입자물질의 불안정화 정도가 약해질 경우에도 여재에 이미 부착된 물질의 부착력 감소를 유발하여 입자물질의 파과로 이어질 수 있다.

Fig. 4는 팔당호를 상수원으로 하는 D정수장에서 2009.8월에 발생한 개별여과수 탁도의 누출 사례를 나타내고 있다. D정수장은 감쇄여과방식으로 여과초기 여과속도가 매우 빠른 특성을 보이고 있다. 여과초기 탁도는 약 0.12 NTU이었으나, 1.5시간 후에 여재 속성과 함께 0.08 NTU 정도로 안정화되었다.

한편, 여과수는 0.08 NTU정도로 안정화된 이후에 바로 상승하는데, 이는 침전수 탁도의 영향으로 판단된다. 여과수 탁도 측정기간 동안 원수탁도의 특별한 변화는 없었으나, 응집제 주입 불충분으로 인한 입자물질 불안정화 미흡으로 침전수 및 여과수의 탁도상승이 발생하는 것으로 추정된다. 이처럼, 여과공정이 안정화되었더라도 전처리 공정에서 입자물질 불안정화가 미흡할 경우 입자물질의 비부착 또는 탈착이 발생하여 여과수 탁도 상승의 원인이 된다. 탁도는 약 8시간 정도의 상승 후 점차로 안정화되어 0.07 NTU 수준으로 개선되었다. 여과개시에는 약 1.5시간만에 안정화된데 비하여 중간 탁도상승기에는 약 13시간이 소요되었다. 여과초기에는 입자물질이 불안정화된 상태에서 여재의 미숙성으로 인해 탁도상승 기간이 상대적으로 짧으나, 여과중 약품 과소주입 등으로 인한 입자물질의 불안정화가 미흡할 경우 탁도상승 기간이 훨씬 더 길 수 있음을 보여주는 사례이다. 이를 통해 응집공정의 최적화가 입자물질 제거율 향상의 가장 큰 전제조건임을 다시 한 번 확인하였다.

한편, D정수장의 경우 초기 속성기간도 다른 여과지에 비해 상대적으로 긴 것으로 조사되었는데, 이는 여과초기 여과속도가 급상승하는 감쇄여과의 특성과 L/d의 미흡(875)에 기인하는 것으로 판단된다.

3.3. 여과초기 탁질 누출

여과공정의 메카니즘상 여과초기에는 대부분의 여과지에서 입자물질 누출이 발생한다. 이는 여재표면의 불안정화 조건이 미흡하여 주로 발생하며, 여과가 진행될수록 입자물질이 여재에 코팅되어 실질적인 여재표면적이 증가되는 현상이 발생하기 때문에 여과효율이 증가한다. 여과초기 탁질 누출 정도는 전처리(응집공정 등), 여과방식(정속여과, 감쇄여과), 여재조건(여층깊이, 유효경 등)등의 물리화학적

조건에 따라 상이하다.

Fig. 4에 나타난 바와 같이 D정수장에서는 여과초기 약 1.5시간 동안 상대적으로 고탁도의 여과수가 생산되었다. 이를 개선하기 위해 정수장에서 실행 가능한 부분은 여과개시후 일정 탁도 이상의 여과수를 정수지가 아닌 배출수처리 시설이나 여과지 전단 또는 착수정으로 회수하는 시동방수 시스템의 도입이다. K-water 정수장의 경우 대부분 여과지 시수밸브를 전동화하여 시동방수가 가능하게 되어 있으나, 여과지 자동운전과의 연계는 미흡하다. 2010.4월 수립한 K-water 시동방수 자체 기준에 의하면 여과수 탁도가 0.2 NTU 이상일 경우 시동방수가 개시되고, 0.1 NTU 이하로 낮아지면 시동방수를 중지한다. 시동방수의 경우 여과지별로 기존에 탁도계가 모두 설치되어 있기 때문에 여과공정 자동화 제어에 반영하여 추진이 가능하다. K-water에서는 2010.9월까지 여과공정 제어 로직에 시동방수를 포함하여 개선할 계획이다. 시동방수 실시를 통해 최고탁도(0.3 NTU) 초과 비율 감소 및 0.1 NTU 이하 달성률이 상당히 개선될 것으로 기대된다.

3.4. 여과속도 급상승으로 인한 탁질 누출

정수지 수위 증감에 따라 취수량의 증감이 발생하고, 취수량의 증감은 곧 여과속도 변동의 원인이 된다. 이외에도 역세척 실시, 회수펌프 기동 등에 따라 여과지 유입물량의 증감이 발생할 수 있다. 여과지 유입물량의 순간적인 증가는 여과속도의 증가를 유발시키며, 이는 곧 여재에 부착한 입자물질의 탈착을 유발할 수 있다. 입자물질의 탈착은 여과 진행 정도, 플록 강도(입자물질의 불안정화 정도), 여층 깊이 등에 따라 상이할 수 있다. 한편, Ives 등은 입자물질의 파과를 방지하기 위해서는 여과속도 상승률을 분당 3% 이하로 할 것을 권장하고 있으며, K-water에서도 개별 여과지의 여과속도 상승률 가이드라인을 분당 3% 이하로 설정하여 운영하고 있다(AWWARF, 2002; K-water, 2008).

Fig. 5는 정속여과지에서 여과속도와 여과수 탁도의 관계를 나타내고 있다. 여과수 탁도는 여과개시와 동시에 높은 값을 나타냈다가 약 20분후 안정되었다. 이후 여과과정중에 탁도 상승이 발생하는데, 이는 여과속도 급변과 관계가 있는 것으로 추정된다. 여과속도의 경우 취수펌프 가동에 따라 계단식 구조를 나타내고 있다. 최저 3.7 m/hr에서 최대 10.4 m/hr까지 변동되어 약 2.8배까지 증가되었다. 당초 W정수장의 설계여과속도는 8.1 m/hr(194 m/day)이다. 전체적인 여과속도 측면에서는 설계속도보다 낮더라도, 순간적인 유량증가는 곧 수리적 충격부하로 연결되어 여재에 부착된 입자물질의 파과로 귀결된다. 따라서, 급격한 여과속도 증가를 방지하기 위해서는 인버터 등 유량조정장치를 펌프에 설

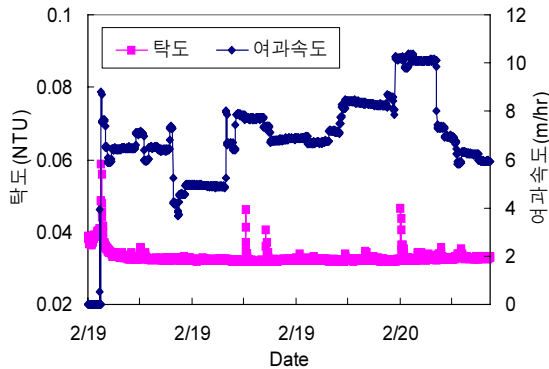


Fig. 5. 여과속도와 탁도의 관계(W정수장)

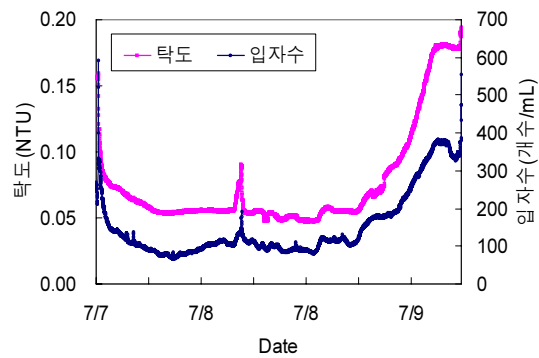


Fig. 6. 여과말기 탁질 누출(B정수장)

치하거나, 유입유량 변동과 연계한 여과지 운영 등을 통해 개선할 수 있다.

3.5. 역세척 개시 시점 지연으로 탁질 누출

Fig. 6은 B정수장에서 여과개시부터 여과종료까지 57시간(2009.7.7. 09:00 - 2009.7.9. 18:30) 동안 탁도 및 $2 \mu\text{m}$ 이상 크기의 입자수 변화를 나타낸다. 여과초기에는 약 0.15 NTU까지 탁도 상승이 관찰되었으며, 탁도 및 입자수는 모두 유사한 경향을 나타내고 있다. 최고탁도의 경우 5-Star 수준을 초과하는 것은 아니었으나, 0.1 NTU 이하 달성률은 83.9 %로 5-Star 수준에 미달하는 결과를 나타냈다.

Fig. 6에서 2009.7.8. 08:00 정도에 여과속도 과다로 인해 순간적으로 여과수 탁도가 약 10분간 0.08 NTU를 초과하는 것으로 조사되었으나, 0.1 NTU 이하로 전체 수질관리 상 큰 문제는 아닌 것으로 판단된다. 그러나, Fig. 6에서 가장 큰 문제점은 여과후반기에 탁질 누출현상이 나타났다는 것이다. 약 0.2 NTU까지 지속적으로 탁도가 상승했는데 이를 개선하기 위해서는 여과수 탁도가 일정 수준에 도달하면 역세척 실시가 필요하다. 대부분의 정수장(B정수장 포함)에서는 역세척 개시시점 결정을 여과지속시간이나 손실수두를 이용해서 실시하고 있는데, 5-Star 수준의 철저한 품질관리를 위해서는 여과지별 탁도자료를 활용한 역세척 실시가 필요하다.

여과지 유출수 탁도를 역세척 공정과 연계운영하는 방안으로는 개별 여과수의 탁도가 0.07 NTU 이상 1시간 이상 지속될 경우, 개별 여과수의 탁도가 0.08 NTU 이상 30분 이상 지속될 경우, 개별 여과수의 탁도가 0.09 NTU 이상이 15분 이상 지속될 경우에 자동으로 역세척을 실시할 수 있다. 상기의 어느 하나 조건에 해당되면 역세척을 실시하여

야 하나, 여과속도 급변 등으로 인하여 단기간(15분 이내) 상승하는 경우는 예외로 하며, 어떠한 경우에도 0.1 NTU를 초과하지 않도록 운영하는 것이 권장된다. 또한 여과초기 탁도상승은 시동방수를 통해 대응이 가능하고, 여과지속시간이 일정 수준 이상일 때만 여과수 탁도와 연계한 역세척 실시가 권장된다.

3.6. 단속운전에 따른 탁질 누출

유입물량 증가에 따른 여과속도 변동 완화를 위하여 정수장에서는 여과량과 연계한 여과지수 운영을 실시할 수가 있다. 이 경우 여과 개시-여과 운휴-여과 재개-역세척 실시 등의 순번으로 여과지를 운영할 수 있다.

한편, 정속여과방식인 Q정수장 여과지를 대상으로 단속 운전에서의 입자물질 파괴특성 조사 결과, 여과지속시간이 10~50시간인 경우 여과지 운휴후 재가동시 입자물질 누출이 미미 하였지만, 여과지속시간이 너무 짧거나 긴 경우에는 입자물질 누출이 확인된 바 있다(김과 이, 2009). 여과 운휴 후 재가동시에는 여재가 이미 숙성되어 초기 입자누출은 심하지 않으나, 여과방식, 여과지속시간, 전처리 정도에 따라 입자물질의 파괴양상은 달라질 수 있다.

Fig. 7은 B정수장의 4일(2009.10.1-10.4) 동안 여과지 운영자료이다. 여과지 운휴후 재가동시 0.2 NTU까지 매우 짧은 시간(5분 미만)이었지만 탁도상승이 관찰되었다. 이러한 현상을 방지하기 위해서는 여과지 단속운전을 할 때, 여과지속시간에 근거하여 여과지 운휴대상을 선정해야 한다. 여과지속시간이 너무 짧은 경우 여과중지후 재가동시 여과지 숙성이 미흡하여 탁질누출이 발생할 수 있으며, 여과지속시간이 너무 긴 경우 여과중지후 재가동시에는 순간적인 수리적 충격부하 발생으로 탁질누출이 발생할 수 있다.

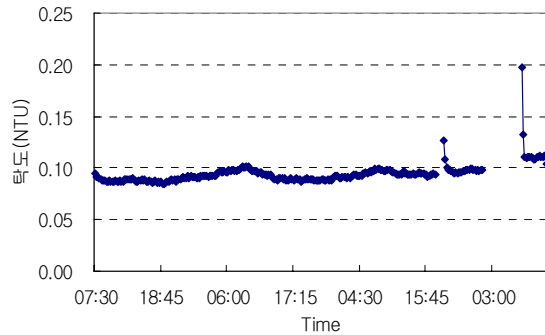


Fig. 7. 단속운전에 따른 입자물질 파과(B정수장)

4. 결론

광역상수도 정수장 31개소의 개별 여과지 탁도자료를 바탕으로 미국수도협회 5-Star 인증기준 달성도를 평가한 결과 5개 정수장에서 기준을 만족시키는 것으로 평가되었다. 대다수의 정수장에서 입자물질의 파과가 관찰되었으며, 입자물질 파과의 주요 원인 및 개선방안은 다음과 같다.

1. 최고탁도(0.3 NTU)와 0.1 NTU 이하 달성률을 평가하였을 경우 최고탁도 미달 비율이 더 높은 것으로 조사되었다. 이는 순간적으로 0.3 NTU를 초과하는 경우가 많음을 의미한다.
2. 여과과정중에 전처리 불량할 경우 여과수 탁도 상승이 관찰되었으며, 이를 제어하기 위해서는 응집공정의 최적화가 선행되어야 한다.
3. 여과초기 여재의 미숙성으로 인한 입자물질의 파과를 제어하기 위해 시동방수 시스템 도입이 권장된다. 5-Star 수준으로 개별 여과수 탁도를 관리하기 위해서는 0.2 NTU 이상일 경우 시동방수를 개시하고 0.1 NTU 이하일 경우 종료 권장된다.
4. 여과속도의 급상승은 여재에 부착된 입자물질의 탈착을 유발하여 여과탁도 상승의 원인이 된다. 여과속도 상승시는 분당 3% 이하의 완만한 상승이 요구되며, 유입물량 제어 또는 유입물량에 연계한 여과지수 운영을 통해 개선이 가능하다.
5. 역세척 개시시점이 지연될 경우 여과수 탁도가 상승할 수 있으며, 여과지별로 설치된 탁도와 연계한 역세척 실시를 통해 개선이 필요하다.
6. 여과지 단속운전의 경우, 여과 재개 초기에 순간적으로 탁도상승 가능성이 있다. 여과지 운휴, 재가동의 경우 여과지속시간과 연계한 공정관리를 통해 개선할 수 있다.

5. 참고문헌

김진근, 이정택 (2009) 유입유량과 연계한 여과지 가동지수 변동 운영이 여과수 수질에 미치는 영향, *대한환경공학회지*, 31(9), pp. 817-824.

K-water (2008) 정수처리시설 종합개선 계획.

환경부 (2008) 정수처리기준 등에 관한 규정(환경부고시 제 2008-60호).

AWWA(American Water Works Association) (2010) www.awwa.org.

AWWARF (2002) Filter Maintenance and Operations Guidance Manual. AWWA, Denver.

Bai, R. and Tien, C. (1997) Particle Detachment in Deep Bed Filtration. *J. Colloid Interface Sci.* 186(2), pp. 307-317.

Cleasby, J.L. and Logsdon, G.S. (1999) Granular Bed and Precoat Filtration in *Water Quality and Treatment*. 5th Ed. AWWA, Denver.

Emelko, M.B., Huck, P.M. and Coffey, B.M. (2005) A review of Cryptosporidium removal by granular media filtration. *J. AWWA*, 97(12), pp. 101-115.

Kawamura, S. (2000) *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities*. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Kim, J. and Kang, B. (2008) DBPs removal in GAC filter-adsorber. *Wat. Res.* 42(1-2), pp.145-152

LeChevallier, M.W., and Norton, W.D. (1992) Examining Relationship Between Particle Counts, *Giardia*, *Cryptosporidium*, and Turbidity. *J. AWWA*, 84(12), pp. 54-60.

Ryan, J.N. and Gschwend, P.M. (1994) Effects of Ionic Strength and Flow Rate on Colloid Release: Relating Kinetics to Intersurface Potential Energy. *J. Colloid Interface Sci.* 164(1), pp. 21-34.

Tufenki, N., Dixon, D.R., Considine, R. and Drummond, C.J. (2006) Multi-scale Cryptosporidium/sand interactions in water treatment, *Wat. Res.* 40, pp. 3315-3331.