

급속모래여과 공정에서의 여과보조제에 의한 수질개선효과 연구

김형선[†] · 이규성 · 백영애 · 조춘구*

서울시 수도기술 연구소

*승실대학교 환경·화학공학과

The Improvement of Water Quality by Using Filter-aids in Rapid Sand Filters

Heung Sun Kim[†] · Gyu Seong Lee · Young Ae Back · Choon Koo Zhoh *

Water Technology Research Institute Seoul Metropolitan Government

* Dept. of Chem. & Environ. Eng, Soong Sil University

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the microbial safety in rapid sand filters adopted in most drinking water treatment plants. The potential pathogens to cause water quality problems are presumed to be *Giardia* and *Cryptosporidium*. They look like particles in view of their size. It has been reported that if the number of particles (larger than 2 μ m in water) is less than 100 per mL and its turbidity is below 0.1 NTU, it is considered as a safe water in terms of pathogens.

In order to achieve such a good water quality, filter-aids (chemicals) were added to the inlet-channel of filter and their effectiveness was evaluated on the basis of water quality factors such as turbidity and particle counting.

This study was conducted in the three steps of experiment: jar test, pilot plant test and real water treatment plant test (P plant in Seoul). The experiment result of the P water treatment showed that cationic polyamine was the most effective in the removal of particles and turbidity at the dose of 0.25 mg/L. The turbidity without filter-aids showed in the range of 0.12 ~ 0.17 NTU during filtration and 0.14 NTU on the average. However, with addition of polyamine, the turbidity represented below (or less than) 0.1 NTU after 20 min in the start of filtration and kept 0.08 NTU on the average.

On the other hand, as for number of particles, while no filter-aids led to the range of 111 ~ 270 per mL and 190 on the average, addition of polyamine led to 113 per mL on the average, and kept below 100 per mL after 20 min in the start of filtration.

Key words : *giardia*, *cryptosporidium*, particles, filter-aid, polyamine

1. 서 론

국내 대부분의 정수장에서 채택하고 있는 급속모래여과공정은 침전으로 제거하지 못한 입자성 현탁물질 및 세균, 일부 무기물과 유기물 등을 제거하여 양질의 정수를 생산하는 최종 처리공정이다. 특히, 소독저항성이 매우 큰 병원성 원생동물인 *Giardia*나

Cryptosporidium, Virus 등에 의한 수질오염사고로 인해 미국 환경보호청(US Environmental Protection Agency : USEPA)에서는 여과수의 탁도가 1개월간 연속 측정된 결과치가 95% 이상 0.5NTU 미만이 되도록 규정하고, 목표수질 달성을 위해 지표수처리규정(Surface Water Treatment Rule; SWTR)에 따라 처리시설을 개선하도록 하고 있다.^{7,8)}

또한, 전체 정수공정에서 *Giardia cyst*는 99.9%, *Virus*는 99.99% 제거하기 위해 효율적인 운영기법을 도입하도록 하고 있으며, 처리수의 탁도가 0.1 NTU 미만이 되면 개별공정과 소독공정의 최적화가 이루어져 *Giardia*나 *Virus*의 제거 목표치가 달성된 것

[†]Corresponding author : Water Technology Research Institute Seoul Metropolitan Government
Tel : 02-45400586, Fax : 02-453-0734
E-mail : k3055s@seoul.go.kr

으로 간주하고 있다.^{7,11,12)}

여과보조제는 1960년대 이후 여과속도의 증대 및 여과수질 향상을 위한 모래와 조합한 이중여재 및 다층여재 여과지가 개발되면서 그 필요성이 요구되어 상용화 되었으며, 미국의 경우 현재 대부분의 기존정수장에서 사용하고 있다.¹⁴⁾ 하지만, 국내에서는 여과보조제인 유기폴리머의 사용이 여과지운영효과에 대한 관계규명 부족 등으로 사용이 제한되어 왔으나¹⁾, 최근 수처리제로 폴리아민 계열의 사용이 허용되고⁶⁾, 먹는물 수질기준이 종래 1 NTU에서 2001년 7월 1일부터 0.5 NTU 이하로 강화되면서³⁾ 여과보조제 사용의 필요성이 요구되고 있다.

*Giardia*나 *Cryptosporidium*과 같은 원생동물은 정보수집법(ICR, Information Collection Rule)에 따라 관측하여야 하나 직접적인 측정이 어렵고, 입자성 물질과 유사한 특징이 있어 대체감시(alterantive monitoring) 수단으로 수중입자계측 방법을 이용하고 있다.^{5,10,12,13)} Kawamura는 미생물적 안전성과 양호한 여과수질 기준으로 여과수 1mL당 2~5/μm 입자수를 100개 이하로 제시하고, 500개 초과시 여과수 수질이 나쁜 것으로 보고한 바 있다.^{2,15)}

지금까지 일반적인 수질평가의 지표로 사용된 탁도와 입자수와와의 상관관계는 여과수 0.3 NTU 이상에서는 $R^2=0.71$ 인 반면, 0.3 NTU 이하에서는 $R^2=0.04$ 로써 상관성이 없는 것으로 보고된 바도 있

다.^{4,12)} 그러므로 여과지 유출수의 탁도를 0.5 NTU 이하의 정밀한 수질평가를 위해서는 탁도계와 더불어 입자계측을 추가로 도입해야 할 것이다.^{4,8)}

본 연구는 수도물의 미생물적 안전성 제고와 여과지운영의 최적화 방안 도출을 위하여 급속모래여과 공정에서의 여과보조제에 의한 수질개선 효과와 적용 가능성평가를 실시하였고, 평가방법으로는 Jar-test, Pilot plant-test, 그리고 서울시 P 정수장을 대상으로 탁도 측정과 입자분석을 실시하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험장치

(1) Jar-tester

적정 응집제 주입량을 결정하기 위해 Phipps & Bird(모델명 PB-900)사 제품의 Jar-tester를 이용하였으며, Jar 용기는 가로 11.5cm, 세로 11.5cm, 높이 21cm의 장방형이고, Jar-test 운영조건은 Table 1과 같다.

(2) pilot plant

정수장 현장 실험에 앞서 실험조건 도출 및 사전 효과평가를 위한 pilot plant의 제원은 Table 2와 같고, 구성은 혼화지, 응집지, 침전지, 여과지로 하고 현장 조건을 고려하여 운영하였다.

Table 1. Experimental condition of jar-test

item	rpm	G(S ⁻¹)	time(min)
rapid mixing	150	120	1
slow mixing	1st stage	70	7
	2nd stage	40	7
	3rd stage	25	7
sedimentation	0	0	20

Table 2. The characteristics of design parameters in the pilot plant

process		dimension
rapid mixing basin	capacity	0.032m ³ x 1basin
	capacity	0.520m ³ x 1basin
slow mixing basin	detention time	26min
	type	3stage tapered
sedimentation basin	capacity	3.887m ³ x 1basin
	detention time	2.5hr
filter column	diameter	150mm x 2column
	effective size	0.6mm
	filter rate	150m/d

2. 실험재료

(1) 응집제

응집제는 현재 서울시 정수장에서 사용하고 있는 Polyaluminumchloride(PACl)를 2,000 mg/L stock solution으로 제조하여 Jar-test 실험을 실시하였다.

(2) 여과보조제

여과보조제는 응집제로 이용되고 있는 PACl과 음이온계인 Polyacrylamides, 양이온계인 폴리아민을 사용하여 비교평가 하였다. PACl은 2,000 mg/L stock solution으로 제조하여 여과자유입 전 수로에 주입하였으며, Polyacrylamide와 폴리아민은 200 mg/L stock solution을 제조하여 농도를 변화시켜가며 주입하였다.

(3) filter paper

Jar-test 결과에 의한 신속한 여과효율 평가를 위해 filter paper(Whatman No. 1)를 이용하였다.

3. 분석방법

(1) 탁도

Hach(모델명 : 2100A)회사 탁도계를 이용하여 측정하였다.

(2) 입자분석

본 실험에서 이용한 수중입자 입도 분석장치는 HIAC/ROYCO(Pacific Scientific, Hiac/Royco Division : Silver Spring, MD)회사의 Model 9094 Sizing Counter를 이용하였다. 센서는 Hiac/Royco model HRLD-150과 HRLD-400 두 가지 종류가 있으며 이 센서는 광원으로 laser를 사용하며 감지장치로서 Photodiode(광선변환장치)를 이용하며 Light obscuration 방식으로 되어 있다. 사용된 두 센서의 사양은 Table 3과 같고, 입자분석기의 분석계통도는 Figure 1과 같다.

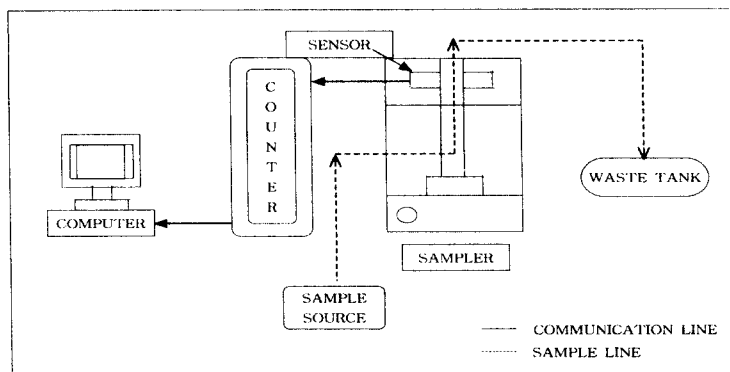
Size window를 나누는 기준은 최근 관심의 대상이 되는 소독내성 미생물인 *Giardia cysts*나 *Cryptosporidium cysts*의 크기를 기준으로 제시된 EPA ICR Sampling Manual을 참고하였다.⁹⁾

본 규정에서 제시한 크기의 범위는 3-5, 5-7, 7-10, 10-15, 15 μ m 이상 등이며, 1992년 Lewis C. M. 연구결과에 의하면 Hiac Royco의 HRLD-150 Sensor에서 측정된 *Giardia cysts*의 크기는 실제크기 8.9 μ m를 4-5 μ m로 감지된다고 보고하였다.⁹⁾ 미국의 지표수처리기준(SWTR)에서 규정한 *Giardia*

Table 3. Specification of HRLD sensor

HRLD Sensic style	HRLD-150	HRLD-400
Range(μ m)	1~150	2~400
Calibration Flow Rate (mL/min)	10~75	10~200
Concentration Limit (Particle per mL)	18,000	10,000
Size of sensor orifice (mm)	0.15 × 1.0	0.40 × 1.0

Figure 1. Configuration of particle counter



cysts의 크기는 5.8~12.5 μm 으로서 이에 해당하는 size window는 3~7 μm 으로 볼 수 있다. 또한 *Cryptosporidium*은 실제 4~7 μm 크기지만, 감지범위는 1~2 μm 으로서 상당히 작게 나타났다.⁹⁾

4. 실험방법 및 실험내용

(1) Jar-test

여과보조제간 평가 및 최적 주입량 도출을 위한 Jar-test 실험에서 국외사례를 기초로 PACI은 0.25~2.5 mg/L, Polyacrylamide와 polyamine은 0.1~1.5 mg/L 범위로 주입하였으며 실험절차는 다음과 같다.

- ① 6개의 Jar에 2L의 원수를 채운후 동일하게 응집제를 각각 주입한다.
- ② 급속교반을 150 rpm, 1분간 실시한 후 완속교반을 70 rpm으로 7분동안 40 rpm으로 7분 동안, 25 rpm으로 7분간 실시한다.
- ③ 완속교반 후 20분간 정지하고 상등수 120 mL를 각각 채수하여 1번 Jar를 제외한 나머지 5개 Jar에 여과보조제를 농도별 주입하여 magnetic stirrer로 20초간 교반시킨다.
- ④ 교반 후 깔대기와 filter paper를 이용하여 여과(처음 여과된 20 mL는 버리고 나머지 여과된 100 mL를 취함)한 후 여과보조제 별 적정 주입량에 대한 분석을 실시하였다.

(2) Pilot plant-test

본 실험에서는 여과보조제 주입에 따른 입자수, 탁도, 여과지속시간 등의 평가를 위해 다음과 같이 실험을 실시하였다.

- ① 원수에 대한 Jar-test를 실시하여 적정 응집제 주입량을 결정하였다.
- ② 유량계에 의하여 원수 유입량을 일정하게 유지시키고, 혼화지에 응집제를 정량펌프에 의해 일정하게 주입한다.
- ③ 여과지 가동전에 15분간 물 역세척을 실시하고, 침전지와 여과지 사이의 관로에 Jar-test로 결정한 여과보조제를 주입한다. 이때 여과보조제 주입효과 평가를 위해 여과지 2지중 1지에만 여과보조제를 주입한다.
- ④ 여과속도는 150 m/day가 되도록 조정하고 증류수로 희석한 PACI, polyacrylamide, polyamine을 200 mg/L stock solution을 정량 펌프로 주입한다.
- ⑤ 여과개시후 일정 시간 간격으로 채수 및 여과지

속시간을 비교한다.

일반적인 여과지속시간 비교평가방법은 탁도, 손실수두, 여과지수위 등이 있으나, 본 실험에서는 여과지 한계 수위를 1.5 m로 설정하여 결정하였다.

(3) P 정수장 현장실험

Jar-test와 Pilot plant-test 결과를 기초로 하여 정수장 현장에서의 여과보조제에 의한 수질개선 효과를 검증평가 위하여 P 정수장의 여과효율이 불량한 2지를 대상으로 폴리아민 0.25 mg/L를 주입한 여과지(25호지)와 주입하지 않은 여과지(26호지)에 대한 상대비교를 탁도와 입자분석을 통해 실시하였다. 채수는 역세척후 1시간 까지는 10분 간격으로, 그 후는 시간 간격으로 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 여과보조제별 여과효과 개선효과 평가실험

적정 여과보조제 선정과 최적주입량은 Jar-test로 결정하였으며, 그 결과를 토대로 모형 및 현장실험에서 입자제거율과 탁도 개선효과를 검증하였다. 본 연구의 평가대상 여과보조제(polyacrylamide, polyamine, polyaluminumchloride)별 실험결과는 다음과 같다.

(1) Jar-test

Jar-test와 filter paper에 의한 여과보조제 별 탁도와 입자분석한 실험결과는 Table 4와 같다.

본 결과와 같이 입자수와 주입농도와의 관계는 일입자가 filter paper에서 누출되므로 일정한 경향을 나타내고 있지 않으나, 입자누출의 영향이 적어 입자수에 의한 여과보조제의 최적주입농도 결정은 가능한 것으로 나타났다. 수질에 대한 민감도는 탁도 보다는 입자수에 의한 평가지표가 우수한 것으로 나타났다. 또한, 탁도와 입자수의 관계는 탁도가 가장 적은 0.07 NTU인 경우 입자수는 최소 30개, 최대 89개로 편차가 59개였고, 0.09 NTU인 경우 최소 78개, 최대 124개로 편차가 46개나 되어 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나, 하나의 실험재료와 동일원수에서의 탁도와 입자수는 일정한 경향을 보이고 있어 최적주입 농도 결정결과는 비슷한 결과를 보이고 있다. 그러므로, 0.1 NTU 전후의 수질평가는 민감도가 좋은 입자계수에 의한 방법과 보조수단으로 탁도를 이용하는 것이 좋은 것으로 나타났다.

이러한 고찰결과에 의하여 여과보조제의 최적주입

filter aid	Jar No.					
	1	2	3	4	5	6
dose(mg/L)	0	0.10	0.25	0.50	1.0	1.5
PAA particles/mL >2 μ m	51	44	33	30	46	47
turbidity (NTU)	0.09	0.11	0.07	0.07	0.07	0.10
dose(mg/L)	0	0.10	0.25	0.50	1.0	1.5
PA particles/mL >2 μ m	81	70	76	78	76	86
turbidity (NTU)	0.11	0.09	0.08	0.09	0.07	0.09
dose(mg/L)	0	0.25	0.50	1.0	2.0	2.5
PACl particles/mL >2 μ m	144	124	110	129	89	78
turbidity (NTU)	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07

Table 4. Variation of water quality according to three kinds of filter-aids

농도는 polyacrylamide(PAA)와 polyamine(PA)은 0.25 mg/L를, polyaluminumchloride(PACl)은 2 mg/L가 최적인 것으로 나타났으나 주입량에 비하여 효과가 적으므로 탁도를 기준으로 적정주입농도를 0.5 mg/L로 결정하였다.

(2) Pilot plant-test

여과보조제 주입 유무에 따른 입자수, 탁도, 여과지속시간에 대한 여과보조제 별 실험결과는 다음과 같다.

① Polyacrylamide(PAA)

음 이온계인 polyacrylamide는 Jar-test 실험에서도 출된 최적 주입량인 0.25 mg/L를 주입한 여과효과에 대한 실험결과는 Table 5와 같다.

위 실험결과와 같이 음 이온계인 polyacrylamide를 주입한 경우 탁도는 주입하지 않은 경우보다 전반적으로 오히려 더 높은 수준을 유지하고, 2 μ m 이상 입자 제거율도 개선효과가 없는 것으로 나타났다. 그러나 여과지속시간의 경우 13시간으로 주입하지 않은 경우 10시간 보다 평균 30% 연장효과가 있는 것으로 나타났다.

이를 토대로 볼 때 음 이온계 polyacrylamide는 여과보조제로서 적절하지 않은 것으로 판단되는데, 이는 응집·침전과정에서 음이온계로 제거가 용이한 양 이온성의 금속이온 입자는 거의 다 제거되고, 제거가 어려운 음 이온성의 유기 미세 입자의 영향인 것으로 추정된다.

② Polyamine

최근 수처리제로 고시(1999)된 양 이온계 유기고분자인 polyamine 0.25 mg/L를 주입한 실험결과는 Table 6, Figure 2, 3과 같다.

위 실험결과와 같이 polyamine을 주입한 경우는 주입하지 않은 것에 비하여 입자수 제거와 탁도가 여과초기부터 말기까지 전반적으로 수질개선 효과가 뚜렷하고, 여과지속시간도 4시간 정도 연장되는 것으로 나타났다. 즉, 2 μ m/mL 이상 입자수는 100개 이하가 polyamine을 주입한 경우는 여과개시 30분만에 도달되고 여과말기까지 유지되었으나, 주입하지 않은 경우는 여과개시 120분에서 240분 까지만 유지되었다. 탁도는 polyamine을 주입한 경우 0.1 NTU 이하가 여과개시 20분만에 달성되고 여과말기 까지 유지되었으나, 주입하지 않은 경우는 여과개시 60분 부

Table 5. Variation of water quality with and without addition of polyacrylamide according filtration time

filter run time(min)	filtrate without filter aid			filtrate treated by filter aid		
	particles/mL >2 μ m	particles/mL >3 μ m	turbidity (NTU)	particles/mL >2 μ m	particles/mL >3 μ m	turbidity (NTU)
10	351	139	0.15	355	141	0.14
20	297	120	0.13	287	108	0.11
30	180	65	0.13	169	74	0.11
60	67	31	0.12	71	30	0.12
120	68	34	0.10	84	44	0.11
240	55	30	0.07	84	46	0.13
480	147	100	0.09	127	66	0.13

* raw water (mean) : turbidity : 2.4 NTU, particles/mL > 2 μ m : 9243

Table 6. Variation of water quality with and without addition of polyamine according filtration time

filter run time(min)	filtrate without filter aid			filtrate treated by filter aid		
	particles/ml >2 μ m	particles/ml >3 μ m	turbidity (NTU)	particles/ml >2 μ m	particles/ml >3 μ m	turbidity (NTU)
10	352	172	0.19	240	96	0.13
20	307	121	0.13	215	85	0.10
30	188	79	0.12	95	42	0.10
60	129	66	0.10	47	18	0.08
120	79	37	0.08	30	14	0.08
240	52	22	0.07	28	12	0.06
480	117	62	0.10	41	21	0.07

* raw water (mean) : turbidity : 2.9 NTU, particles/ml > 2 μ m : 12029

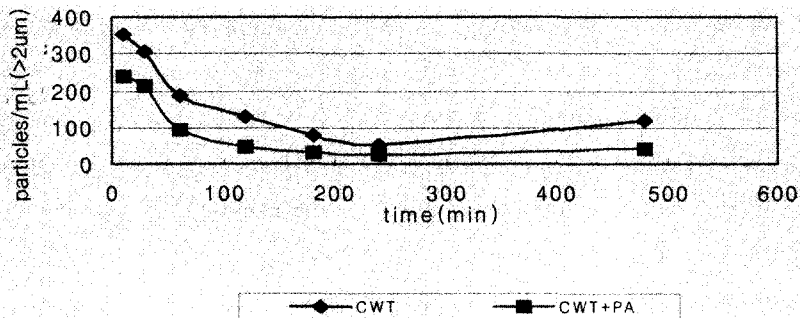


Figure 2. Trends of the particles removal (larger than 2 μ m) with and without addition of polyamide (CWT : Conventional Water Treatment, PA : PolyAmide)

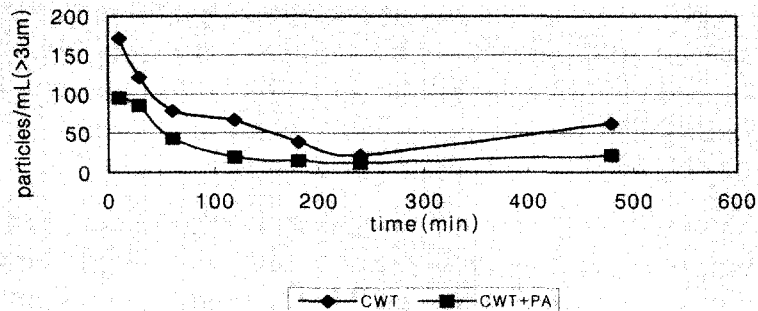


Figure 3. Trends of the particles removal (larger than 3 μ m) with and without addition of polyamide (CWT : Conventional Water Treatment, PA : PolyAmide)

터 여과말기에 다소 상승추세이지만 480분까지 유지되었다.

여과지속시간은 polyamine을 주입하지 않은 경우 평균 10시간이지만 주입한 경우는 14시간으로 40% 연장시킬 수 있는 것으로 나타났다.

Pennsylvania주 환경보호국은 여과수 시료의 90%에서 3~18 μ m 입자가 50개/mL 이내로 정하고 있는데, 이 기준과 비교할 때 polyamine을 주입하지 않은 여과지는 여과경과 후 1.5시간까지 50개를 초과하고

그후 50개 이하를 유지하다가 여과경과 8시간 이후에 다시 50개를 초과하는 것으로 나타났다. 반면에 polyamine을 주입할 경우 여과개시 30분 후 까지만 50개를 초과하였다.

미국의 지표수처리법은 소독공정의 최소효율기준으로 *Giardia* 3log(99.9%), Virus 4log 불활성화하도록 하고, 이것을 달성하기 위해 기존공정에서 2.5log(99.7%), 소독공정에서 0.5log를 불활성화시키도록 하고 있다. 입자제거율 향상은 *Giardia* 제거율

filter run time (min)	filtrate without filter aid		filtrate treated by filter aid	
	% removal	log removal	% removal	log removal
10	97.1	1.5	98	1.7
20	97.4	1.6	98.2	1.7
30	98.4	1.8	99.2	2.1
60	98.9	2.0	99.6	2.4
120	99.3	2.2	99.8	2.7
240	99.6	2.4	99.8	2.7
480	99	2.0	99.7	2.5

Table 7. Variation of the particles removal efficiencies(>2µm) with and without addition of polyamine according to filtration time

Table 8. Variation of the particles removal efficiencies with and without addition of polyaluminumchloride according to filtration time filter run time(min)

filter run time(min)	without addition of PACl			with addition of PACl		
	particles/mL>2µm	particles/mL>3µm	turbidity (NTU)	particles/mL>2µm	particles/mL>3µm	turbidity (NTU)
10	336	178	0.14	280	143	0.13
20	196	87	0.10	172	76	0.10
30	168	75	0.11	36	16	0.07
60	91	38	0.09	19	9	0.07
120	47	22	0.08	21	11	0.07
240	24	12	0.05	16	9	0.05
480	115	70	0.07	18	9	0.07

* raw water (mean) : turbidity=3.0 NTU, particles/ml > 2µm=1342

항상을 의미하므로 이런 관점 하에 소독공정을 제외한 기존공정에서 입자제거율이 2.5log 이상 되어야 한다.

그러므로, 여과보조제를 이용한 수질개선 효과를 분석하기 위해 원수대비 입자제거율을 환산하였으며 그 결과는 Table 7과 같다.

여과보조제를 주입하지 않은 여과지의 여과수는 원수대비 입자제거율이 2.5log (99.7%)를 넘지 못하였으며, 여과보조제로 polyamine을 주입한 여과지의 여과수는 여과개시 2시간 이후 부터 제거율 2.5log를 달성하였다. 그러나 polyamine을 주입하여도 여과개시 30분전까지 2log 제거율을 넘지 못하는 것으로 나타났다. 이는 2 µm 이상 입자수가 200개를 넘는 역세척수의 영향으로 판단되며, polyamine으로 처리된 물로 역세척할 경우에도 여과개시 초기에는 최소 2log 제거율은 초과할 것으로 예상된다.

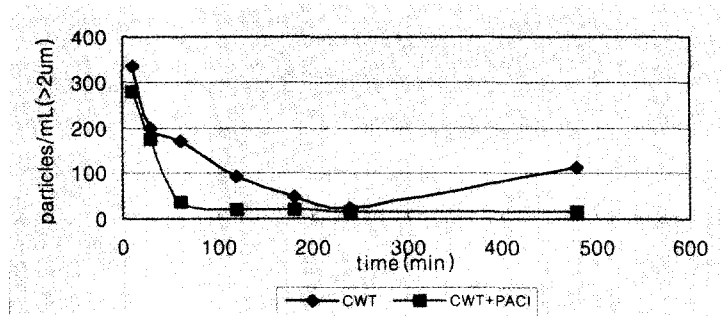
③ PACl(Polyaluminumchloride)

미국 Greenville Water System에서는 Alum을 여과지 유입수에 주입하여 탁도를 0.15 NTU에서 0.1 NTU로 입자수를 1 mL당 500개에서 50개로 낮춘 바 있다고 보고되고 있는데, 이와 동일한 알루미늄계열 응집제인 PACl(polyaluminumchloride)를 여과보조제로 주입한 실험결과는 Table 8, Figure 4와 같다.

2µm/mL 이상 입자수는 여과보조제인 PACl을 주입하지 않은 경우 100개 이하가 여과개시 60분 후부터 240분까지 달성된 것에 비하여 주입한 경우는 30분 후부터 여과말기인 480분까지 18개를 유지하여 여과지속시간의 연장효과가 많은 것으로 나타났다.

그러나 탁도의 경우는 PACl을 주입한 경우와 주입하지 않은 경우 다같이 여과 초기부터 말기까지 0.1 NTU이하의 양호한 수질상태를 나타냈으며, 여과지속시간도 모두 평균 10시간 정도로 비슷하게 나

Figure 4. Trends of the particles removal(larger than 2 μ m) with and without addition of polyaluminumchloride(CWT :Conventional Water Treatment, PA : PolyAmide)



* % removal = 100 - 100/(10log removal)

Table 9. Variation of the particles removal efficiencies(>2 μ m) with and without addition of polyaluminumchloride according to filtration time

filter run time (min)	filtrate without filter aid		filtrate treated by filter aid	
	% removal*	log removal	% removal	log removal
10	97.5	1.6	97.9	1.7
20	98.5	1.8	98.7	1.9
30	98.7	1.9	99.7	2.5
60	99.3	2.2	99.9	3.0
120	99.6	2.4	99.8	2.7
240	99.8	2.7	99.9	3.0
480	99.1	2.0	99.9	3.0

* % removal = 100 - 100/(10log removal)

타났다.

원수농도와 대비한 2 μ m/mL 이상 입자제거율은 Table 9와 같으며, 여과보조제를 주입하지 않은 경우는 2.5log (99.7%) 제거율이 여과개시 240분 전후에만 달성되었고 여과말기에는 2log로 낮아졌다. 그러나 여과보조제로 PACl을 주입한 경우는 여과개시 30분부터 여과말기인 480분 후까지 유지되었다.

PACl을 여과보조제로 사용할 경우 탁도개선 효과는 있으나 입자제거와 여과지속시간의 연장효과는 거의 없는 것으로 나타나, 여과보조제로 적합하지 않은 것으로 판단된다.

2. 여과보조제 주입에 따른 여과효율개선 현장실험
P 정수장의 여과지 26지중 여과지양면의 트라프 높이가 불균일하여 여과개시초기 탁질누출이 심한 25호지와 26호지를 실험대상 여과지로 선정하였다.

여과보조제는 polyamine을 사용하였으며, 주입위치는 25호지 유입위어 지점에 0.25 mg/L를 주입하였다. 26호지는 주입하지 않은 상태에서 여과효율 개선 효과에 대한 비교실험을 실시하였다. 채수시간 간격은 역세척후 1시간까지는 10분 간격으로 그 후에는 4시간까지 1시간 간격으로 수질 분석한 실험결과는 Table 10, 11과 같다.

탁도의 경우 polyamine을 주입하지 않은 26호 여과지는 여과개시초기 최고 0.17 NTU이고, 여과지 숙성후에도 0.1 NTU 이상을 유지하였으며, 평균 탁도는 0.14 NTU를 나타냈다. 그러나 polyamine을 주입한 25호 여과지는 최고 0.12 NTU이고, 20분후부터 0.1NTU 이하를 유지하여 탁도 개선효과가 현저하였다.

입자제거효과의 경우 polyamine을 주입하지 않은 26호 여과지 mL당 입자수는 최고 288개, 평균 190

Table 10. Variation of the turbidity with and without addition of polyamine according to filtration time

filter no.	filter run									
	10min	20min	30min	40min	50min	1hrs	2hrs	3hrs	4hrs	mean
#25*	0.12	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.06	0.07	0.08
#26	0.17	0.15	0.13	0.15	0.13	0.13	0.12	0.13	0.15	0.14

* #25 : polyamine 0.25 mg/L dosing

Table 11. Trends of the particles(larger than 2 μ m) with and without addition of polyamine

filter no.	filter run									
	10min	20min	30min	40min	50min	1hrs	2hrs	3hrs	4hrs	mean
#25*	195	90	104	73	70	165	55	104	160	113
#26	270	170	115	169	111	117	288	215	251	190

* #25 : polyamine 0.25 mg/L dosing

개인 반면에 주입한 25호 여과지는 각각 190개, 113개로 여과지의 입자수를 현저히 줄이는 것으로 나타났다.

본 실험결과를 토대로 볼 때 정수장에서 장마철 원수 고탁도시 침전수 탁도가 상승하여 정수탁도 수질기준인 0.5 NTU에 근접할 경우, 비상대응 방안으로 polyamine을 투입하여 수질사고를 미연에 방지할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 입자수 제어효율향상 결과에 의하면, 겨울철 원수중 *cyclotella* 농도 증가와 하절기 납조류 번성에 의한 곰팡이 냄새 발생으로 분말활성탄 주입농도 증가로 여과지에서의 활성탄 누출이 예상될 때, 이를 방지하는데 polyamine을 투입시 제어효과가 있을 것으로 판단된다. 그러나 polyamine을 장기 주입시 여과지 표면의 스크 발생과, 여과사오염 등에 의한 수질 악화를 초래할 수 있으므로 정수장에서는 이에 대한 지속적인 관리가 필요하다.

IV. 결 론

수돗물의 미생물적 안전성 제고와 정수 수질개선의 최적화 방안 도출을 위하여 여과보조제에 의한 입자제거효율 평가를 Jar-test에 의하여 약품의 적정 주입량을 결정하고, Pilot Plant에 의한 비교평가와 P 정수장 현장적용 실험을 실시한 바 다음과 같은 결과를 얻어 여과보조제는 양이온계 사용이 적정한 것으로 나타났다.

1) 음이온계 여과보조제인 polyacrylamide를 0.25

mg/L 주입한 여과지의 경우 주입하지 않은 여과지보다 전반적으로 탁도가 높은 수준을 유지하였으며 2 μ m 이상 입자 제거율도 뚜렷한 향상효과가 없었다.

이는 응집·침전과정에서 양이온성의 금속이온 입자는 거의 다 제거되고 음이온성의 유기물질 미세 입자의 영향인 것으로 추정된다.

2) 양 이온계 여과보조제인 polyamine을 0.25 mg/L 주입한 여과지의 경우 여과수는 여과경과후 30분만에 2 μ m 이상 mL당 입자수가 100개 이하로 낮아지고, 2시간 후부터 원수대비 제거율이 2.5log(99.7%)를 달성하였으나, 주입하지 않은 경우는 2.5log(99.7%)를 넘지 못하였다. 탁도의 경우 polyamine을 주입하지 않은 여과지는여과경과 10분 후와 8시간 후 0.19 NTU, 0.10 NTU인 반면에, polyamine을 주입한 여과지는 0.13 NTU와 0.07 NTU로 초기와 말기탁질누출도 개선되었으며 여과지속시간을 40% 연장시켜 polyamine은 여과보조제로의 기능이 탁월한 것으로 나타났다.

3) 응집제로 사용되고 있는 polyaluminum-chloride(PACl)를 여과보조제로 주입한 여과지는 여과경과후 20분만에 2 μ m 이상 mL당 입자수가 100개 이하로 낮아지고 원수대비 제거율이 여과개시 30분부터 제거율 2.5log를 달성하였고, 여과말기인 8시간 후까지도 100개 이하를 유지하였으나, 주입하지 않은 여과지의 경우는 여과경과 1시간후부터 100개 이하가 되었으며, 원수대비 제거율도 2.5log(99.7%) 달성이 어려웠다. 그러나, polyamine과는 다르게 탁도와 여과지속시간 개선효과는 없었다.

4) P 정수장의 여과지중 여과지양면의 트라프높이가 균일하지 않아 여과효율이 불량한 여과지를 대상으로 polyamine을 여과지 유입위에 0.25 mg/L를 주입하여 비교실험을 실시한 결과, 탁도(평균 : 0.14 NTU→0.08 NTU)와 입자수 개선효과(평균 : 190 개/mL→113 개/mL)가 뚜렷하여 장마철 원수 고탁 도시와 겨울철 원수중 cyclorella의 농도가 높거나, 하절기 남조류 번성에 따른 곰팡이 냄새 발생시 분말활성탄의 주입농도 증가로 여과지에서의 분말활성탄 누출 우려가 있을시 여과보조제로 polyamine을 주입할 필요가 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

- 1) 환경부, 상수도시설기준, 1998
- 2) 수도연구회, 정수시설의 최적설계 및 유지관리. 그린테크노. 1997.
- 3) 유 명진, 심 유섭, 한 인섭, 조희경, "모래여과에서 여과속도가 입자제거 및 여재속성에 미치는 영향", 대한환경 공학회, 2001.
- 4) 심 유섭, "입자크기 평가를 통한 여과공정의 최적화 연구" 서울시립대학교 대학원 환경공학과. 공학박사 학위논문, 2001.
- 5) 최 정진, "21세기를 향하는 미국 정수처리 기술", 대한상하수도학회지, Vol. 12, No.1. 6.
- 6) 환경고시 제 1999-173(수처리체의 기준과 규격 및 표시기준 개정), 행정자치부 관보 제14344호, 1990.
- 7) Monitoring Requirements for Public Drinking Water Supplies. Final Rule. 61:94::24354-24388, May 14, 1996
- 8) Beard, J.B. II, Tanaka, T.S., "A Comparison of particle counting and nephelometry in evaluating filtration plant performance," JAWWA, 69:10:533, Oct., 1977
- 9) Counting as a Measure of Treatment Plant Performance," AWWARF, Denver, AWWA(1992)
- 10) USEPA. ICR Sampling Manual. EPA 814-B-96-001, Apr. 1996
- 11) Letterman, R. D., "An overview of filtration," J. AWWA, Vol 79, No.12, pp 26~32, 1987.
- 12) Lewis, C. M. and Manz, D. H. , "Light scatter particle counting; improving filtered Water quality", J. Venvir., ASCE, Vol, 117, No. 2. PP. 2, 1991.1998.
- 13) Cleaby, J . L., "Back to the basic", Presentation at the AWWA Conference, AWWA Seminar Proceedings on Coagulation & Filtration, pp. 59~84, June, 1981.
- 14) Cleaby, J . L., "Design and Operation Guidelines for the High-Rate Filtration Process : Plant Survey Results". AWWARF, Denver, AWWA, 1989.
- 15) Kawamura. s. "Desgn and operation of high-rate filters", J. AWWA, Vol. 91, No. 12 pp. 77~ 90, 1999.