서울시 정수처리 공정별 수처리 평가 (2003)

기술개발부 수처리연구과
송만식, 김도연, 이만호, 허영봉, 최연규, 김형준, 김한호, 정의선, 노방식, 김형선, 이규성

The Performance Evaluation of Water Treatment Unit Processes in Seoul City

Water Treatment Research Division

Mahn-Shik Song, Do-Yeon Kim, Man-Ho Lee, Young-Bong Heo, Yon-Kyu Choi,
Hyoung-Joon Kim, Han-Ho Kim, Eui-Sun Jeong, Bang-Sik Rho,
Hyoung-Seon Kim, Gyu-Seong Lee

ABSTRACT - Owing to various recent water treatment issues and more stringent standards of drinking water quality, the maximization of the efficiency for overall treatment processes is required at water treatment plants. Investigation over water quality and operation state of the water treatment unit processes was conducted during the year of 2003.

The turbidity of settled water was under 1NTU except the wet season, September. The turbidity of filtered water and finished water was continuously under 0.1NTU. Average $KMnO_4$ consumed of settled water and filtered water was below 5mg/L and 2.5mg/L, respectivley. Also, THMs concentration of finished water was less than 30㎍/L.

Moreover, we examined several status of unit process operation, or test for pollution in the filtraton sand, adjustment of mixing impeller and flocculator, management of recycle process, etc. Such operations were successfully accomplished by careful maintenance and continuous development.

Keywords : unit process, water treatment plant, turbidity, settled water, filtered water

서 론

물은 생명의 근원이자 인간생활의 가장 기본적인 요소이다. 우리나라는 1908년 뚝도에 1일 12,000m^3 규모의 근대식 수도를 도입한 이래 1960년대까지 도시 주변의 상수원수를 이용한 자족적 수원을 개발하였다. 이러한 상수도의 도입은 편리함과 공중위생을 확보하였다.

1970년대 이후 고도성장과 산업구조개편을 맞아 국가산업기지 조성, 인구의 도시집중에 따라 대규모의 용수가 필요해졌고 산업폐수, 생활하수로 인해 상수원 오염이 심해졌다. 그러나 정수처리기술은 산업기술 발달 속도를 따라가지 못하여 각종 수질사고가 발생한다.

1989년 중금속 오염, 1991년 낙동강 phenol 오염 등 일련의 수질사고는 국민에게 수돗물에 대한 불신감을 심어주었다. 계속해서 일부 지방에서 virus 및 소독부산물 검출 논란 등이 불거지면서 수돗물에 대한 불신은 오히려 과거보다 한층

높아가고 있다. 또한 맛냄새는 인체에는 무해하지만 국민이 수돗물을 불신하는 가장 대표적인 원인이다.

공정별 수처리 평가는 수돗물의 품질을 향상시키기 위한 노력이다. 공정별 수질현황을 검사하고 아울러 기존공정의 운전실태를 조사하여 현재의 정수처리 공정관리의 적합성 여부를 파악한다. 이에 따라서 각 정수장에 수질변화에 적합한 정수처리 방법을 제공하여 합리적이고 경제적인 운영 및 유지관리를 돕고자 한다. 그리고 현장에서 발생하는 시설공정별 문제점을 순차적으로 선정하여 개선방향을 제시함으로써 먹는물 품질향상을 모색하기 위한 기초자료로 활용할 것이다.

이번 2003년 1/4분기에는 공정별 수질검사와 아울러 여과사 오염도 조사현황 그리고 여과모래층 표면부터 trough 위끝까지 높이 등에 대하여 점검하였다.

2/4분기에는 공정별 수질검사와 아울러 응집기 운영실태 그리고 장마철 원수 고탁도시 대응전략 등에 대하여 점검하였다.

3/4분기에는 공정별 수질검사와 아울러 혼화기 운영실태 그리고 THMs 저감방안 등에 대하여 점검하였다.

그리고 4/4분기에는 공정별 수질검사와 아울러 순환공정 운영실태 그리고 겨울철 CT값 제고방안 등에 대하여 점검하였다.

조사대상 및 방법

1. 조사대상

조사대상은 서울시 6개 정수사업소(8개 정수장)이고, 정수사업소 현장여건을 고려하여 채수지점과 sample의 수를 사전기준에 따라 선정한 후에 분기별 1회 조사하였다. 주요조사내용은 정수처리 공정별 수질, 처리효율, 운영실태 등이다.

6개 정수사업소의 공정별 수질 및 처리효율을 평가하기 위해 원수, 침전수, 여과수, 정수를 대상으로 탁도, pH, 유리잔류염소 농도, $KMnO_4$ 소비량, THMs 및 Al 농도 등 총 6개 항목의 수질을 검사하였다.

침전수와 여과수의 시료수는 총지수의 1/3로, 정수는 공장별로 채수하였으며 탁도, pH, 잔류염소, $KMnO_4$ 소비량 등 4개 항목은 정수장 실험실에서 즉시 분석하였고 THMs 및 Al 농도는 현장에서 전처리한 후 연구소로 운반하여 보존기간내에 분석하였다.

2. 조사방법

탁도와 $KMnO_4$ 소비량의 처리효율에 대하여 정수장별로 객관적으로 비교평가하기 위하여 전염소로 처리하지 않은 원수를 채수하고 침전수는 모든 월류 weir의 유출수가 합쳐지는 수로상에서 채수하였다.

탁도는 HACH사 2100A 탁도계, pH는 Metroh-m사 model704 pH-meter, 잔류염소는 HACH사 pocket colorimeter, THMs 농도는 Varian사 GC, Al 농도는 Jovin Yvon사의 JY38PLUS ICP-AES, 를 이용하여 분석하였다. $KMnO_4$ 소비량은 수질오염공정시험법과 먹는물시험법에 따라 이화학실험에 의해 검사하였다.

계절별 수질변화에 따른 처리효율을 조사하고자 분기별 1회씩 총4회 공정별 수질을 검사하였고 수질조사항목은 탁도, alkalinity, 수온, pH, 잔류염소, $KMnO_4$ 소비량, THMs 및 Al 농도, 입자수 등이었다. 공정별 운영실태는 분기별로 중점조사사항을 선정하여 조사하였으며, 여과사 오염도 조사 현황, 응집기·혼화기 운영관리 실태, 장마철 원수 고탁도시 수질관리 전략, 회수수 순환공정 최적운영 방안, 기타 수질개선 우수사례 등을 점검하였다.

결과 및 고찰

안전하고 깨끗한 수돗물을 생산하기 위해서는 공정단계별로 적합한 수질검사를 강화하여 각 공정의 운영상태를 최적화해야 한다. 다음은 2003년 1년간의 공정별 수질 및 운영실태 조사결과이다.

1. 1/4분기 공정별 수처리 평가

Table 1. The quality of raw water

구 분	최대	평균	최소	팔 당		한 강					
				광암	신월	강북	암사	구의	자양		풍납
									뚝도	보광동	영등포
pH	9.3	8.7	8.1	8.8	8.1	8.5	8.4	9.3	8.7	8.8	8.8
수온(℃)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
탁도(NTU)	5.3	4.3	2.8	4.5	2.8	4.3	5.3	3.8	4.7	4.7	4.5
Alkalinity (mg/L)	48	45	42	46	42	43	43	48	47	46	45
$KMnO_4$ 소비량(mg/L)	6.8	6.1	5.1	5.3	5.1	5.7	6.8	6.6	6.6	6.6	5.7
Al(mg/L)	0.16	0.12	0.08	0.10	0.08	0.15	0.14	0.10	0.10	0.09	0.16

※ During the investigation period in the 1st quarter of 2003

원수는 전염소로 처리하지 않은 상태로 조사당

일에 채수하여 분석하였다. 조사기간중(3.11~3.21) 원수의 탁도는 범위 5.3~2.8(평균 4.3NTU)로 낮았고 pH는 평균 8.7, alkalinity는 평균 45mg/L, $KMnO_4$ 소비량은 평균 6.1mg/L, Al 농도는 평균 0.12mg/L이었다.

정수탁도는 0.05~0.07NTU의 범위로 정수장별로 큰 차이없이 양호한 수질관리상태를 보였다.

침전수 탁도는 모두 1.0NTU 이하, 전체평균 0.42NTU로 나타나 양호한 수질을 유지하였다.

Table 2. The overall quality of process water

구 분		팔 당		강북	암사	구의	자 양		풍납
		광암	신월				뚝도	보광동	영등포
침전수	pH	7.4	7.3	7.6	7.5	7.7	7.5	7.5	7.5
	탁도(NTU)	0.44	0.43	0.24	0.45	0.34	0.36	0.44	0.67
	$KMnO_4$ 소비량(mg/L)	3.53	2.85	2.09	3.18	2.49	3.22	2.92	3.14
	THMs(mg/L)	0.009	0.006	0.004	0.007	0.008	0.007	0.013	0.009
	Al(mg/L)	0.27	0.31	0.28	0.36	0.29	0.38	0.41	0.38
여과수	탁도(NTU)	0.08	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.06	0.07
	$KMnO_4$ 소비량(mg/L)	2.12	1.76	1.76	2.37	1.83	2.17	2.05	2.32
	THMs(mg/L)	0.012	0.007	0.004	0.010	0.008	0.008	0.014	0.010
	Al(mg/L)	0.05	0.06	0.07	0.06	0.05	0.16	0.05	0.07
정수	pH	7.3	7.3	7.4	7.5	7.5	7.4	7.4	7.2
	탁도(NTU)	0.07	0.05	0.06	0.05	0.06	0.07	0.05	0.07
	$KMnO_4$ 소비량(mg/L)	1.76	1.55	1.41	1.69	1.63	1.73	1.69	1.91
	THMs(mg/L)	0.014	0.008	0.005	0.010	0.009	0.011	0.015	0.012
	R-Cl(mg/L)	0.73	0.64	0.77	0.94	0.89	0.86	0.84	0.77
	Al(mg/L)	0.06	0.06	0.06	0.05	0.04	0.07	0.05	0.06

※ From 3.11 to 3.21, and on the arithmetic mean per plant

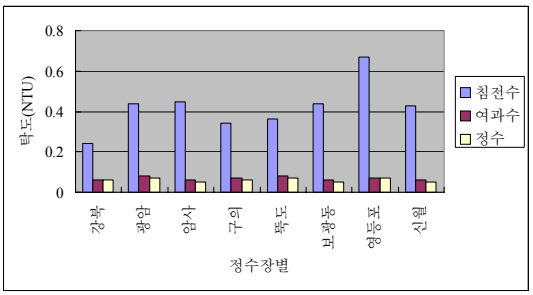

Fig. 1. The turbidity of process water

※ In the 1st quarter, on the arithmetic mean per plant

Table 3. The removal efficiency of turbidity at unit process(%)

구 분	강북	광암	암사	구의	뚝도	보광동	영등포	신월	평균
침전효율	94.4	90.2	91.5	91.1	92.3	90.6	85.1	84.6	90.0
여과효율	75.0	81.8	86.7	79.4	77.8	86.4	89.5	86.0	82.8
전체효율	98.6	98.4	99.1	98.4	98.5	98.9	98.4	98.2	98.6

Table 3은 정수처리 공정별 탁도 처리효율이다. 침전공정까지 처리효율은 침전수 탁도가 가장 낮은 강북에서 94.4%로 가장 높고 여과효율은 평균 82.8%로 나타났다. 정수까지 전체적인 처리효율은 평균 98.6%이었다.

$KMnO_4$ 소비량은 원수에서 평균 6.1mg/L로 암사 취수원수에서 가장 높았다. 침전수에서는 전체 평균값이 2.93mg/L이었다. 침전수 $KMnO_4$ 소비량이 가장 낮은 강북이 63.3% 침전하였고 전체적으로는 평균 51.0% 침전하였다.

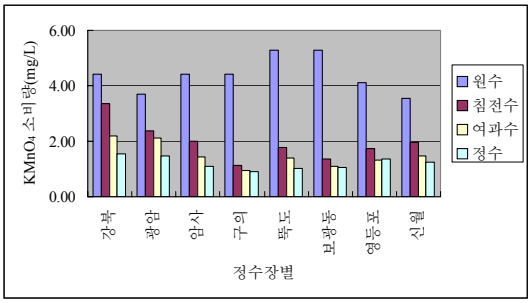

Fig. 2. The $KMnO_4$ consumed at unit process

※ In the 1st quarter, on the arithmetic mean per plant

여과공정에서는 평균 29.3% 제거하였다. 정수의 경우 1.41~1.91mg/L의 범위로 모두 수질기준의 1/5 이하로 수질상태가 양호하였다. 정수까지 전체공정의 처리효율은 평균 72.1%로 나타났다.

Table 4. The removal efficiency of $KMnO_4$ cons-umed at unit process(%)

구 분	강북	광암	암사	구의	뚝도	보광동	영등포	신월	평균
침전효율	63.3	33.4	53.2	62.3	51.2	55.8	44.9	44.1	51.0
여과효율	15.8	39.9	25.5	26.5	32.6	29.8	26.1	38.2	29.3
전체효율	75.3	66.8	75.1	75.3	73.8	74.4	66.5	69.6	72.1

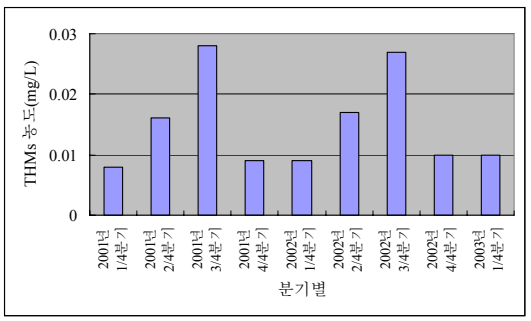

Fig. 3. The quarterly THMs concentration of finished water

※ On the average concentration of all plants

THMs은 대부분 전처리용으로 주입하는 염소와 유기물이 결합하여 발생한다.

정수 THMs 농도는 정수사업소별로 큰 차이가 없이 수질기준의 1/5 이하로 나타났다. 전체 평균 정수 THMs 농도는 0.010mg/L로 2002년 4/4분기 및 2002년 1/4분기의 결과와 비슷한 수준이었다. 1/4분기의 THMs의 농도가 2002년과 2003년의 경우 각각 0.009, 0.010mg/L로 수온이 높은 시기에 비해 평균 50% 정도 낮았는데 수온이 농도 변화의 중요한 요인인 것 같다.

원수 Al 농도는 0.08~0.16(평균 0.12)mg/L로 나타났다. 정수 Al 농도는 0.04~0.07mg/L로 정수장별로 큰 차이 없이 수질기준의 1/2 이하 수준으로 양호하였다. 침전수속 Al 농도는 평균 0.34mg/L이었다.

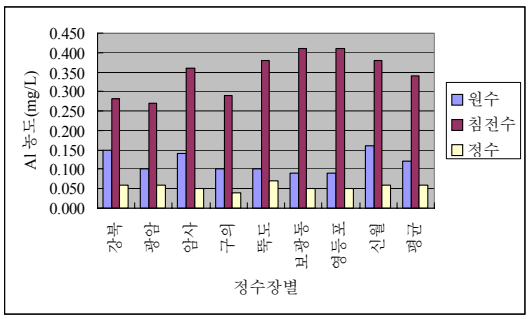

Fig. 4. The Al concentration of process water

※ In the 1st quarter, on the arithmetic mean per plant

침전수속 Al은 급속혼화지에서 응집제를 주입함으로써 증가하며, 정수의 Al 농도는 원수속 Al의 농도와 응집제 주입량보다 여과지의 운영여건에 따라 많은 영향을 받는다. 그 이유는 총잔류 Al의 90% 이상이 입자성 Al으로 분포하므로 여과지에서 대부분 걸러지고 일부 용존성 Al이 여과지를 통과하여 나오기 때문이다.

미국에서는 물속 입자의 양과 *Cryptosporidium* 개체의 수 사이에 높은 상관성이 있으므로 안전한 먹는물을 생산하기 위하여 기존공정을 최적화함으로써 정수 탁도를 0.1NTU 이하로 유지하고 있다. 아직 기준은 없지만 Kawamura의 보고에 의하면 여과수 mL당 입자의 수가 100개 이하이면 여과수의 수질이 매우 양호하고 500개를 넘으면 여과수 수질이 나쁘다고 판정할 수 있다. 미국에서 정수 입자수에 대한 수질분석 결과 조사대상 정수장의 10% 미만이 총입자수가 mL당 200개를 초과하였다.

이러한 입자제어를 통한 공정 최적화의 세계적 추세에 따라 공정별 입자제어효율을 분석하였다.

침전수의 경우 강북이 mL당 317개로 가장 적었고 전체적으로 1,000개 이하로 침전효율이 높았다. 정수의 경우는 mL당 입자수(2~100㎛)가 평균 79개/mL로 매우 양호하였고 강북에서는 33개로 가장 우수하였다.

Table 5. The particle counts of process water

구 분	강북	광암	암사	구의	뚝도	보광동	영등포	신월	평균
원 수	12,564	15,369	14,169	12,700	15,380	15,624	16,646	12,837	14,411
침전수	317	939	824	751	604	460	980	496	671
정 수	33	122	87	65	92	41	135	58	79

※ Where the unit is #/mL.

이번 조사기간 동안에 각 정수사업소별로 여과사 오염도 조사 현황을 점검하였다. Sludge 함량, 세척탁도가 주요 검사항목이었고 뚝도의 경우 $KMnO_4$ 소비량을 추가로 검사하고 있었다. 검사주기는 모두 분기별이었다. 또 sampling 지점을 표층에서 깊이별로 나누어 정밀하게 실시하는 정수장이 많았다.

검사항목에 대한 정확한 지침이 없어서 정수사업소별로 각 항목에 대하여 자체기준이 서로 다르므로 단일한 표준지침을 마련해야 한다. 항목별 기준 초과시 조치사항은 역세척 강화, 역세척 시간 조정, 여과사 교체 등이다. 강북의 경우 오염정도에 따른 자체 세부지침을 마련하여 운영하고 있다.

Table 6. Test for pollution in the filtration sand of every plant

구 분	조사 항목	조사 주기	Sampling 지점
강 북	Sludge 함량, 세척탁도	분기	깊이별
광 암	Sludge 함량, 세척탁도, 강열감량	분기	깊이별
암 사	Sludge 함량, 세척탁도	분기	깊이별
구 의	Sludge 함량	분기	깊이별
뚝 도	Sludge 함량, 세척탁도, $KMnO_4$ 소비량	분기	표층 1지점
보광동	Sludge 함량, 세척탁도, $KMnO_4$ 소비량	분기	깊이별
영등포 (신월)	Sludge 함량, 세척탁도	분기	표층 1지점

Table 7. The reference table for the sand pollut -ion of Gangbuk plant

구분		기준(mL/g)	비고(조치내용)
양호		0.000~0.004	- 여과사 양호 - 기존운영상태 유지
오염	초기	0.004 이상 ~0.01 미만	- 초기오염 단계로 대체로 양호 - 양호상태에 준하여 여과사 관리
	중기	0.010 이상 ~0.05 미만	- 여과사 오염이 조금씩 진행한 상태 - 여과수 탁도, 여과지속시간, 역세척 시간 등을 주기적으로 관찰 - 이 시기중 심한 경우 NaOH 세척
	말기	0.050 이상	- 정수생산 및 수질관리에 지장 - 즉시 NaOH 세척 실시

여과지에서 여과모래 표면부터 trough 위끝까지 높이를 적정하게 유지해야 한다. 너무 낮으면 역세척시 여과사 유실이 많고, 너무 높으면 역세척 배수가 원활하지 않아 역세척 효율이 떨어지므로 여과수 수질이 나빠진다. 상수도시설기준에 여과모래층 표면부터 trough 위끝까지 높이는 역세척속도, 여과층의 팽창률, 여재입도 등을 고려하여 40~70cm를 유지하도록 권고하고 있다. 조사기간 동안 각 정수장별로 사면상 trough 높이를 여과지별로 측정하였다. 조사결과 전 공장 모두 40~70(평균 55)cm로 적정하게 관리하고 있었다.

Table 8. The measured height of trough of every plant(cm)

구분	강북	광암	암사1	암사2	구의3	구의4	뚝도3	뚝도4	보광동	영등포3	평균
높이	57	41	56	58	63	68	42	45	60	55	55

※ From the surface of sand layer to the top of trough

2. 2/4분기 공정별 수처리 평가

조사기간은 2003. 6. 17 ~ 2002. 6. 27이다.

조사기간 동안 원수의 수질은 비가 조금씩 자주 내려서 정수조건이 유리하였다. 탁도는 4.71~7.91NTU로 비교적 낮았고 수온은 20~24℃였다. pH는 7.2~8.3, alkalinity는 38~47, 평균 44mg/L였으며 $KMnO_4$ 소비량은 평균 4.4mg/L, Al의 농도는 평균 0.10mg/L였다.

Table 9. The quality of raw water

구 분	최대	평균	최소	팔 당		한 강					
				광암	신월	강북	암사	구의	자양		풍납
									뚝도	보광동	영등포
pH	8.3	7.7	7.2	7.4	7.4	7.2	7.9	8.1	7.2	8.3	7.8
수온(℃)	24	21	20	22	21	24	20	22	20	20	21
탁도(NTU)	7.91	6.28	4.71	5.40	5.06	7.10	5.90	7.91	6.88	4.71	7.30
Alkalinity (mg/L)	47	44	38	44	45	45	38	45	47	45	40
$KMnO_4$ 소비량(mg/L)	5.3	4.4	3.6	3.7	3.6	4.4	4.4	4.4	5.3	5.3	4.1
Al(mg/L)	0.14	0.10	0.07	0.10	0.10	0.07	0.14	0.09	0.10	0.10	0.09
입자수	22,347	15,267	11,194	13,831	11,194	14,060	22,347	17,075	14,294	15,477	13,858

※ During the investigation period in the 2nd quarter of 2003

정수탁도는 0.04~0.06NTU의 범위로 정수장별로 큰 차이 없이 매우 우수하였다.

침전수 탁도는 전체 정수사업소 모두 1.0NTU 이하로 전체평균이 0.45NTU로 나타났다. 침전공정까지 처리효율은 원수 탁도가 가장 높은 구의에서 97.5%로 가장 높았다. 여과효율은 평균 82.0%로 나타났고 정수까지 전체적인 공정의 처리효율은 평균 99.0%로 높게 나타났다.

표에서 보듯이 정수탁도는 0.04~0.07NTU로 매우 낮아 조업상태가 안정하였다. 특히 구의4공장은 침전효율이 최고이고 정수탁도도 가장 낮아 공정별 탁도를 잘 관리하고 있었다.

Table 10. The overall quality of process water

구 분		팔 당		강북	암사	구의	자 양		풍납
		광암	신월				뚝도	보광동	영등포
침전수	pH	7.2	7.4	7.1	7.5	7.3	7.1	7.2	7.1
	탁도(NTU)	0.48	0.51	0.40	0.50	0.49	0.22	0.49	0.53
	$KMnO_4$ 소비량(mg/L)	2.37	1.97	3.35	1.99	1.15	1.76	1.35	1.75
	THMs(mg/L)	0.010	0.008	0.008	0.012	0.013	0.012	0.021	0.020
	R-Cl(mg/L)	0.08	0.11	0.06	0.10	0.13	0.07	0.06	0.29
	Al(mg/L)	0.15	0.24	0.23	0.18	0.25	0.12	0.18	0.17
	입자수(#/mL)	525	1,158	1,002	1,812	1,328	340	1,021	1,105
여과수	탁도(NTU)	0.07	0.07	0.06	0.07	0.05	0.07	0.06	0.06
	$KMnO_4$ 소비량(mg/L)	2.13	1.46	2.19	1.42	0.96	1.39	1.11	1.32
	THMs(mg/L)	0.011	0.013	0.008	0.013	0.017	0.012	0.024	0.020
	R-Cl(mg/L)	0.02	0.13	0.04	0.08	0.15		0.05	
	Al(mg/L)	0.06	0.08	0.08	0.07	0.06	0.08	0.05	0.04
	입자수(#/mL)	121	*68*	*120*	*119*	*81*	*94*	69	*152*
정수	pH	7.1	7.1	7.0	7.5	7.2	7.1	7.1	7.0
	탁도(NTU)	0.06	0.06	0.05	0.06	0.04	0.06	0.05	0.06
	$KMnO_4$ 소비량(mg/L)	1.46	1.24	1.53	1.10	0.89	1.02	1.05	1.36
	THMs(mg/L)	0.017	0.015	0.009	0.016	0.020	0.017	0.024	0.022
	R-Cl(mg/L)	0.68	0.88	0.90	0.97	0.72	0.86	0.91	0.92
	Al(mg/L)	0.04	0.09	0.07	0.07	0.07	0.07	0.05	0.06
	입자수(#/mL)	156	44	33	57	82	79	73	89

※ From 6.17 to 6.27, and on the arithmetic mean per plant

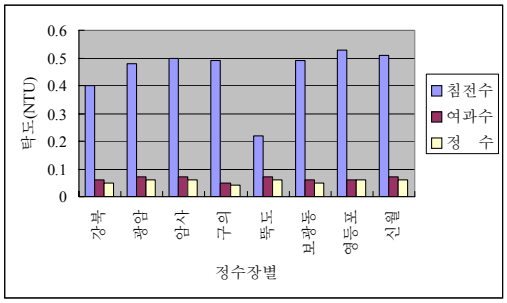

Fig. 5. The turbidity distribution of process water

※ In the 2nd quarter, on the arithmetic mean per plant

암사1, 영등포3공장은 각각 0.72와 0.81NTU로 침전수 탁도가 높아서 여과효율이 지나치게 높았다. 또 뚝도2공장은 여과효율이 지나치게 낮아 결국 정수탁도가 0.07NTU로 가장 높았다.

한편 원수탁도가 높을 때 탁도제거율이 높은 것은 당연하므로 제거효율을 비교하는 것은 원수탁도가 비슷하지 않으면 (특히 고탁도시에) 무의미하다. 또한 침전효율과 여과효율이 골고루 높아야 개별공정 운전에 무리가 없을 것이다.

정수의 잔류염소 농도는 0.68~0.97mg/L로 목표값 이내에서 다소 높게 나타났다. 미생물학적인

안전성을 확보하기 위하여 후염소 처리를 강화했기 때문이다. 또한 침전수의 잔류염소가 높은데도 정수 목표값을 충족시켜서 CT값을 잘 관리하였다.

Table 11. The removal efficiency of turbidity at unit process

구 분		원수탁도	침전효율	침전수탁도	여과효율	여과수탁도	전체효율	정수탁도
강북	Unit 1	7.10	94.1	0.42	85.7	0.06	99.3	0.05
	Unit 2		94.6	0.38	84.2	0.06	99.3	
광암	우면산	5.40	91.1	0.48	85.4	0.07	98.9	0.06
	청담						98.9	0.06
암사	1공장	5.90	*87.8*	*0.72*	90.3	*0.07*	*98.8*	*0.07*
	2공장		94.3	0.28	75.0	0.07	99.0	0.06
구의	3공장	7.91	93.3	0.45	88.9	0.05	99.5	0.04
	4공장		97.5	*0.53*	*88.7*	*0.06*	99.4	0.05
뚝도	2공장	6.88	*96.1*	*0.17*	58.8	*0.07*	*99.0*	*0.07*
	3공장		96.7	0.27	74.1	0.07	99.1	0.06
	4공장		89.6	0.23	73.9	0.06	99.1	0.06
	보광동	4.71	93.8	0.49	87.8	0.06	98.9	0.05
영등포	1공장	7.30	97.0	0.22	72.7	0.06	99.2	0.06
	2공장		93.8	0.45	84.4	0.07	99.2	0.06
	3공장		88.9	0.81	93.8	0.05	99.2	0.06
	신월	5.06	89.9	0.51	86.3	0.07	98.8	0.06
공장별 산술평균		6.28	93.2	0.43	82.0	0.06	99.0	0.06

※ Where the units of efficiency and turbidity are % and NTU, respectively.

Table 12. The standards of free residual Cl in the several countiries

구 분	미 국	한 국	일 본	영 국
기준 (mg/L)	· MCL 4.0 최고 : 1.8~2.0 평균 : 1.2~1.4 최저 : 0.5~0.6 · US Public Heal-th Standards : 0.8~1.2	2002. 7. 1부터 일부 먹는물기준 신설 운영 : 4.0	· 후생성 : 1.0 · 맛있는 물 공급 guide-line : 0.4	· 법적기준 없이 기관별로 운영 · 지침 : 1.0

잔류염소는 미생물 불활성화를 유지하기 위해 반드시 필요하며, 수질기준으로 하한선을 정하고 있다. 하지만 잔류염소 농도가 너무 높으면 염소냄새로 인해 수돗물에 대한 불만이 발생하고 물맛을 떨어뜨릴 수 있다. 따라서, 일부 선진국에서는 잔류염소 상한선을 설정하여 관리하고 있다.

$KMnO_4$ 소비량은 원수값이 평균 4.41mg/L로 뚝도 취수원수에서 가장 높았다. 침전수의 경우 전체 평균이 1.94mg/L였으며 침전효율은 침전수값이 낮은 구의와 보광동이 75% 정도로 나타났고 전체적으로 평균 55.2%가 침전하였다.

정수값은 매우 낮아서 수질기준 10mg/L의 1/7~1/11 수준으로 우수하였다.

강북의 유기물 제거율이 낮은 것은 응집제를 적게 주입했기 때문이고, 광암과 신월은 원수값이 매우 낮기 때문이다.

Table 13. The removal efficiency of $KMnO_4$ consumed at unit process(%)

구 분		원수값	침전효율	침전수값	여과효율	여과수값	전체효율	정수값
강북	Unit 1	4.43	26.2	3.27	30.9	2.26	65.5	1.53
	Unit 2		22.8	3.42	38.3	2.11		
광암	우면산	3.70	35.9	2.37	10.1	2.13	58.6	*1.53*
	청담						62.4	1.39
암사	1공장	4.43	49.7	2.23	37.7	1.39	75.2	1.10
	2공장		60.7	1.74	16.7	1.45	75.2	1.10
구의	3공장	4.43	73.4	1.18	23.7	0.90	79.7	0.90
	4공장		75.2	1.10	8.2	1.01	80.4	0.87
뚝도	2공장	5.30	62.8	1.97	29.4	1.39	79.2	1.10
	3공장		*61.7*	*1.62*	*14.2*	*1.39*	82.1	0.95
	4공장		68.3	1.68	17.3	1.39	80.9	1.01
	보광동	5.30	74.5	1.35	17.8	1.11	80.2	1.05
영등포	1공장	4.10	55.6	1.82	28.6	1.30	68.3	1.30
	2공장		62.0	1.56	16.7	1.30	68.3	1.30
	3공장		54.1	1.88	27.7	1.36	64.1	1.47
	신월	3.56	44.7	1.97	25.9	1.46	65.2	1.24
공장별 산술평균		4.41	55.2	1.94	22.9	1.46	72.3	1.19

※ Where the units of efficiency and $KMnO_4$ consumed are % and mg/L, in turn.

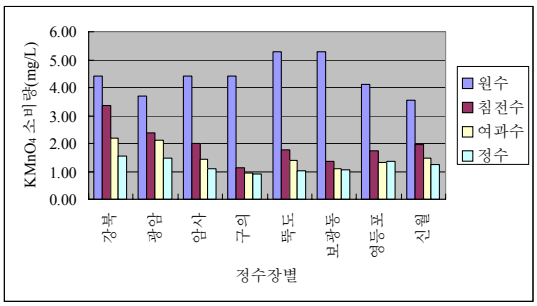

Fig. 6. The $KMnO_4$ consumed of process water

※ In the 2nd quarter, on the arithmetic mean per plant

Table 14. ALT ratio vs. turbidity, $KMnO_4$ consu-med and overall removal efficiency

구 분	강북	광암	암사2	구의3	뚝도3,4	보광동	영등포	신월
원수탁도(NTU)	7.10	5.40	5.90	7.91	6.88	4.71	7.30	5.06
원수 $KMnO_4$ 소비량(mg/L)	4.43	3.70	4.43	4.43	5.30	5.30	4.10	3.56
17%환산 PAC*l* 주입량(mg/L)	8.6	11.0	10.0	10.5	11.0	11.0	12.0	11.0
ALT비(PAC*l*/탁도(mg/L-NTU))	1.21	2.04	1.70	1.33	1.60	2.34	1.64	2.17
정수탁도(NTU)	0.05	0.06	0.06	0.04	0.06	0.05	0.06	0.06
탁도 총제거율(%)	99.3	98.9	99.0	99.5	99.1	98.9	99.2	98.8
정수 $KMnO_4$ 소비량(mg/L)	1.53	1.46	1.10	0.90	0.98	1.05	1.36	1.24
$KMnO_4$ 소비량 총제거율(%)	65.5	60.5	75.2	79.7	81.5	80.2	66.9	65.2

※ On the day when we investigated, they dosed 17%PAC*l* at Gangbuk, Gwangam, Amsa, Yondungpo, 17%PACS at Gueui, Tukdo, Bogwandong, and 11%PAC*l* at Shinwol plant

여과공정에서는 평균 22.9% 제거하였고 정수의 경우 0.87~1.53mg/L의 범위로 전체 정수사업소에서 수질기준의 1/7 이하로 양호하였다. 정수까지 전체공정의 처리효율은 평균 72.3%로 나타났다.

소독부산물에는 크게 염소계, O_3계 및 ClO_2계 소독부산물이 있다. 이중 O_3계 소독부산물의 경우, 대표적인 소독부산물이 BrO_3^-(bromate)이며, 금강과 낙동강 하류에는 그 전구물질인 bromide 농도가 높아 O_3를 사용하면 BrO_3^-가 발생할 가능성이 높다. 또한 ClO_2계 소독부산물에는 ClO_2^-(c-hlorite) 및 ClO_3^-(chlorate)가 있으며, 일반적으로 ClO_2를 1mg/L 이하로 주입할 경우 큰 문제가 없다.

염소계 소독부산물은 여러 가지가 있으나 가장 대표적인 부산물은 THMs과 HAAs이다. 우리나라의 경우 미국이나 Europe에 비해 소독부산물 발생량이 적다. 그러나 취수장이 주요하천 하류에 위치한 정수장, 농도기준으로는 DOC 3mg/L 이상일 때 소독부산물 저감을 위한 집중 관리가 필요하다. 따라서 이의 제어방안으로서 강화응집 또는 분말활성탄 투입이 필요하다.

염소계 소독부산물중에서 THMs보다는 HAAs가 문제이다. THMs은 기존표준식 정수법으로 어느 정도 저감할 수 있으나 HAAs의 경우 기존 공정으로는 거의 제거할 수 없다. 따라서, HAAs가 높게 나타나는 정수장에서는 추가공정이 필요하다.

THMs의 발생은 대부분 전처리용으로 주입하는 염소와 유기물이 결합하여 발생한다. 정수값은 수질기준의 1/4 이하로 나타났다. 암사, 구의, 뚝도는 그 값이 비슷하게 나타났다.

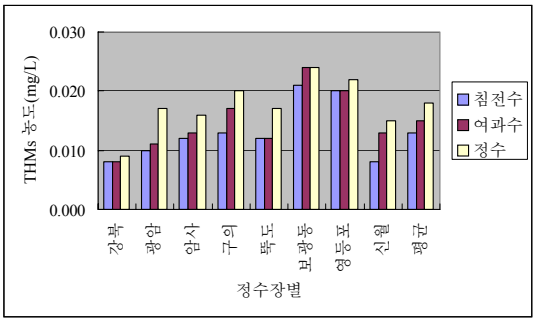

Fig. 7. The THMs concentration of process water

※ In the 2nd quarter, on the arithmetic mean per plant

정수 THMs의 경우 0.009~0.024(평균 0.015)mg/L로써 수질기준의 1/4~1/11 수준으로 매우 양호하였다. 2003년 1/4분기의 0.005~0.015(평균 0.010)mg/L보다 50% 증가하였고 2002년 2/4분기의 0.011~0.025(평균 0.016)mg/L와 비교하면 약간 감소하였다. 따라서 수온이 농도변화의 중요한 요인인 것 같다.

Table 15. The yearly THMs concentraion of process water(mg/L)

구 분		강북	광암	암사	구의	뚝도	보광동	영등포	신월	평균
착수정수	1999년	0.007		0.006	0.019	0.018	0.009			0.012
	2000년	0.007		0.005	0.007	0.012	0.012	0.012		0.009
	2001년			0.004						0.004
침전수	1999년	0.007	0.017	0.014	0.019	0.019	0.019	0.019	0.017	0.016
	2000년	0.010	0.007	0.012	0.009	0.016	0.020	0.015	0.012	0.013
	2001년	0.010	0.014	0.015	0.012	0.015	0.009	0.019	0.011	0.013
	2002년	0.009	0.020	0.010	0.009	0.013	0.013	0.008	0.017	0.014
여과수	1999년	0.008	0.017	0.014	0.022	0.018	0.016	0.019	0.017	0.016
	2000년	0.011	0.011	0.015	0.012	0.018	0.025	0.021	0.015	0.016
	2001년	0.009	0.012	0.018	0.017	0.013	0.007	0.018	0.014	0.013
	2002년	0.009	0.020	0.012	0.006	0.014	0.018	0.013	0.019	0.016
정수	1999년	0.021	0.032	0.015	0.023	0.024	0.021	0.020	0.038	0.024
	2000년	0.012	0.016	0.013	0.015	0.021	0.020	0.015	0.015	0.016
	2001년	0.016	0.019	0.018	0.015	0.012	0.009	0.022	0.016	0.016
	2002년	0.013	0.025	0.015	0.013	0.015	0.019	0.011	0.019	0.016

※ In the 2nd quarter, on the arithmetic mean per plant

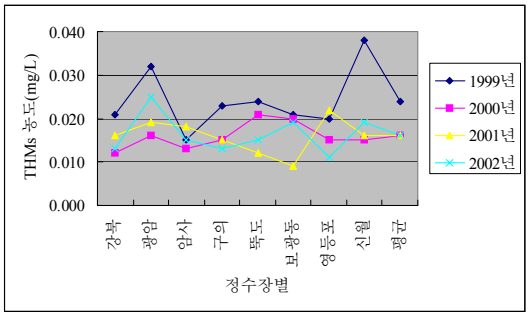

Fig. 8. The yearly THMs concentraion of finished water in the 2nd quarter

원수 Al 농도는 0.07~0.14(평균 0.10)mg/L이고 정수는 0.04~0.09(평균 0.065)mg/L로써 수질기준의 1/2~1/5 수준으로 양호하였다. 침전수 Al 농도는 0.12~0.25mg/L이었다.

침전수의 Al은 급속혼화지에서 응집제를 주입함으로써 증가하며, 정수속 Al의 농도는 원수로 들어온 Al의 농도와 응집제 주입보다 여과지 운영여건이 많은 영향을 미치는 것 같다. 이는 잔류Al 입자의 존재형태와 관련이 있다. 총잔류Al은 입자성과 용존성 Al으로 구분할 수 있으며, 총잔류Al의 90% 이상은 입자성 Al으로 분포하는 경향이 있어서 여과지가 이를 대부분 제거하고 일부 용존성 Al은 이를 통과하여 정수에서 나타나는 것 같다.

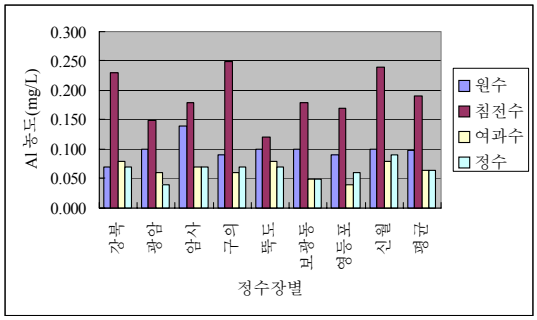

Fig. 9. The Al concentration of process water
※ In the 2nd quarter, on the arithmetic mean per plant

분석 결과 정수의 mL당 2㎛ 이상 입자의 수가 광암을 제외한 모든 정수장이 100개 이하로 수질이 매우 양호하였다. 입자수가 156개/mL로 가장 많은 광암은 침전효율과 여과효율이 각각 1log 미만이고 총제거율도 유일하게 2log 미만이다. 따라서 누출성 조류나 원생동물이 상수원을 오염시킬 때에는 입자분석 항목을 이용하여 입자를 2log 이상 제거하도록 기존공정을 최적화시켜서 목표 CT값을 달성해야 한다.

Table 16. The no. and removl efficiency of particles

구 분	강북	광암	암사	구의	뚝도	보광동	영등포	신월
원 수	14,060	13,831	22,347	17,075	14,294	15,477	13,858	11,194
침전수	1,002	525	1,812	1,328	340	1,021	1,105	1,158
여과수	120	121	119	81	94	69	152	121
정 수	33	156	57	82	79	73	89	44
침전효율	1.149	0.883	0.919	1.108	1.620	1.180	1.097	0.987
여과효율	0.921	0.638	1.092	1.215	0.559	1.167	0.860	0.983
소독제거율	0.561	-0.110	0.320	-0.005	0.076	-0.024	0.232	0.439
총제거율	2.699	1.959	2.523	2.301	2.222	2.301	2.222	2.398

※ On the arithmetic mean per plant, unit = #/mL and log removal efficiency.

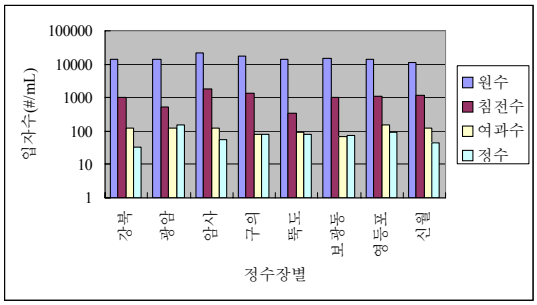

Fig. 10. The particle counts of process water in the 2nd quarter

광암과 암사는 정수탁도가 0.06NTU로 동일하지만 입자수는 3배 이상 차이가 나서 0.1NTU 이하의 저탁도에서는 탁도와 입자수 사이의 상관성이 없었다. 따라서 0.1NTU 이하의 저탁도에서는 입자분석을 수질평가 도구로 활용하여 입자수를 저감함으로써 위생적·심미적인 수질을 향상시켜야 한다.

표에서 광암은 입자수가 공정별로 차례로 13,831, 525, 121, 156개/mL로써 침전수값이 매우 낮은데도 상대적으로 여과수값이 높아서 여과지 운영에 문제가 있었다. 영등포 여과수 입자수도 높은 편이어서 여과지 관리 및 운영이 불만족스럽다. 뚝도는 입자수 침전효율이 상당히 높아서 침전수 탁도도 매우 낮았다.

지표수원 속의 작은 현탁입자들은 보통의 중력침강에 의하여 효과적으로 제거할 수 없다. 고형입자들은 서로 모여서 집단을 이루며 그에 따라 침강속도가 증가한다. 그러나 colloid 크기의 입자들은 집합작용을 방해하는 특성들을 가지고 있어서 지표수는 특별한 응집 처리를 하지 않는 한 깨끗해질 수 없다.

물속에서 자연적으로 결합이 일어나지 않는 colloid 현탁물은 안정하다. 이 안정성에 기여하는 가장 중요한 인자는 아주 작은 크기로 인한 매우 큰 표면적/부피의 비이다. 이러한 표면현상이 질량현상 이상으로 지배적이다. 가장 중요한 표면현상은 표면 위 전하의 축적이다. 결정체 내 분자배열, 표면붕괴에 따른 원자의 손실 등에 의하여 표면이 전하를 띤다. 지표수의 경우 대부분 colloid 표면이 음의 전하를 띠고 있다.

2개의 colloid 입자가 가까워지면 그위에 두가지 힘이 작용한다. 각각의 colloid 주위에 반대 ion 군집에 의해 생긴 정전기 전위는 입자들을 밀어내어 서로 접촉하는 것을 방해한다. 두번째 힘은 van der Waals힘이라는 인력으로서 이들이 접촉하는 것을 도와준다. 이 힘은 입자들 사이의 거리의 6승에 반비례하며 또한 거리에 따라 지수적으로 감소한다. 그것은 정전기 전위보다도 더 빠르게 감소하지만 가까운 거리에서는 더 큰 힘을 가지고 있다. 비교적 거리가 멀 때는 순힘이 척력이며 colloid 사이의 임의 거리에 있는 energy 장벽이라고 부르는 최대 순척력을 지난 후에야 순인력으로 변한다. 일단 입자들 사이에 작용하는 순힘이 인력으로 바뀌면 입자들 사이의 접촉이 일어나서 결합한다.

Brown 운동은 분자의 충돌로 인한 작은 colloid의 자유로운 열운동으로서 입자들이 energy 장벽을 극복하고 접촉하도록 충분한 운동량을 생성시키기도 한다. 물의 기계적인 교반은 비교적 큰 입자들에 충분한 운동량을 주어 energy 장벽을 넘도록 도울 수 있다. 그러나 이

러한 과정들은 너무 느려서 물을 효과적으로 정화시킬 수 없으며 중간 크기의 colloid들을 충돌시키지는 못한다. 따라서 colloid를 화학적으로 응집시켜 덩어리로 만들고 이를 중력침강에 의하여 제거할 수 있는 크기로 만든다.

Colloid 입자들의 결합을 유도하는 mechanism은 3가지로서 Brown 운동과 유체전단 그리고 속도차 침전(differential sedimentation)이다. 그중에 기계적 교반으로 energy를 주면 입자사이에 속도구배를 발생시키는 가장 중요한 요인은 유체전단이다. 실제 운전자가 가장 손쉽게 조절할 수 있는 유체전단의 영향인자는 G값으로 현재까지 물 흐름에 생기는 내부적인 mixing(혼합)의 정도를 가장 잘 나타내는 척도로 쓰이고 있다.

G값(교반강도, 속도경사)은 혼화·응집 공정에서 설계와 운전시 가장 중요한 기준이다. AWWA는 이를 fluid shear rate라고 기술한다.

Floc은 서로 충돌하면서 응집하고 성장하는데 큰 floc을 형성하기 위해서는 적당한 교반이 필요하다. Floc은 입자지름에 비례하여 급속성장하므로 floc 형성지의 기능은 효과적인 교반과 적당한 교반시간에 의하여 floc 성장을 촉진시키는 것이다. 침강성이 좋은 floc을 생성하기 위해서는 응집기 혼화날개가 유발시키는 최대유속이 1단에서는 250cm/s보다 느려야 하며 응집공정의 마지막 단계에서는 60cm/s보다 느려야 한다.

효과적인 교반의 기준으로 G값을 사용한다. 교반에 의하여 floc이 어느 크기까지 성장하면 수류에 의한 전단작용에 저항하지 못하여 깨지므로 가급적 큰 floc을 만들기 위해서는 floc의 지름이 작은 초기에는 G값을 강하게 하고 floc이 성장함에 따라 3~4단으로 나누어 G값을 점점 줄여가야 (tapered flocculation) 한다. Camp(1955)는 많은 실례를 검토한 결과 G = 10~75/sec의 범위가 flocculation에 알맞다고 하였고, 그후에 수리적 조건뿐만 아니라 체류시간도 관계한다고 하여 GT값을 제안하였다.

일반적으로 G값이 50/sec 이상일 경우 입자가 단단해지지만 작은 입자가 많이 생긴다. 작은 입자는 침전과 여과과정을 쉽게 통과하므로 최종 수질에 나쁜 영향을 준다. G값이 너무 작아지면 입자는 커지지만 약해져 중간 과정에서 깨질 수 있다. 하지만 G값이 10/sec 이상이면 큰 문제가 없으며 많은 정수장에서 마지막 응집과정에서 G값을 5/sec로 사용하기도 한다.

응집지의 GT값은 일반적으로 실험실에서 원수를 분석하여 결정하며 Kawamura(2000)는 30,000~200,000, Sanks(1979)는 20,000~200,000, 우리나라 환경부의 시설기준(1997)은 23,000~210,000으로 설정하고 실제로는 75~10/sec로 paddle을 점감식으로 운영한다.

응집지의 운전목표는 침전과 여과공정을 극대화시키기 위하여 원수속 입자들을 서로 엉겨붙게 만들어 크고 단단한 floc을 형성시키고 또한 이러한 floc을 깨지지 않도록 유지시키는 것이다. 응집약품을 신속하게 혼합하여 불안정해진 colloid상 입자들을 서로 충돌시켜서 성장하도록 완속으로 교반한다. 흐름은 plug flow이고 단락류가 없어야 한다. 체류시간은 20~40분이 필요하고 이때 흐름의 속도는 15~30cm/sec가 바람직하며 단일수조 형태보다 2~3실로 나뉘어져 있는 것이 효율적이다. 교반방법은 수로중에 baffle을 설치하여 물흐름이 상하 또는 좌우로 휘돌게 함으로써 흐름 자체의 energy를 이용하여 교반하는 방식과 paddle이나 propeller와 같은 교반날개를 이용하는 기계적 교반이 있다.

Flocculation공정에서 기계식 응집기를 사용할 때 정류벽을 사용하거나 구획을 나누면 응집이 잘 일어난다. 정류벽의 모양과 위치에 대한 실제적인 설계지침이 없기 때문에 이것은 설계기술자가 결정해야 한다. 각 정류벽은 수직단면을 통해 지름 10~15cm의 orifice가 규칙적으로 분포해야 한다. 뚝도1공장 정류벽의 경우 지름 30cm의 orifice가 지당 22개씩 규칙적으로 분포한다.

정류벽의 설계에 대해서는 서로 의견이 다른 것을 볼 수 있는데, Montgomery(1985)는 응집지 정류벽의 개구비가 10%를 넘으면 단락류가 발생하며 2~5%가 적절하다고 하였다. 또한 개구비가 2% 이하이면 빠른 유속으로 floc이 깨질 수 있고 floc이 깨지는 것을 방지하기 위하여 peak flow시 정류공 통과유속을 30cm/sec 이하로 제한하였고 통과 손실수두는 약 8mm 정도가 좋다고 하였다. 또한 응집지가 침전지와 일체로 이루어진 구조의 경우 응집지의 최종 정류벽의 개구비를 5~7%의 비율로 하는 것이 좋으며 손실수두는 3~4mm 정도가 효과적이라고 하였다.

AWWA(1997)에서는 정류벽의 경우 정류공 통과유속을 30~46cm/sec를 제시하였으며 이러한 유속에서 floc의 파괴현상은 거의 없는 것으로 발표한 바 있다. 반면에 Kawamura(2000)는 정류공 통과유속을 peak flow시 35(처음 정류벽)~55(마지막 정류벽)cm/sec 정도가 적당하며, 이때 개구비의 경우 3% 이내에서 단락류를 방지할 수 있다고 보고하였다.

한편, 우리나라의 상수도 시설기준에는 응집지의 정류벽에 대한 설계기준은 없고 침전지 유입정류벽에 대해서는 개구비를 약 6% 이내로 하는 것이 좋다고 하였다.

상수도시설기준에서는 G값을 75~10/sec로 설계하도록 권장하고 있으며 응집지를 3열로 나눌 때는 1열 75, 2열 50, 3열 25/sec를 획일적으로 적용하여 응집기를 설계하는 것이 관례이다. 그

러나 현장의 여건과 원수의 특성에 따라 최적응집에 적합한 G값은 달라지며 특히 원수의 탁도와 계절별 수온의 변화는 G값에 가장 큰 영향을 주므로 운전자는 오랜 경험과 세심한 관찰로 최적의 G값을 찾아내야 한다. 그중 수온은 물의 점성계수를 변화시키므로 응집기의 동일한 회전수에 의하여 수온변화에 따른 최적의 G값을 유지할 수 없으므로 이에 대한 자동제어장치를 별도로 구비하는 것이 바람직하다.

조사기간 동안 정수사업소의 응집기 관리현황에 대해 점검하였으며 단계별 입자수를 측정하여 적용하는 G값이 flocculation에 알맞는지 검토해 보았다. 조사결과는 아래와 같다.

1. 대부분의 정수장에서 자체 특성에 맞는 운영지침을 만들어서 운영하고 계속 실험·보완하고 있었다.
2. 대부분의 정수장에서는 수온별로 응집기 회전시간에 따른 조견표를 체계적으로 만들어 응집기를 잘 운영하고 있었다.
3. 강북과 구의 등은 응집지 유입 valve 개도율에 따라서 응집지 유량을 적절하게 분배하고 있었다.
4. 암사2, 구의4공장과 같이 belt식으로 운전하는 응집기의 G값은 변경할 수 없고 불안정하게 흔들려서 응집지별로 서로 다르므로 유지관리가 어려웠다.
5. 앞으로 GT값, GCT값 개념을 도입하여 응집기 운전을 자동화해야 한다. 이를 위해서는 floc 크기 및 밀도분포 특성을 비롯한 자료를 축적해야 한다.
6. 대부분의 경우 응집기의 운전은 수질팀에서 관리는 기전팀에서 담당하고 서로 잘 협조하고 있었다.
7. 응집지 없이 맥동식 pump를 운전하는 광암은 실험 결과 계절적 차이가 거의 없으므로 계절에 무관하게 8초 흡입하고, 3초 배출하고 있었다.

Table 17. The optimal G value of flocculator with intake flow rates

구 분	G값(주파수, 회전속도, 1회전 소요시간)	
	주간(취수 motor 1대 가동시간대)	야간(취수 motor 2대 가동시간대)
1열	72(36, 3.0, 20)	43(26, 2.1, 28)
2열	39(32, 2.0, 30)	25(24, 1.5, 40)
3열	16(26, 1.1, 55)	14(24, 1.0, 60)

(1) The units = sec^{-1}, Hz, rpm, sec

(2) The rotation is over-, under-, overflow in stages in turn.

취수량이 변하면 응집지 및 침전지의 체류시간이 바뀐다. 따라서 강북에서는 응집기 회전방향, G값을 변경하여 주간과 야간에 입자수를 비교하였다. 실험결과, 저수온(5℃ 이하), 저탁도(5NTU 미만)시 취수량이 적은 08:00～22:00에 G값을 높게(72-39-21) 운영하는 것이 효율적이었고, 반대의 경우에는 낮게(43-25-14) 운영하는 것이 바람직했다.

응집지는 단계별로 1열에 정류벽이 있고, 위로 다음에 밑으로 도류한다.

Table 18. The particle counts at the mixing and flocculation basins of Gangbuk unit 1(#/mL)

구 분	혼화지	혼화지 바로 앞 응집지(4호)	수로끝 쪽 응집지(1호)
유입부	10,758	6,883	4,343
유출부		2,790	2,583

암사에서는 저탁도 유입시 급속혼화지 유출통합수로에서 유속을 이용한 응집조건을 진단하여 단계별 응집기의 운휴 실험을 실시하고 있었다. 통합수로의 수리적 난류를 이용하여 교반하고 전력비를 절감하기 위해서이다.

암사1공장은 역, 정, 역방향 순서대로, 2공장은 모두 정방향으로 운전하였다. 암사는 응집기의 사양과 분당회전수뿐만 아니라 수온에 따라서 그동안의 실험결과를 토대로 0～30℃까지 체계적인 G값 조견표를 마련해 놓았다.

Table 19. The G value with water temperature at Amsa plant 1(sec^{-1})

구 분		0℃	5℃	10℃	15℃	20℃	25℃	30℃
1공장	1열	72.70	72.53	72.23	71.79	73.82	72.93	72.03
	2열	39.95	40.53	39.73	40.08	40.34	40.42	40.48
	3열	14.88	15.06	14.95	15.05	15.11	15.11	15.10
2공장	1열	49.16	49.55	49.80	49.90	49.92	49.73	49.54
	2열	29.68	29.76	29.77	29.71	30.27	30.02	29.79
	3열	9.95	10.01	10.04	10.04	10.02	9.97	10.01

※ The G values of stages of plant 1 were designed as 73, 40, 15/sec, respectively, and those of plant 2 were designed as 50, 30, 10/sec in turn.

Table 20. The particle counts at the mixing and flocculation basins at the unit 1 of Amsa plant 1(#/mL)

구 분	혼화지	혼화지 바로 앞 응집지(8호)	수로 중앙 응집지(4호)
유입부	11,319	10,732	8,652
유출부		6,603	6,737

암사2공장은 혼화지 바로 앞과 수로 끝 응집지 유출부에서 입자수 차이가 커졌다. 혼화지 바로 앞 응집지의 유출부에서 입자수가 더 적은 것은

응집지 유입부에서도 입자수가 더 적은 것으로 보아 유량이 많은 곳에서 응집제의 농도가 낮아져서 반응이 덜 일어났기 때문인 것 같다. 따라서 응집지별 유량분배와 G값 조절에 문제가 있었다.

Table 21. The particle counts at the mixing and flocculation basins at Amsa plant 2(#/mL)

구 분	혼화지	혼화지 바로 앞 응집지(5호)	수로끝 쪽 응집지(7호)
유입부	2,789	2,156	2,528
유출부		1,619	2,148

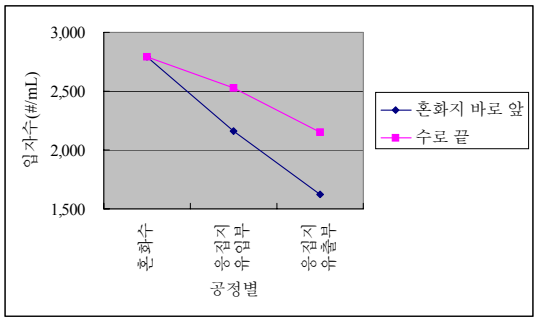

Fig. 11. The variation of particle counts at the flocculation basin of Amsa plant 2

구의3공장의 응집기는 정, 역, 역방향으로 돌고 밑, 밑으로 도류하며 3단에는 정류벽이 있다.

구의4공장의 경우 3호지는 SCD를 설치·운영하고 6호지는 역, 정, 역방향으로 운전하는 등 다양한 실험을 시도하고 있었다.

Table 22. The operatin condition for flocculator of Gueui plant 3

구분	응집기 형태	응집기 회전속도(rpm)	G값 (sec^{-1})	계절별 변경 운영 실태
1단	2개의 수평 paddle	2.8~3.2	52~55	· 겨울철 : 75, 30, 12 · 여름철 : 55, 25, 12
2단		1.5~1.8	22~25	
3단		1.1~1.3	11~13	

적절한 유량분배에 따라 단계별로 혼화지 바로 앞과 수로 끝에서 거의 똑같이 floc이 성장하고 있다. 따라서 총입자수와 15~30㎛의 침강성 입자수는 비슷한 경향을 나타내어 총입자수로 비교평가하였다.

유량을 지별로 적절하게 분배하여 똑같은 G값에서 응집지 유출수속 입자수가 비슷해졌다. 구의는 유일하게 많아졌다가 다시 적어지는데 낙차에 의한 혼화가 불완전하여 대신 응집기1열의 G값(여름, 55/sec)을 크게 운전하기 때문이다.

Table 23. The particle counts of process water and the operation condition for flocculator of Gueui plant 4(#/mL)

구분	혼화지	혼화지 바로 앞 응집지(2호)		수로끝 쪽 응집지(5호)
유입부	5,612	9,180		8,298
유출부		5,386		5,037
응집기	형태	응집기 회전속도(rpm)	G값 (sec^{-1})	계절별 변경 운영 실태
1단	4개의 수평 paddle	2.4~2.8	45~55	가변 불가
2단		1.3~1.6	18~23	
3단		1.0	11	

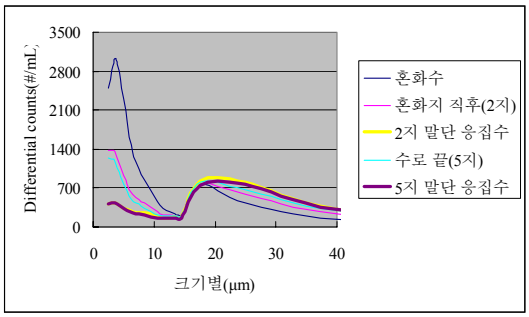

Fig. 12. The growth of particles at the flocculation basin of Gueui plant 4 along with the stage order and particle size

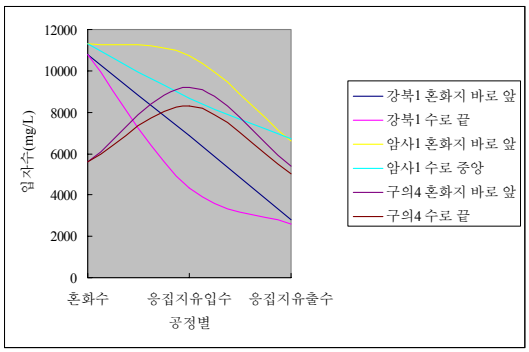

Fig. 13. The change 1 of particle counts by proper control of flocculator G and flow sharing

뚝도1공장 응집기의 회전방향은 2호기의 경우 차례로 정, 정, 역방향이고, 4호기는 역, 정, 역방향, 6 및 8호기는 역, 역, 정방향 등으로 다양하게 운전하고 있었다. 회전수는 약품투입량과 원수탁

도를 고려하여 결정하며 inverter에 의해 제어반에서 조절하고 있다.

Table 24. The residence time at the flocculator basin of Tukdo plant 1 and several standards

적용 기준	상수도시설기준 (환경부, 1997)	수도시설 설계지침·해설 (일본후생성, 2000)	AWWA (1997)	CCP 기준 (1998)	설계 당시
20분	20~40분	20~40분	10~30 분	1단 30분, 다단 20분	24.7 분

응집지 분배조의 경우 유입 valve를 조절하지 않고 자연유하로 처리하면 혼화지에서 응집지까지 이어진 관로의 지름과 길이가 서로 달라서 1~4호 침전지와 5~8호 침전지 사이의 유량배분은 40 : 60으로 침전지로 유량을 균등하게 분배하기 어렵다. 현재는 5~8호 응집·침전지의 유입 valve를 수동으로 조절하고 있어서 유량의 정량분배가 곤란하다.

Table 25. The particle counts at the mixing and flocculatin basins of Tukdo plant 2(#/mL)

구 분	혼화지	혼화지 바로 앞 응집지(4호)	수로끝 쪽 응집지(2호)
유입부	10,758	2,594	1,745
유출부		2,060	2,202

※ The water channel from mixing basin to flocculation basin is about 300m long.

뚝도3공장은 1, 2단 사이에 정류벽이 없기 때문에 빨리 돌리면 swirling이 생겨서 G값을 30/sec로 낮게 운영하지만, GT값은 42,000 정도로 양호하였다. 그러나 G값이 낮으면 floc이 퍼질 수 있다.

뚝도는 digital 방식으로 G값을 입력하여 회전수를 조절하고 있었다. 현장 panel내에 설치한 G값 자동제어장치(G-controller)의 구성요소는 G값 지시연산기, rpm sensor, 수온 검출기 등이며 회전수를 검출하고 물의 온도를 인식하여 G값 연산기에 feedback하면 연산한 G값이 panel 전면 표시장치에 나타나며 운전자가 이것을 읽고 적정값을 설정하면 impeller의 회전수가 자동으로 바뀌어서 최적의 혼화 및 응집상태를 유지할 수 있다.

이것은 변화하는 수온, 회전수를 인식하여 제어system에서 연산, 운전상태를 조절함으로써 주변환경의 변화에 관계없이 설정한 G값을 정확하게 제어할 수 있다. 따라서 응집효율을 최적화하고 응집제의 소모를 최소화한다. 또한 동력비와 인건비를 지속적으로 절감하여 유지비용면에서 매우 경제적이다.

보광동에서는 2002년 12월부터 2003년 6월까지 4회, 혼화기와 응집기의 G값을 원수수질(수온, 탁도, pH, alkalinity, 조류개체수, 응집제 및 활성탄 주입량) 변화에 따라 변경하여 운영하고 있었다.

수직형 impeller의 회전방향은 모두 같고, 혼화지에서 응집지로 넘어갈 때 저류벽을 통해서 밑에서 위로 올라와 단락류를 예방한다. 응집지들 사이는 정류공이 있는 정류벽이 있다.

Table 26. The particle counts of process water and the G value of flocculator of Bogwangdong plant(sec^{-1})

혼화지	응집지 1단	응집지 2단	응집지 3단	응집지 4단	침전지유입수
8,299	5,495	5,169	4,738	4,134	3,248
1열		2열	3열		4열
43.69		29.97	20.75		15.45

※ The water channel from the outlet of flocculation basin to the inlet of sedimentation basin is so long.

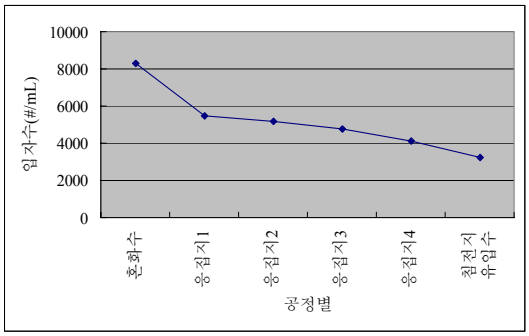

Fig. 14. The variation of particle counts at the flocculation basin of Bogwangdong plant

그림에서 보듯이 응집기2, 3, 4열의 응집효과가 적었고 따라서 이들과 수로 사이의 차이점이 불확실하였다.

Table 27. The particle counts at the mixing and flocculation basins of Yongdungpo plant 3(#/m -L)

구 분	혼화지	혼화지 바로 앞 응집지(5호)	수로끝 쪽 응집지(1호)
유입부	6,620	5,588	5,190
유출부		3,293	3,500

영등포와 신월을 포함하여 대부분의 정수장은 혼화지 바로 앞의 응집지 유출부에서 입자수가 약간 더 적었다. 표에 나타낸 바와 같이 영등포의 경우 혼화지 바로 앞의 응집지 유입부에서 입

자수가 더 많았는데 floc이 더 크게 성장했기 때문이다. 신월의 경우도 혼화지 바로 앞의 응집지와 끝단(5호지) 응집지의 유입부와 유출부에서 각각 입자수의 차이가 적었다.

Table 28. The particle counts at the mixing and flocculation basins of Shinwol plant(#/mL)

구 분	혼화지	혼화지 바로 앞 응집지(1호)	수로끝 쪽 응집지(5호)
유입부	6,221	2,237	2,815
유출부		1,826	2,237

※ The mixing water flows from flocculation basin 1 to basin 5, and every basin performs the water channel(G low) at the same time.

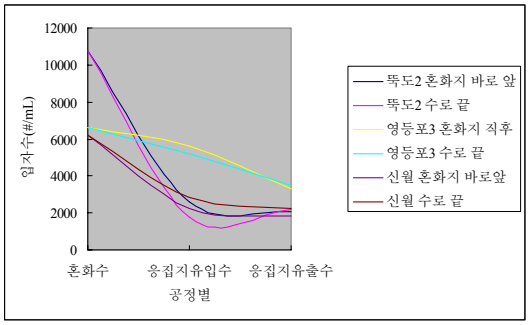

Fig. 15. The change 2 of particle counts by proper control of flocculator G and flow sharing

비록 약간의 차이는 나지만 그림에서 보듯이 뚝도, 영등포, 신월에서도 역시 유량을 지별로 적절하게 분배하여 똑같은 G값에서 응집지 유출수속 입자수가 비슷해졌다.

Table 29. The quality of raw water when the turbidity of settled water was over 2NTU in 2001

구 분	침전수	원수수질		
	탁도(NTU)	탁도(NTU)	pH	Alkalinity(mg/L)
강 북	2.0~3.4	122~430	6.4~6.8	11~19
광 암	2.0~6.9	27~187	6.4~6.7	18~24
암 사	2.0~7.3	97~604	6.4~6.8	14~27
구 의	2.0~4.8	87~289	6.1~6.6	8~21
뚝 도	2.0~3.4	64~368	6.3~6.7	15~25
보광동	2.0~4.7	65~288	6.6~6.9	16~23
영등포	2.0~3.4	49~740	6.5~6.9	10~30
신 월	2.0~2.8	210~390	6.6~6.8	18~22

각 정수사업소의 2001년 장마철 수질일보 자료를 검토한 결과 2001. 7. 15~28 사이에 침전수의 탁도가 자주 높아졌는데 이 기간동안 침전수가 2.0NTU 이상으로 나빠질 때 원수의 수질자료를 분석한 결과는 표와 같다.

표에서 나타난 침전수 탁도는 해당기간의 수질일보 자료를 검토하여 2.0NTU부터 최악까지이다. 침전수 탁도는 암사에서 최대 7.3NTU까지 증가하였고 대체로 강우초기보다 강우후기에 나빠졌다.

Table 30. The turbidity of settled water of Gangbuk plant when pH and alkalinity was low by record rainfall

구분	원 수				침 전 수		
월/일/시	탁도 (NTU)	pH	Alkalinity (mg/L)	전기전도도 (㎲/cm)	탁도 (NTU)	pH	Alkalinity (mg/L)
7/15/04	11.4	7.4	37.6	177.3	0.26	8.4	37.4
12	81.1	7.0	34.7	146.9	0.31	7.2	34.1
13	193.9	6.9	26.7	119.9	0.27	7.1	32.8
14	297.6	6.7	21.2	103.9	0.25	7.1	32.1
15	246.1	6.6	18.3	99.6	0.30	7.0	30.2
16	183.9	6.6	18.6	100.3	0.50	7.0	28.9
17	157.0	6.6	18.0	98.9	0.57	6.9	26.9
18	173.0	6.5	16.3	91.6	0.78	6.9	24.8
19	221.1	6.4	13.2	82.6	1.13	6.8	22.0
20	227.5	6.4	11.7	80.6	1.14	6.8	20.5
21	194.1	6.4	11.9	82.3	1.24	6.8	21.0
22	155.3	6.5	13.0	85.8	1.66	6.8	21.0
23	140.1	6.7	14.7	91.4	2.86	6.7	16.9
24	122.4	6.8	16.1	96.0	3.41	6.7	15.1
7/16/01	145.0	6.8	16.6	97.1	2.67	6.7	18.2
02	124.2	6.8	18.4	100.5	2.08	6.7	15.6
03	109.0	6.9	19.0	103.2	1.80	6.8	18.1
04	99.8	6.9	19.9	105.9	1.32	6.8	18.9
05	100.1	7.0	20.0	107.2	1.13	6.8	17.4
06	98.2	7.0	21.0	109.2	1.01	6.8	17.1
07	91.7	7.0	21.5	110.2	0.89	6.9	21.8
08	85.7	7.0	21.2	111.0	0.78	6.9	21.3
09	83.3	7.0	22.2	112.0	0.68	6.9	18.5
10	81.8	7.0	22.2	112.1	0.63	6.9	20.6
11	79.8	7.0	22.0	111.0	0.64	6.9	21.2
12	78.9	6.9	20.3	109.3	0.59	7.0	22.2
13	77.6	6.9	21.0	110.2	0.56	7.0	21.2
14	76.8	6.9	22.0	112.2	0.54	7.0	24.1
15	79.8	6.9	22.4	114.8	0.52	6.9	20.3
16	86.3	6.9	22.8	117.1	0.50	6.9	21.5
17	77.8	6.8	22.8	119.2	0.51	6.9	23.1
18	72.0	6.8	22.7	119.0	0.49	6.9	23.0
19	77.9	6.7	22.2	116.0	0.48	6.9	23.1
20	68.9	6.7	21.5	113.1	0.48	6.9	22.1
21	67.3	6.7	21.0	112.3	0.49	6.9	22.0
22	63.3	6.7	21.2	112.1	0.53	6.9	21.7
23	63.3	6.8	21.8	113.8	0.62	6.9	21.3
24	61.0	6.8	23.2	116.4	0.68	6.8	25.2

(1) This is the turbidity of settled water of Gangbuk unit 2-1 on the days of 2001. 7. 15~16 when pH was 7.0 and below, and alkalinity was 20mg/L and below.
(2) At this time water temperature was 20.7~22.8℃, and the turbidity of filtered water was 0.1NTU and below.

2001년 7월 15일 서울지역은 극심한 폭우로 인하여 02:00부터 03:00까지 시간당 강수량이 90mm, 하루 총강수량은 273mm를 기록하였다. 또 장마철 수질관리에 많은 영향을 주는 원수 alkalinity도 04:00까지 47mg/L를 유지하다가 탁도상승과 함께 14.1mg/L까지 서서히 떨어지는

경향을 나타내었다.

강북에서는 2001년 폭우때 침전수의 pH와 alkalinity가 가장 낮은 시기에 침전수의 탁도가 가장 높았다. 아래의 경향은 원수의 pH와 alkalinity가 낮을 때보다 3~4시간(침전지 체류시간)의 차이가 있었다. 원수의 탁도가 높을 때 pH와 alkalinity가 낮아졌고 침전수의 pH와 alkalinity를 즉시 조절하기 어려웠으며 결국 침전수의 수질이 나빠졌다.

폭우 후기에는 원수의 pH가 6.7로 나빠져도 원수의 alkalinity가 20mg/L 이상이고 원수의 탁도도 상대적으로 상당히 낮아져 침전수 탁도가 높지 않았다.

암사에서는 여과수 탁도가 상당히 높은 경우도 있었는데 약품처리가 다소 부적절했다 해도 그 상관성이 매우 낮으므로 그 원인을 찾기는 어렵고 대체로 원수탁도와 여과수 탁도가 비례하였다.

Fig. 16. The daily water treatment reports of Amsa plant 1-1 on the days of 2001. 7. 15~16

※ The water temperature was 20.8~22.3℃, and the intake flow rate was 7,250~10,400m^3/hr.

원수탁도와 alkalinity는 약간의 시간차를 두고 반대의 경향을 보인다. 침전수탁도와 원수의 pH 및 alkalinity가 상관성이 없는 것은 알칼리제 투입에 따라 응집환경이 변했기 때문이다.

강우초기 탁도가 급등할 때 침전수와 여과수 탁도가 나빠졌다. 이때는 착수정수 잔류염소도 상당히 높아서 원수 alkalinity가 일시적으로 많이 떨어졌다. 또 이 시기는 원수의 수질특성이 100NTU 이상의 고탁도와 6.8 정도의 저pH인 경우와 일치한다. 이때 알칼리제 투입시기도 한시간 정도 늦어졌다.

보광동에서는 장마초기에 고탁도가 유입하여 단시간내에 탁도가 7.6→258→512NTU까지 급상승함에 따라 응집제를 적정량 투입하는 것이 중요했다.

탁도 상승후 하강할 때 시간이 지날수록 응집의 영향인자인 pH, alkalinity가 떨어져서 알칼리제 투입시기(pH 7.0 이하, alkalinity 30mg/L 이하)를 적기에 결정하여 응집제와 같이 투입해야 하며 투입시기를 놓치면 응집이 불량해진다.

Table 31. The daily reports of Bogwangdong when high turbidity flows in early in the wet season(2002. 8. 6~12)

구 분	원수·침전수의 수질 및 약품투입량								정수 수질		
	탁도	pH	Alkal-inity	침전수탁도	PACl	NaOH	Polya-mine	전염소	탁도	pH	잔류염소
8/6/01:00	7.6	7.2	44	0.5	23	0	0	4.9	0.07	6.9	0.93
10:00	61	7.2	39	0.5	32	0	0	5.4	0.07	6.9	0.91
11:00	80	7.1	35	0.5	42	0	0.2	5.0	0.07	6.9	0.92
13:00	83	6.9	27	0.6	45	10	0.2	5.0	0.08	6.9	0.93
15:00	102	6.9	21	0.7	50	20	0.2	4.5	0.08	6.8	0.87
17:00	188	6.8	22	0.7	60	25	0.2	4.5	0.08	6.7	0.94
8/7/01:00	130	6.9	24	1.0	55	25	0.2	4.0	0.07	6.7	0.87
24:00	512	6.7	19	2.0	75	45	0.2	2.5	0.07	6.5	0.89
8/8/10:00	288	6.8	14	2.5	60	45	0.2	2.5	0.08	6.6	0.87
8/11/22:00	60	7.1	40	2.3	30	0	0.2	4.2	0.07	6.8	0.89
8/12/24:00	42	7.1	39	2.4	32	0	0.2	3.7	0.07	6.8	0.92

응집제와 알칼리제(NaOH)의 투입률비는 전년 장마철 고탁도시 수질일보를 참조하여 미리 만들어 놓은 조견표를 활용해서 선조치한 후, jar 시험을 연속적으로 실시하여 정확히 재조정한다.

탁도는 최고 512NTU까지 상승하여 응집제를 75mg/L까지 투입하였으며, 이때 alkalinity는 14mg/L, pH는 6.7까지 떨어져서 NaOH를 45mg/L까지 투입했다.

또한, pH, alkalinity가 더욱더 내려가서 응집이 불량해지는 것을 방지하기 위하여 전처리염소는 4.0→2.5mg/L로 최소화하면서 이에 따른 맛냄새 발생에 대처하기 위해 분말활성탄 및 후염소 투입량을 증가시켰다.

침전수탁도가 2.5NTU까지 상승하였으나 비상대응 탁도인 5NTU 이하를 유지하여 적절한 정수처리가 이루어졌다.

정수탁도 및 잔류염소도 평상시와 같은 0.1NTU 이하, 0.8~1.0mg/L의 범위를 유지하여 최적의 수질을 나타냈다. 이는 polyamine을 0.2~0.3mg/L로 소량 첨가하여 여과효율을 더욱더 증대시켰기 때문이다.

Table 32. The daily reports of Bogwandong when the turbidity went down late in the wet season(2002. 9. 2~4)

구 분	원수·침전수의 수질 및 약품투입량								정수 수질		
	탁도	pH	Alkal-inity	침전수탁도	PACl	NaOH	Polya-mine	전염소	탁도	pH	잔류염소
9/202:00	124	7.1	45	1.9	40	0	0.3	3.5	0.05	6.9	0.94
08:00	106	7.0	25	1.4	37	10	0.3	3.0	0.06	6.8	0.92
09:00	92	6.8	23	1.4	37	15	0.3	3.0	0.06	6.7	0.90
20:00	60	6.9	24	2.9	42	25	0.3	3.0	0.07	6.7	0.92
22:00	55	7.0	25	3.0	42	30	0.3	3.0	0.07	6.8	0.93
9/3/24:00	26	7.0	30	1.6	30	10	0.3	2.7	0.06	6.8	0.90
9/4/24:00	16	7.1	37	1.2	23	5	0.3	3.0	0.06	6.8	0.89

장마후기 탁도는 대부분 100NTU 이하로 낮아졌으며 짧은 시간내에 급격히 내려가면서 이후에는 서서히 하강하고, 응집영향인자인 pH, alkalinity는 천천히 회복하였다.

또한 탁질이 아주 미세하여 pH, alkalinity가 높아져도 입자의 표면적 증가로 인한 안정성이 증가함에 따라 응집제가 더 많이 들어가고 응집제가 충분히 분산하지 못해 응집효과가 떨어져서 침전수 탁도가 대체로 높은 값을 유지하였다.

이때에 연중 정수처리에서 가장 고난도의 운영기술이 필요하다. 정수처리공정에서 취할 수 있는 적절한 대책은 응집제의 분산효과를 증대시키기 위해 혼화기, 응집기의 교반속도를 증가시키는 것이다.

탁도가 100NTU 범위에서 응집제를 37mg/L 투입하였으나, 탁도가 더 낮은 60NTU 범위에서는 응집제를 42mg/L까지 투입함으로써 장마후기의 수질특성(탁질이 미세함)을 잘 나타내주고 있다. 이때의 응집영향인자인 pH, alkalinity는 비슷한 값을 유지하였다.

또한 여기서 주목해야 할 점은 8.6~12의 탁도가 상승 및 하강하는 수질과 9.2~4의 탁도가 하강하는 수질을 비교해 보면, 하강하는 같은 탁도인 60NTU 범위에서 pH와 alkalinity가 큰 차이를 나타내어서 응집제 및 알칼리제의 투입량도 10mg/L 이상의 차이가 났다. 이는 한강상류지역인 북한강 및 남한강의 수질특성에 의한 결과이다.

정수탁도 및 잔류염소는 평상시와 같은 0.1NTU 이하, 0.8~1.0mg/L의 범위를 유지하여 최적의 수질을 나타내었다. 이는 장마초기 수질과 마찬가지로 여과보조제인 polyamine을 0.2~0.3mg/L로 소량 첨가함으로써 여과효율을 더욱 더 증가시켰기 때문이다.

응집 floc의 상태는 탁도, alkalinity, 전기전도도와 관계가 없었고 pH가 다소 높을 때 좋고, pH가 다소 낮을 때 나빠졌다.

수질사고의 주요원인은 하천유량의 부족, 수온상승 등으로 인한 상수원수 물환경의 변화, 초기강우시 오염물질의 일시 유입과 하상퇴적물의 부상 그리고 강우를 틈탄 오·폐수 무단방류와 공사장 토사 유출 등이다.

여름철 폭우나 장마시 원수수질이 급변하고, 여름가뭄시 상수원 정체에 따라서 남조류가 증가하여 정수처리가 어려워지고 수돗물 맛냄새가 발생할 수 있으므로 수질관리 대책을 수립·시행하여 안정한 정수를 생산해야 한다.

집중호우시 오염물질이 일시 다량으로 유입하여 염소요구량이 증대하고 탁도가 증가하여 정수약품 소요량이 증가한다. 원수탁도가 급변할 때는 1차적으로 약품투입조견표와 탁도 변동전의 약품주입률을 참고하여 미리 약품을 투입하고 2차로 jar 시험을 계속 실시하여 조견표 투입량을 검증한다. 그리고 마지막으로 공장별 응집·침전 상태를 확인하여 약품투입량을 조정한다. 이러한 대책의 일환으로 17%PAC*l*에 대한 조견표를 작성하였다.

고온다습한 환경에서 수인성 질병이 발생할 우려가 있으므로 수도꼭지 잔류염소를 0.4mg/L 이상으로 유지한다.

남조류에 의한 맛냄새가 발생하면 전·중염소처리 등을 합리적으로 조정한다. 또 분말활성탄 투입을 30~50mg/L로 강화하고 다량으로 투입할 때는 여과보조제를 사용하여 흑수를 방지한다.

팔당dam~구의취수장 유달시간(1,000CMS 4시간)을 예측하고 구의취수장~4공장 착수정 약 40분, 그리고 4공장 원수수질 측정후 응집제 투입지점까지 도달시간 약 30분을 감안하여 수질을 관리한다.

Table 33. The goal of water quality managemen -t of Gueui in summer

원수조건		정수관리목표			비 고
탁도 (NTU)	염소 투입률 (mg/L)	탁도 (NTU)	잔류염소 (mg/L)		
			3공장	4공장	
50 이하	3~4	0.10 이하	0.7 ~ 0.9	0.8 ~ 1.1	·연평균 정수 탁도는 0.06NTU ·4공장 송수 잔류염소는 체류시간이 길어 0.1 높게 설정
50~100	4~6	0.15 이하			
100~500	6~8	0.20 이하			
500 이상	8 이상	0.30 이하			

침전지말 탁도 관리에 앞서 응집지 및 침전지 초입부를 상시 감시하여 침전지 유출수 탁도를 3.0NTU 이하로 유지하고 3.0NTU 이상으로 상승할 때는 취수량을 감축하거나, 응집보조제를 투입하여 여과수 탁도를 낮춘다.

고탁도시 응집지의 floc은 이상적일수록 겉보기에 무색 투명하며 상태가 좋지 않으면 floc이 크더라도 전체가 흐리게 보인다. 또한 floc의 입자가 무거워 유속이 느린 부분에 물골(응집지 3단)이 생기는데 이것이 깊고 넓고 선명할수록 침전성이 양호하다.

침전지 말미 탁도가 높게 나타나는 경우는 2가지가 있다.

약품투입량이 적당해서 flocculation이 잘 이루어져도 가동률이 높으면 유속에 의해 밀려나가 흐려지므로 취수량을 축소해야 한다. 이 경우 대부분은 여과지에서 제거하여 정수탁도는 크게 올라가지 않지만 장시간 지속시 여과지 폐색속도가 빨라져 손실수두가 급증한다.

약품투입량이 부적당할 경우 floc이 완전하게 만들어지지 않아 흐려지므로 약품투입량을 조정한다. 이 경우 탁질의 대부분은 여과지에서 흡착

제거하지 못해 바로 여과수 탁도에 영향을 준다.

수질변화에 따라 침전지 sludge collector의 가동횟수를 신축성 있게 운영한다. 3공장은 앞부분에 floc이 침전하므로 앞뒤 가동횟수를 조절한다. 배출수 처리시설은 고탁도시 탁질과 점토질이 많아 제1, 2농축조에 많은 부담을 주므로 농축 sludge가 쌓이지 않도록 탈수하여 반출한다.

여름철 고탁도, 저alkalinity 때 적기에 대처하기 위해서는 침전수의 수질을 감시하기에 앞서 알칼리제 투입률을 잘 관리해야 한다. 구의는 알칼리제 투입 → pH 측정 → 응집제 투입 → pH 측정을 통하여 알칼리제 과소 투입을 실시간대에 확인 감시하는 계측system 갖추고 있다.

또 원수 전염소 제어system으로서 수시로 변하는 염소요구량에 즉시 대처하기 위하여 투입후 조기에 잔류염소를 측정, feedback함으로써 항시 적정량만 투입하여 후염소투입 관리 및 응집효율 향상에 기여하고 있다.

뚝도에서는 한강 수위가 올라가서 자연배수를 강제배수로 변경하면 각종처리 system(배출수, sludge, 우수, 오수 등)이 바뀌므로 각 계통의 강제 배수위를 재확인한다.

초기 강우량이 적을 때는 탁도가 서서히 증가하므로 원수수질 변화에 따라 대응하고, 비점오염원의 초기 유출수로 NH_4^+-N의 농도, $KMnO_4$ 소비량이 증가하면 전염소 투입을 강화한다.

알칼리제 투입량은 jar 시험에 의하여 결정하고 침전지 수질상태(물의 색깔, floc의 상태)를 관찰한 후 투입량을 재조정한다. 과량투입하면 응집제와 알칼리제의 불균형으로 인하여 백탁현상이 일어난다.

보광동에서는 강우가 끝나도 장마후기에는 팔당dam 방류로 인하여 유입원수는 탁도가 높은 상태를 유지하다가 서서히 하강하며, 탁질성분이 미세하고, pH와 alkalinity가 낮아서 응집·침전성이 아주 나빠지므로 정수처리에 특별히 주의해야 한다.

알칼리제는 원수의 alkalinity 변화에 따라, 또 침전지 상태를 관찰하면서 투입하고, 백탁현상을 방지하려면 기준량보다 1~2mg/L 하향 주입한다.

미세탁질로 인해서 응집·침전성이 불량하므로 응집제는 알칼리제와 병행하여 jar 시험을 시행하여 투입량을 결정하고 탁질입자의 정전기력 증가 여부를 판단하여 응집제를 상향 투입한다.

생산량이 증가하면 침전지에서 물끌림현상(체류시간이 짧아져 침전지 부하가 많이 걸림)이 발생하여 침전지 전단부에서 floc이 부상하고, 상징수 탁도가 상승(하루중 주로 오후에 발생)한다.

장마 후기에는 수질이 어느 정도 나아지므로 전염소 투입은 착수정에서 잔류농도가 0.1mg/L 정도이도록 주입하고 정수의 잔류염소 농도는 후염소로 주로 맞추고 전염소는 보조수단으로 사용한다. 곧 고탁도시 염소를 10mg/L 이상 투입하면 alkalinity가 뚝 떨어지므로 전염소 투입을 최소화하고 PAC*l*과 후염소 주입을 강화한다.

Table 34. The change of flocculation environme-nt by dosing water treatment chemicals when it is rainy

구 분	1mg/L 염소	1mg/L PAC*l*	1mg/L 20%NaOH
Alkalinity(mg/L)	1.50 감소	0.150 감소	0.25 증가
pH	0.12 감소	0.015 감소	0.03 증가

(1) *NaOH* 투입률 = (1*mg*/*L alkalinity*를 올리기 위한 *NaOH* 투입률) ×(목표 *alkalinity* + PAC*l* 투입률×0.15 − 착수정 원수 *alkalinity*)

(2) 착수정 원수 *alkalinity* = 취수장 한강원수 *alkalinity* − 전염소 투입률×1.5

여과수 탁도가 0.40NTU에 도달하면 취·송수량을 30% 감량하고 0.50NTU에 이르면 정수지 및 배수지 수위를 확인하여 수계에 단수 없이 30분 이상 공급할 수 있으면 취수를 중단하고 침전수를 퇴수시키면서 응집제 및 알칼리제 투입량의 적정성 등 원인을 파악하고 새로 취수량을 서서히 늘리면서 응집제 및 알칼리제 투입에 따른 응집상태의 양부를 관찰한다. 이때 여과지는 정수valve를 잠그고 미리 정한 퇴수 순번에 따라 지별(1~26)로 퇴수하면서 수질을 감시한다.

침전지 유량을 균등하게 분배하고 weir의 높이를 똑같게 맞춘다. 또 침전물 퇴적에 따른 수질저하를 방지하기 위하여 sludge collector 가동횟수를 하루 1회에서 2회로 늘린다.

여과지 관리를 강화하여 여과사를 월1회 보사 및 교체한다. 또 분기1회 오염도를 조사하고 여과지 하부집수장치를 점검한다.

보광동에서는 예년의 운전 경험에 따라서 수온과 탁도별로 응집제 투입률 조견표를 마련하였고, 장마철 고탁도시 장마 초기는 2002. 8. 6~12, 장마 후기는 2002. 9. 2~4의 수질의 특성과 관리실적을 토대로 탁도와 pH 및 alkalinity에 따라서 PAC*l*, PACS, NaOH, polyamine, 전염소 set의 조견표를 만들었다.

암사에서는 원수의 NH_4^+-N 농도 증가시 전·후염소 처리가 어려워서 생기는 송수잔류염소의 불안정성을 개선하기 위하여 염소투입시설을 확충하고 PID 잔류염소 제어system을 도입하여 목표잔류염소를 안정하게 유지하였다.

2003년 3월 염소관련 시설공사 준공전에는 송수잔류염소의 최대·최소값 편차가 불규칙하게 나타났다.

원수의 NH_4^+-N 농도가 증가할 때 투입시설이 부족하고 반자동제어로 BP점처리가 곤란하여 겨

울철마다 잔류염소편차가 높게 나타났다. 2002. 12~2003. 3에 NH_4^+-N 농도는 최대 0.99, 평균 0.4mg/L로 높았지만 취수장부터 착수정까지 도수관로 길이가 짧아(960m, 도달시간 9분) 전염소 반응이 불충분하였다.

염소투입기를 증설하고 PID 연속자동제어 system을 설치함으로써 설정한 정수잔류염소 목표값에 맞게 잔류농도를 제어할 수 있었다. 시설개선 후 시운전기간 동안 최대·최소 편차값은 제1공장은 ±0.085, 제2공장은 ±0.10mg/L 이내를 유지하였고 개선후 잔류염소 농도는 제1공장 우면산line의 목표잔류염소 0.95±0.10 및 노량진 및 방배line의 0.90±0.10을 안정적으로 유지하였다. 향후 운영자료를 완전히 축적하면 그 편차값은 더욱 줄어들 것이다.

구의4공장에서는 polyamine을 응집보조제로 사용하여 혼화지 말단에 투입한다. 또 응집제 투입지점을 혼화기 앞단에서 후단 낙차지점으로 변경하여 충분한 혼화강도를 얻는다. 아울러 DAF(Dissolved Air Flotation)효과에 의하여 유기물과 조류 등 난응집성 물질을 제거함으로써 수질을 개선하고 동력비와 2~3mg/L의 응집제를 절약한다.

응집제 투입후 응집제 혼화수의 ζ전위를 측정할 수 있는 SCD를 설치·운영하여 원수수질에 대응한 적정 응집제주입률 여부를 감시하고 있으며, 향후 응집제투입률 관련 연구에 적극 활용하고자 한다.

잔류염소의 목표값을 공정별로 설정하였다. 조사기간에 3공장 착수정수는 0.2±0.1, 4공장 착수정수는 0.4±0.1, 침전수는 0.1±0.05, 3공장 정수는 0.8±0.1, 4공장 정수는 1.0±0.1mg/L로서 최종 목표값을 체계적으로 관리하고 있었다.

보광동의 경우 침전지의 v-notch weir의 홈을 좀더 파내서 손실수두(floc 파괴)를 줄이고 맛냄새를 발생시키는 scum도 걸러낸다. 보광동에서는 수로가 매우 길어서 ζ 전위가 점차 올라가므로 수로를 없애야 한다. 그리고 시설용량을 과대평가하고 있으므로 가동률을 낮추어야 한다.

영등포의 경우 polyamine을 응집보조제로 사용하였다. Jar 시험결과는 잘 안 맞지만 이를 nozzle로 분사하기 때문에 분배수로에서 벽에 부딪히면서 혼화가 잘 이루어졌다.

3. 3/4분기 공정별 수처리평가

조사기간은 2002. 9. 18 ~ 2002. 9. 30이다.

조사기간 동안 원수의 수질은 폭우 뒤 팔당 dam의 방류량이 많아서 정수처리 조건이 매우 불리하였다. 아래 표와 같이 탁도는 17.3~41.2NTU로 상당히 높았고 수온은 19~21℃였다. pH는 7.1~7.6, alkalinity는 36~47, 평균 43mg/L였으며 $KMnO_4$ 소비량은 평균 4.43mg/L, Al의 농도는 평균 0.69mg/L였다.

Table 35. The quality of raw water

구 분	최대	평균	최소	팔당	한 강					
				광암	강북	암사	구의	자양		풍납
								뚝도	보광동	영등포
pH	7.6	7.4	7.1	7.5	7.1	7.4	7.5	7.6	7.5	7.4
수온(℃)	20.8	19.9	19.0	19.8	19.7	19.0	20.8	20.0	20.0	19.9
탁도(NTU)	41.2	31.2	17.3	35.3	41.2	19.8	17.3	32.3	34.8	37.7
Alkalinity (mg/L)	47	43	36	55	47	36	37	43	46	36
$KMnO_4$ 소비량(mg/L)	5.12	4.43	3.72	4.48	4.48	3.72	3.97	4.73	4.48	5.12
Al(mg/L)	0.95	0.69	0.46	0.70	0.95	0.47	0.46	0.65	0.68	0.90
입자수	20,450	19,534	17,737	18,308	20,367	19,767	17,737	19,913	20,450	20,198

※ During the investigation period in the 3rd quarter of 2003

특히 dam방류량과 저수율 등의 수문조건은 예년 수준을 큰 폭으로 상회하였다. 잦은 강수 및 수문량 증가로 BOD(올해 9월 4주 평균 0.8, 예년 1.6mg/L)와 조류개체수(올해 9월 350, 예년 2,980/mL)는 오랫동안 낮은 수준을 유지하였다.

Table 36. The overall quality of process water

구 분		팔 당		강북	암사	구의	자 양		풍납
		광암	신월				뚝도	보광동	영등포
침전수	pH	7.3	-	6.9	7.1	7.1	7.0	6.9	7.1
	탁도(NTU)	1.65	-	1.77	1.19	1.30	1.62	2.49	1.28
	$KMnO_4$ 소비량(mg/L)	2.25	-	2.41	1.85	1.90	2.14	1.87	2.31
	THMs(mg/L)	0.007	-	0.008	0.009	0.007	0.009	0.012	0.016
	R-Cl(mg/L)	0.04	-	0.04	0.18	0.10	0.04	0.27	0.05
	Al(mg/L)	0.13	-	0.24	0.19	0.25	0.19	0.21	0.40
	입자수(#/mL)	1,483	-	2,041	2,912	3,676	1,951	2,380	2,764
여과수	탁도(NTU)	0.08	-	0.07	0.06	0.07	0.08	0.07	0.07
	$KMnO_4$ 소비량(mg/L)	1.39	-	1.55	0.98	1.04	1.68	1.55	1.81
	THMs(mg/L)	0.007	-	0.008	0.011	0.008	0.009	0.015	0.017
	R-Cl(mg/L)	0.02	-	0.03	0.06	0.09		0.18	
	Al(mg/L)	0.02	-	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.07
	입자수(#/mL)	127	-	88	87	110	180	49	149
정수	pH	7.2	-	6.8	7.0	7.0	7.1	6.9	7.1
	탁도(NTU)	0.07	-	0.08	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07
	$KMnO_4$ 소비량(mg/L)	1.15	-	1.30	0.92	0.98	1.55	1.42	1.30
	THMs(mg/L)	0.013	-	0.011	0.014	0.013	0.013	0.015	0.021
	R-Cl(mg/L)	0.78	-	0.89	1.00	0.97	0.87	0.94	0.86
	Al(mg/L)	0.02	-	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05
	입자수(#/mL)	137	-	79	68	62	113	104	82

※ From 9.18 to 9.30, and on the arithmetic mean per plant

정수탁도는 표들과 그림에서 보듯이 0.05~0.08NTU의 범위로 정수장별로 큰 차이 없이 매우 낮아 조업상태가 안정하였다. 특히 암사2공장은 침전수 탁도값이 최소이고 정수값도 가장 낮아 공정별 탁도를 잘 관리하고 있었다.

침전수 탁도는 범위 1.19~2.49, 전체 평균 1.53NTU로 나타났다. 표37은 정수처리 공정별 탁도 처리효율을 나타낸 것이다. 침전공정까지 처리효율은 원수 탁도가 높은 강북과 영등포에서 96% 이상으로 가장 높았다. 여과효율은 평균 95.0%로 나타났고 정수까지 전체적인 공정의 처리효율은 평균 99.8%로 높게 나타났다.

탁도의 총제거율이 모두 높은 것은 원수의 탁도가 높았기 때문이다. 보광동과 영등포1공장은 각각 2.49와 1.87NTU로 침전수 탁도가 높아서 여과효율이 97.2% 이상으로 지나치게 높았다. 그러나 침전효율과 여과효율이 골고루 높아야 개별공정 운전에 무리가 없을 것이다.

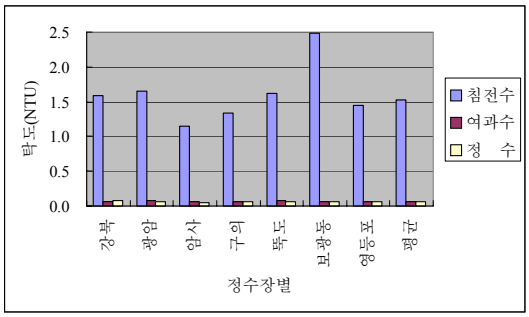

Fig. 17. The turbidity of process water in the 3rd quarter

Table 37. The removal efficiency of turbidity at unit process

구 분		원수탁도	침전효율	침전수탁도	여과효율	여과수탁도	전체효율	정수탁도
강북	Unit 1	41.2	96.2	1.58	95.6	0.07	99.8	0.08
	Unit 2		96.1	1.60	95.6	0.07	99.8	
광암	우면산	35.3	95.3	1.65	95.2	0.08	99.8	0.06
	청담						99.8	0.08
암사	1공장	19.8	93.6	1.26	95.2	0.06	99.7	0.06
	2공장		95.4	0.92	92.4	0.07	99.7	0.05
구의	3공장	17.3	93.5	1.13	93.5	0.07	99.7	0.06
	4공장		91.2	1.53	95.4	0.07	99.6	0.07
뚝도	2공장	32.3	95.1	1.57	95.5	0.07	99.8	0.06
	3공장		95.1	1.57	94.9	0.08	99.8	0.06
	4공장		94.7	1.71	94.7	0.09	99.8	0.06
	보광동	34.8	92.8	2.49	97.2	0.07	99.8	0.06
영등포	1공장	37.7	95.0	1.87	97.3	0.05	99.8	0.06
	2공장		96.4	1.34	93.3	0.09	99.8	0.08
	3공장		97.0	1.13	93.8	0.06	99.8	0.07
	신월	-	-	-	-	-	-	-
공장별 산술평균		31.2	94.8	1.53	95.0	0.07	99.8	0.07

※ Where the units of efficiency and turbidity are % and NTU, respectively.

영등포2공장은 여과효율이 지나치게 낮아 결국 정수탁도가 0.08NTU로 가장 높았다. 표에서 보듯이 영등포3공장은 $KMnO_4$ 소비량이 높은데도 전염소 주입량이 낮고 alkalinity가 낮지 않은데도 NaOH를 많이 주입하였다. 또한 시설용량 300,000m^3 대비 생산량이 250,000~280,000m^3, 가동률이 90% 정도로 특히 침전지를 청소할 때는 탁도를 낮추기가 더욱 곤란한 실정이다.

표에서 보듯이 정수의 잔류염소 농도는 0.78~1.00mg/L로 목표값 이내에서 다소 높게 나타났다. 미생물학적인 안전성을 확보하기 위하여 후염소 처리를 강화했기 때문이다. 또한 침전수의 잔류염소가 높은데도 정수 목표값을 충족시켜서 CT값을 잘 관리하였다.

Table 38. The chemical dosage on the days of investigation(mg/L)

구 분	강북 (17%)	광암 (17%)	암사 (17%)	구의 (PACS)	뚝도 (PACS)	보광동 (PACS)	영등포 (17%)
PAC*l*	13.5	19.0	16.0	15.5	16.0	14.0	23.0
전염소	0.8	1.1	1.7	3.6	3.1	2.9	1.6
후염소	1.0	1.0	0.7	1.1	1.2	0.9	1.0
NaOH	0	0	0	0	0	0	17
$Ca(OH)_2$	0	0	0	0	0	0	0
PAC	3	2	2	5	3	3	3
PA	0	0.3	0.3	0	0	0.3	0.3

※ PAC = powdered activated carbon, PA = polyamine

Table 39. The removal efficiency of $KMnO_4$ consumed at unit process(%)

구 분		원수값	침전효율	침전수값	여과효율	여과수값	전체효율	정수값
강북	Unit 1	4.48	46.9	2.38	29.4	1.68	71.0	1.30
	Unit 2		45.5	2.44	41.8	1.42		
광암	우면산	4.48	49.8	2.25	38.2	1.39	76.8	1.04
	청담						73.9	1.17
암사	1공장	3.72	51.3	1.81	49.2	0.92	75.3	0.92
	2공장		48.1	1.93	46.1	1.04	75.3	0.92
구의	3공장	3.97	52.6	1.88	44.7	1.04	76.8	0.92
	4공장		51.1	1.94	46.4	1.04	73.8	1.04
뚝도	2공장	4.73	53.7	2.19	23.3	1.68	81.6	0.87
	3공장		59.2	1.93	13.0	1.68	82.5	0.83
	4공장		51.2	2.31	27.3	1.68	80.5	0.92
	보광동	4.48	58.3	1.87	17.1	1.55	68.3	1.42
영등포	1공장	5.12	59.8	2.06	18.4	1.68	74.6	1.30
	2공장		57.2	2.19	11.9	1.93	72.3	1.42
	3공장		47.3	2.70	33.0	1.81	77.1	1.17
	신월	-	-	-	-	-	-	-
공장별 산술평균		4.43	52.2	2.02	31.4	1.47	75.7	1.09

※ Where the units of efficiency and $KMnO_4$ consumed are % and mg/L, respectively.

원수의 경우 $KMnO_4$ 소비량은 평균값이 4.43mg/L이고 영등포 취수원수에서 5.12mg/L로 가장 높았다. 침전수의 경우 전체평균이 2.02mg/L였으며 침전효율은 원수값이 높은 뚝도 3공장, 영등포1, 2공장이 57% 이상으로 높게 나타

났고 전체적으로 평균 52.2%가 침전하였다.

정수값은 매우 낮아서 범위 0.92~1.93, 평균 1.47mg/L로서 수질기준 10mg/L의 1/5~1/11 수준으로 우수하였다. 또 전체효율이 가장 높은 곳은 원수값이 높은 뚝도2, 3, 4공장으로서 80% 이상이었다. 보광동의 여과효율이 17.1%로 낮았지만 탁도 여과효율은 반대로 최고 수준(97.2%)이다. 용해성 유기물질이 많기 때문이다. 보광동의 탁도 여과효율이 높은 것은 침전효율(92.8%)이 낮아서 침전수 탁도값(2.49NTU)이 높기 때문인데 여과지의 부하를 줄여야 한다.

강북은 침전효율이 낮은데 전체효율도 낮고 정수 절대값은 높았다. 강북의 침전효율은 탁도의 경우 높지만 $KMnO_4$ 소비량의 경우는 낮아서 다른 경향을 나타내었는데 용해성 유기물질이 많은데다 응집제 주입량도 적었기 때문이다.

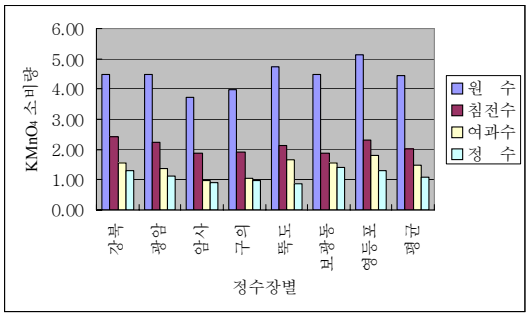

Fig. 18. The $KMnO_4$ consumed of process water

※ In the 3rd quarter, on the arithmetic mean per plant

Table 40. ALT ratio vs. turbidity, $KMnO_4$ consu-med and overall removal efficiency

구 분	강북	광암	암사2	구의3	뚝도3,4	보광동	영등포	신월
원수탁도(NTU)	41.2	35.3	19.8	17.3	32.3	34.8	37.7	-
원수 $KMnO_4$ 소비량(mg/L)	4.48	4.48	3.72	3.97	4.73	4.48	5.12	-
17%환산 PACl 주입량(mg/L)	13.5	19.0	16.0	15.5	16.0	14.0	23.0	-
ALT비(PACl/탁도(mg/L-NTU))	0.33	0.54	0.81	0.90	0.50	0.40	0.61	-
정수탁도(NTU)	0.08	0.07	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	-
탁도 총제거율(%)	99.8	99.8	99.7	99.7	99.8	99.8	99.8	-
정수 $KMnO_4$ 소비량(mg/L)	1.30	1.11	0.92	0.98	0.87	1.42	1.30	-
$KMnO_4$ 소비량 총제거율(%)	71.0	75.4	75.3	75.3	81.5	68.3	74.7	-

※ On the day when we investigated, they dosed 17%PACl at Gangbuk, Gwangam, Amsa, Yondungpo, 17%PACS at Gueui, Tukdo, Bogwandong plant

보광동의 유기물 제거율이 낮은 것은 시설조건이 불충분하기 때문이다. 또 구의에서 ALT비가 높게 나타난 것은 원수탁도가 상대적으로 낮기 때문이다.

여과공정에서는 평균 31.4% 제거하였고 정수의 경우 0.92~1.93mg/L의 범위로 전체 정수장에서 수질기준의 1/5 이하로 양호하였다. 정수까지 전체공정의 처리효율은 평균 75.7%로 나타났다.

THMs의 발생은 대부분 전처리용으로 주입하는 염소와 유기물이 결합하여 발생한다. 정수값은 표와 같이 수질기준의 1/5 이하로 나타났다. 표에서 암사, 구의, 뚝도는 그 값이 비슷하게 나타났다.

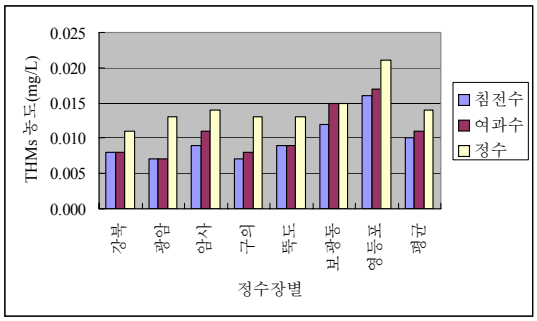

Fig. 19. The THMs concentration of process water

※ In the 3rd quarter, on the arithmetic mean per plant

정수 THMs의 경우 0.011~0.021(평균 0.014)mg/L로써 수질기준의 1/9~1/5 수준으로 매우 양호하였다. 2003년 1/4분기의 0.005~0.015(평균 0.010)mg/L, 2/4분기의 0.008~0.021(평균 0.013)mg/L보다 약간 증가하였고 2002년 3/4분기의 0.016~0.030(평균 0.026)mg/L와 비교하면 상당히 감소하였다. 그것은 조사기간(9월) 동안 비가 자주 내렸기 때문이다.

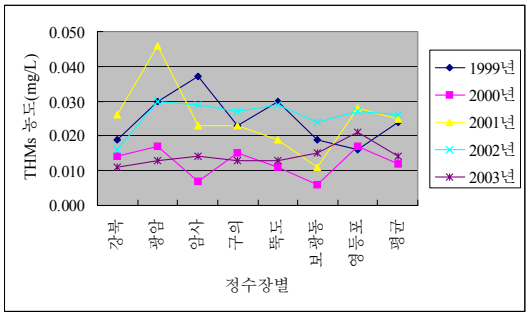

Fig. 20. The yearly THMs concentrations of every plant in the 3rd quarter

Al은 지각에 O와 Si 다음으로, 금속으로서 가장 풍부한 원소로서 물에 거의 녹지 않는다. 자연수에서 침전물을 만들거나 수산화물 또는 탄산

염으로 흡착하여 용해성은 적다. 용해도는 pH, 수온, humus 등의 영향을 많이 받는다. pH가 5.5~6.0이면 용해도가 $3\sim4\times10^{-7}$mol/L로 최소이다. pH가 더 낮아지거나 높아지면 용해성 Al이 증가하고 여과공정으로 제거하지 못한다. 수온이 10, 16, 28℃이면 용해도가 차례로 0.10, 0.16, 0.17mg/L로 증가한다. 한편 산성비나 산성 광산 배출수에 의해 자연수의 용해성 Al 함량이 높아질 수 있다.

응집제로서 Al염을 사용하면 정수 Al 농도가 높아질 수 있고 이때 급수시설에 침적하여 유량이 변할 때 수도꼭지에서 Al 농도가 증가하여 바람직하지 못한 색깔과 탁도를 유발할 수 있다.(WHO, 1996)

Table 41. The Al removal efficiency at the unit process in the 3rd quarter

구 분		원수값	침전효율	침전수값	여과효율	여과수값	전체효율	정수값
강북	Unit 1	0.95	75.8	0.23	82.6	0.04	94.7	0.05
	Unit 2		73.7	0.25	84.0	0.04		
광암	우면산	0.70	81.4	0.13	84.6	0.02	97.1	0.02
	청담						97.1	0.02
암사	1공장	0.47	61.7	0.18	83.3	0.03	95.7	0.02
	2공장		57.4	0.20	85.0	0.03	95.7	0.02
구의	3공장	0.46	60.9	0.18	83.3	0.03	95.7	0.02
	4공장		32.6	0.31	93.5	0.02	95.7	0.02
뚝도	2공장	0.65	70.8	0.19	84.2	0.03	96.9	0.02
	3공장		72.3	0.18	83.3	0.03	96.9	0.02
	4공장		67.7	0.21	90.5	0.02	96.9	0.02
	보광동	0.68	69.1	0.21	85.7	0.03	97.1	0.02
영등포	1공장	0.90	60.0	0.36	72.2	0.10	97.8	0.03
	2공장		62.2	0.34	85.3	0.05	93.3	0.06
	3공장		45.6	0.49	85.7	0.07	92.2	0.07
	신월	-	-	-	-	-	-	-
공장별 산술평균		0.69	63.7	0.25	84.5	0.04	95.9	0.03

※ The units of concentration and efficicency are mg/L and %, respectively.

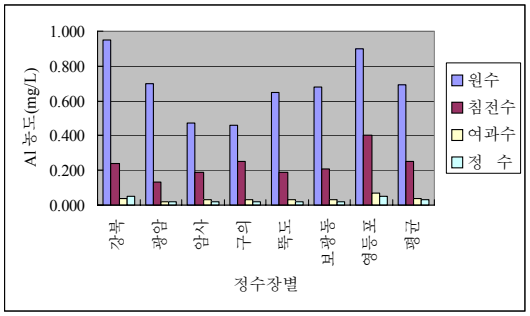

Fig. 21. The Al concentration of process water

※ In the 3rd quarter, on the arithmetic mean per plant

서울시 원수는 대부분 입자성인데 암사 및 구의취수장의 농도가 다른 곳보다 상당히 더 높다. 침전수속 Al 농도는 PAC*l* 주입에 따라 증가하지만 용해성 Al은 거의 증가하지 않는다. 여과수속 총Al 농도는 정수와 큰 차이없이 거의 용해성이다. 따라서 여과공정에서 입자성 Al을 대부분 제거한다. 정수중 Al 농도는 PAC*l* 주입보다는 정수중 탁질의 존재에 의한 것으로 추정하는데, 탁질제거가 Al 함량 감소에 필수적이다. 정수 Al 농도는 원수수질과 침전수 농도(PAC*l* 주입량)에 따라 직접적인 영향을 거의 받지 않아서 PAC*l* 주입량이 증가해도 정수 Al 농도는 거의 일정하다. PAC*l* 주입량이 적정량보다 많아지면 pH가 낮아져 Al 용해도가 감소함으로써 sweep 응집이 증가하고, 잔류 Al 농도는 결국 비슷해진다.(더 높아지지 않는다.) 정수의 탁도가 매우 낮고 정수 Al이 미량이므로 이들 사이의 상관성은 거의 없다.

2003년 3/4분기 원수 Al 농도는 0.46~0.95(평균 0.69)mg/L이고 정수는 0.02~0.05(평균 0.03)mg/L로써 수질기준의 1/4~1/2 수준으로 매우 양호하였다. 침전수 Al 농도는 0.13~0.40(평균 25)mg/L이었다.

침전수속 Al은 급속혼화지에서 응집제를 주입함으로써 증가하며, 정수속 Al의 농도는 원수속 Al과 응집제 주입량보다 여과지 운영여건이 많은 영향을 미친다. 이는 잔류Al 입자의 존재형태와 관련이 있다. 총잔류Al의 90% 이상은 입자성 Al으로 분포하는 경향이 있어서 여과공정에서 이를 대부분 제거하고 일부 용존성 Al은 여과지를 통과하여 정수에서 나온다.

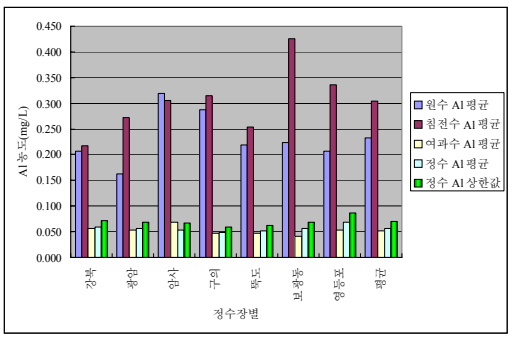

Fig. 22. The average Al concentration during 1998~2002

1998~2002년 연별로 원수 농도의 경향은 일정하지 않았고 정수 농도는 약간 감소하였다. 계절별로 3, 6월에 0.1mg/L 내외로 낮고, 9월에 연별 차례로 0.179, 0.361, 0.487, 0.225, 1.034mg/L로 매우 높았다. 공정별 전체 평균값은 차례로 원수

0.230, 침전수 0.307, 여과수 0.053, 정수 0.056mg/L이었다. 95% 이내로 달성할 수 있는 정수 Al 농도(95% 상한값)는 0.069mg/L이다.

Table 42. The ALT ratio vs. water quality at the unit process in the 2nd quarter of 2003

구 분	ALT비(17%PAC/(mg/L)/탁도(NTU))	Al 농도(mg/L)				THMs 농도(mg/L)		
		원수	침전수	여과수	정수	침전수	여과수	정수
강북	0.33(최소)	0.95	0.24	0.04	0.05	0.008	0.008	0.011
영등포	0.61(중간)	0.90	0.40	0.07	0.05	0.016	0.017	0.021
구의3	0.90(최대)	0.46	0.18	0.03	0.02	0.007	0.008	0.013
구 분	탁도(NTU)				$KMnO_4$ 소비량(mg/L)			
	원수	침전수	여과수	정수	원수	침전수	여과수	정수
강북	41.2	1.59	0.07	0.08	4.48	2.41	1.55	1.30
영등포	37.7	1.45	0.07	0.07	5.12	2.32	1.81	1.30
구의3	17.3	1.13	0.07	0.06	3.97	1.88	1.04	0.92

Al 농도는 정수 및 원수 pH와 약간의 관계가 있었다. 원수 pH는 원수와 정수의 $KMnO_4$ 소비량, 정수 THMs 농도에도 영향을 미친다.

영등포에서는 $KMnO_4$ 소비량을 많이 침전 제거했지만 침전수까지 THMs 농도가 이미 높다. 강북에서는 응집제를 적게 주입하여 $KMnO_4$ 소비량이 적게 감소하므로 그만큼 반응이 일어나지 않았다. 또한 탁도와는 관계가 없었다.

영등포의 공정별 Al 농도는 모두 높았다. 용해성 Al이 많거나 sweep 응집이 잘 안 일어났기 때문이다. 강북에서는 PAC*l* 주입량이 낮아도 Al 농도가 높았고 구의3공장에서는 ALT비가 높아도 정수 Al 농도는 낮았다.

강북은 조사기간 동안 floc이 완전히 단단해지지 않고 퍼져서 침전수 Al이 높은 것 같다. Al 농도는 응집제 주입량, 원수(침전수) pH 및 수온에 따른 용해도, 여과지운영 지속시간, 여과성능 등의 영향을 받는다. 강북에서는 원수탁도 변화가 많은 편이어서 Al 농도가 가끔 높아지는 경우가 있다. 특히 탁도가 높을 때 응집제를 적게 주입하면 pH가 높아서 정수 Al도 많아질 것이다.

Table 43. The THMs and Al concentrations in the 3rd quarter of 2003

구 분	강북	광암	암사	구의	뚝도	보광동	영등포	신월
THMs 농도(공장별 산술평균, mg/L)								
침전수	0.008	0.007	0.009	0.007	0.009	0.012	0.016	-
여과수	0.008	0.007	0.011	0.008	0.009	0.015	0.017	-
정 수	0.011	0.013	0.014	0.013	0.013	0.015	0.021	-
Al 농도(공장별 산술평균, mg/L)								
원 수	0.95	0.70	0.47	0.46	0.65	0.68	0.90	-
침전수	0.24	0.13	0.19	0.25	0.19	0.21	0.40	-
여과수	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.07	-
정 수	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	-

※ The unit = mg/L, on the arithmetic mean per plant

침전수속의 Al 농도가 낮으면 대체로 정수속 Al 농도가 낮은 것으로 보아 Al은 침전수에서 대체로 sweep 응집상태 즉 $Al(OH)_3$ 형태로 흡착하고 있다. 따라서 앞의 표에서 영등포의 침전수 탁도(2.31NTU)가 높았고 입자수(2,764개/mL)도 많았다.

위의 표에서 영등포의 경우 침전수속 Al 농도가 높으면 THMs의 농도가 낮은 것으로 보아 응집이 잘 일어났다. 그러나 $KMnO_4$ 소비량이 많이 낮아지지는 않았다.

투석치매 환자 뇌의 Al 농도는 정상인의 경우보다 140배 정도 더 높다. Al은 뇌조직에 축적하여 신경퇴화질병(근위축성 측색경화증, Parkinson-ism 등)을 일으킨다. 근위축성 측색경화증의 경우 New Guinea, 일본의 Kii에서 매우 많은 Ca, Mg가 존재하여 Al을 포함한 금속의 흡수량이 증가하고 신경세포조직(neuron)에 침적한다. 한편 Alzheimer병은 그 원인이 알려지지 않았는데 점진적인 뇌의 퇴화 및 조로현상, 많은 신경섬유 장애를 일으켜 건망증, 우울증, 폐렴 등을 발생시킨다. 신장병 환자는 투석액 Al 농도가 0.8~1.0mg/L 이상이면 치매가 발병한다. 그러나 발암성의 증거는 없고 신경독성 평가도 불완전했다. Alzheimer병에 관한 임상실험 결과 독성의 증거는 거의 없고(WHO, 1997), 지속적 효과도 없었다.(Camelford, 1988) Al은 Alzheimer병의 진전 요소로 의심받아 왔지만, 연구설계의 결함으로 확실하게 입증하지는 못했다. 한 연구에서 0.085m-g/L 이상에서 정신적 인지 손상의 위험성을 발견했지만 그 증거가 불충분하다.

따라서 WHO의 결론(1997)은 몇가지 역학조사에서 위험성을 발견했으므로 완전히 무시할 수는 없다는 것이다. 그러나 모든 source와 factor를 고려하지는 않았다. 또 0.1mg/L 이하에서는 그 가능성이 낮다.

식품을 통한 성인의 하루 Al 섭취량은 Finland 6.7, 일본 4.5mg/L이다. 유아의 하루 섭취량은 Canada, 영국, 미국에서 0.03~0.07mg(WHO, 1997)이고 성인은 평균 하루 5mg, 정수 농도는 0.1mg/L이므로 먹는물 노출비율은 4% 정도이다. 동물실험에서 위장 흡수율은 1% 이하(사람은 더 적음)로 많이 흡수하면 여러 기관에 분포하고 뼈에 축적하지만 소변으로 상당히 제거할 수 있다. 장기 노출시 역효과는 없었다.

WHO의 먹는물수질기준지침, 미국, EU의 먹는물수질기준은 0.2mg/L를 채택하였다. EPA는 2차 기준(SMCLs)으로 0.05~0.2mg/L를 추천하지만 이를 따를 필요는 없다. 다만 주정부는 이를 강제기준으로 채택할 수 있다.

EPA는 NPDWR을 만들어 MCLs라는 강제규정을 설정하고 NSDWR을 만들어 SMCLs라는 지침

값을 설정했는데, 이것은 인간에 대한 위해성이 아니라 심미적(맛냄새), 미용적(치아나 피부의 탈색), 기술적(장치나 시설에 손상을 주고 다른 오염물질 처리에 지장을 준다.) 견지에서 설정한 것이다. 흐리고 색깔이 있으며 맛냄새가 나쁘면 수돗물이 안전해도 마시지 않을 것이다. 따라서 이러한 자발적 기준을 설정한 것이다.

Kawamura(2000)가 제안하는 최종처리수 Al 농도의 목표값은 0.05mg/L 이하이다. 또 미국과 Europe 여러 나라(EU, Belgium, France, Switzerl-and, Finland, Denmark, 등)의 guide level도 0.05mg/L이다.

Europe의 여러 나라에서 MCLs은 0.2mg/L인데 위생문제 때문이 아니라 심미적인 이유로 설정한 것이다. 유속이 느린 급수시설에서 잔류Al은 Fe, Mn, Si 등과 결합하여 침전물을 형성한다. 이것들은 다시 급수시설의 수리학적 용량을 감소시키고 유속이 빨라질 때 심미적으로 받아들이기 어려운 탁질을 유발한다. Sweden의 0.1mg/L(1990. 1)도 급수시설(관)내 침전을 피하기 위한 기술적 견지에서 설정한 것이다.

현재 잔류 Al 농도에 관한 규제값이 점차 엄격해지고 있으므로 이에 관한 현황을 파악하고 그 대처방안을 모색해야 한다. 잔류 Al은 응집상태, 여과지 운영 및 여과재 상태에 따라서 수처리 효율에 영향을 미치므로 독성 문제는 접어 두더라도 공정별 최적화 평가의 중요한 지표로서 활용할 수 있다.

공정별 처리수의 잔류Al 농도를 check하여 처리 공정의 설비를 개선하면 수질을 향상시킬 수 있을 것이다.

정수 Al 농도를 저감하기 위해서는 정수탁도를 최소화하고 응집과 여과 공정 모두를 최적화해야 한다. 정수탁도는 (특히 입자성 Al이 많을 때) 잔류Al 농도에 비례한다. 입자상 Al이 대부분 탁질과 결합한 상태로 존재하기 때문이다. 물속에서 Al의 화학반응과 거동은 많은 화합물과 경도 때문에 복잡하다. 고체($Al(OH)_3$) 형태의 평형에서 Al의 용해도는 pH와 수온에 크게 의존한다. 혼화·응집공정을 최적화하고 sweep 응집을 강화해야 하므로 응집지에서 pH와 alkalinity를 최적상태로 유지하는 것이 중요하다. 응집제를 적당량 주입하여 응집을 최적화시킬 때 오히려 잔류 Al이 감소한다.

조류발생기, 고탁도(저alkalinity)시 대체응집제(유기고분자 등)의 성능을 비교검토하여 이를 다변화한다. 겨울철 갈수기는 저수온, 조류증식, 고pH에 따라 응집효율이 저하하여 미반응 잔류 Al 농도가 증가한다.

또한 초기 누출탁도를 제어하고 시동방수를 실시한다. 그리고 역세척주기(여과지 사용시간)를 단축한다.

서울시 실험(1995) 결과 정수의 잔류Al 저감 방안은 원수의 pH 조절이 우선이며 최적 응집제 주입량이 필수적이다.

한강의 경우 갈수기에 pH가 9.0까지 올라가서 정수처리가 어렵다. 취수장에서 전염소를 충분히 투입해도 pH가 8.0에 이를 때도 있다. 따라서 어떠한 방법으로든 원수의 pH를 7.0까지 내려서 alkalinity 저하에 따라 PAC*l* 주입량을 줄여야 한다. 특히 원수의 온도와 pH가 높을 때 많이 녹아서 정수 Al 농도가 높아지므로 그 농도를 낮추기 위하여 전염소처리를 강화하고 그래도 부족하면 황산을 투입하여 pH를 제어해야 한다.

현재 우리는 17%PAC*l* 및 PACS를 사용하기 시작했는데 정수장별 여건에 맞는 조견표를 시급하게 작성해야 한다. 역세척수를 원수에 혼합하여 사용하면 원수 Al 농도가 급증하므로 2차 오염방지를 위해 backwash lagoon에서 적절하게 전처리한다.

입자수 분석 결과 정수 mL당 크기가 2㎛ 이상인 입자의 수가 강북, 암사, 구의, 영등포의 경우 100개 미만으로 수질이 매우 양호하였다. 입자수가 137개/mL로 가장 많은 광암은 총제거율이 가장 낮았다.

구의와 뚝도는 정수탁도가 0.06NTU로 동일하지만 입자수는 2배 정도 차이가 나서 0.1NTU 이하의 저탁도에서는 탁도와 입자수 사이의 상관성이 없었다. 따라서 0.1NTU 이하의 저탁도에서는 입자분석을 수질평가 도구로 활용하여 입자수를 저감함으로써 위생적·심미적인 수질을 향상시켜야 한다.

Table 44. The no. and removl efficiency of particles

구 분	강북	광암	암사	구의	뚝도	보광동	영등포	신월
원 수	20,367	18,308	19,767	17,737	19,913	20,450	20,198	-
침전수	2,041	1,483	2,912	3,676	1,951	2,380	2,764	-
여과수	88	127	87	110	180	49	149	-
정 수	79	137	68	62	113	104	82	-
침전효율	1.000	1.092	0.833	0.684	1.009	0.936	0.863	-
여과효율	1.367	1.066	1.523	1.523	1.036	1.678	1.268	-
소독제거율	0.047	-0.033	0.107	0.249	0.202	-0.327	0.260	-
총제거율	2.398	2.155	2.523	2.523	2.222	2.301	2.398	-

※ On the arithmetic mean per plant in the 3rd quarter, unit = #/mL and log removal efficiency.

표에서 광암은 입자수가 공정별로 차례로 18,308, 1,483, 127, 137개/mL로써 침전수값이 매우 낮은데도 상대적으로 여과수값이 높아서 여과지 운영에 문제가 있었다. 뚝도와 영등포에서도 여과수 입자수가 높은 편이어서 여과공정이 불완

전하였다. 강북, 광암, 뚝도는 침전제거효율이 1log 이상으로 높았다. 구의는 입자수 침전효율이 낮지만(원수의 탁도는 낮아도 입자수는 비슷한데도) 침전수 탁도는 상대적으로 낮았다.

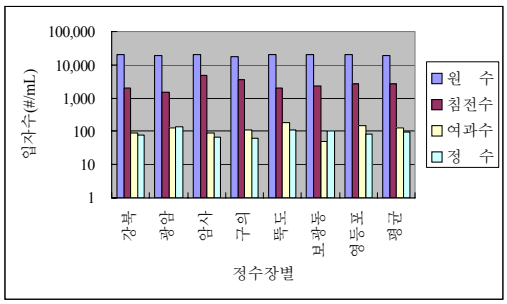

Fig. 23. The particle counts of process water in the 3rd quarter

혼화란 응집약품을 물속에서 신속하고 균일하게 교반시키는 과정이며 이 과정에서 생기는 미세한 입자(floc)들이 서로 결합하여 침전하기 쉬운 큰 입자로 만드는 과정을 응집이라 한다. 약품혼화지는 응집약품과 원수를 혼합하여 colloid 입자의 표면전하를 중화시키는 장소이다.

응집제가 물속에서 가수분해하여 중합반응을 일으키는 속도는 매우 신속하여 불과 수초 이내에 모든 반응이 일어난다. 즉 혼화반응은 응집제 투입후 1초 이내 또는 수초 내에 처리수를 강하게 교반시켜 응집제를 물속에 분산시켜야 한다. 이를 성공적으로 달성하기 위하여 혼화지의 부피는 최대한 축소하고 동력은 크게 하여 G값을 크게 유지한다. G값은 교반을 위하여 투입하는 energy와 유체의 점도와 혼화지 부피 사이의 상호연관성을 나타낸 값으로 energy가 클수록, 유체의 점도와 혼화지 부피가 작을수록 G값이 커진다. G값이 클수록 교반이 강하게 일어난다는 것을 의미한다. 혼화지 내에서 G값의 적정 범위는 연구자마다 다르지만 일반적으로 700~1,000/sec가 받아들여지고 있다. G값의 정의는 아래와 같다.

$$G=\sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

※ P는 물속으로 전달한 교반동력(W), μ는 물의 점성력(cp), V는 혼화지의 부피(m^3)이다.

위의 식에서 보듯이 혼화지의 부피는 작을수록 유리하다. 교반기가 똑같은 교반 energy를 투입한 경우에 혼화지의 부피가 작을수록 교반효과가 크게 나타나기 때문이다. 더욱이 혼화지의 부피가 아무리 작아도 응집제의 화학반응은 1초 이내이며 최대한 수초내에 반응이 끝나기 때문에 화학적 측면에서도 전혀 부족함이 없다. 따라서 혼화지의 크기는 체류시간이 1분 이하이도록 만든다.

급속혼화는 응집을 달성하기 위한 필수적인 과정으로 그 목적은 응집제를 짧은 시간 내에 골고루 확산시키는 것이다.

Alum이나 금속염 응집제를 사용할 때 그 함유물의 가수분해가 1초 이내에 발생하고 colloid 입자에 흡착하는 과정도 거의 순간적으로 일어나므로 응집제의 분산도 1초 이내에 이루어져야 한다. 액체 alum과 물의 비는 1 : 50,000인데 이러한 소량의 alum을 원수에 순간적으로 확산시켜야 한다.

Polymer, 알칼리제, O_3, $KMnO_4$와 같은 약품들은 가수분해반응이 일어나지 않기 때문에 접촉시간 문제는 없다.

Colloid 입자는 표면에 - 전하를 지니고 있어서 서로 가까워지면 정전기력에 의해 반발하여 입자들 사이에 작용하는 인력인 van der Waals force가 충분히 커지기 전에 서로 밀어내 버린다. 그러나 응집제를 투입하여 colloid 주위에 있는 물속의 ion량을 증가시키면 증가한 ion 농도는 colloid의 전하층을 압축한다. 각 입자의 전하층을 충분히 압축시키면 colloid는 서로 더 가까이 접근할 수 있고 입자들 사이 거리의 제곱에 반비례하는 인력인 van der Waals force가 반발력인 정전기력보다 커져서 전체의 영역에 지배적인 영향을 미치고 순힘은 인력으로 변하여 energy 장벽이 없어진다. Colloid 입자는 서로 결합하여 floc을 형성한다. Ion층 압축의 예로는 흐린 하천수가 바다로 흘러 들어갈 때 자연적으로 일어나는 상황이다. 그곳에서 해수의 ion 농도는 크게 증가하고 원래 입자의 크기가 작아서 응집 없이는 침강할 수 없었던 그러한 물질들도 퇴적한다.

입자의 전하는 자유 ion들에 부착하여 전기2중층이라고 부르는 전자 구름을 만든다. 전기2중층을 통한 전압의 감소는 colloid에 대한 중요한 parameter이다. ζ potential이라고 부르는 이 전압의 감소는 colloid의 성질에 의존하여 변한다. 가령 colloid에 염을 첨가하면 전기2중층이 오므라들고 ζ potential을 감소시킨다. ζ potential과 입자의 크기는 colloid가 거동하는 방식의 주요 지표이다. 사실 ζ potential은 colloid 속 입자들의 유효 크기에 영향을 미치고 그래서 ζ potential과 입자의 크기를 동시에 측정하면 입자의 특성을 좀더 정확히 알 수 있다.

ζ potential이란 특정한 매체 속에서 한 입자가 얻어낸 전체 전하이다. ζ potential의 크기는 colloid계의 안정성을 나타낸다. 모든 입자들이 큰 음이나 양의 ζ potential을 가지고 있다면 그

것들은 서로 반발하여 분산상(dispersion)들이 안정해진다.

입자들이 낮은(양이나 음으로) ζ potential을 가지고 있다면 입자들이 서로 모이는 것을 방해하는 힘이 없어서 분산상들이 불안정해진다. 안정 및 불안정한 수용액 사이의 경계선은 대체로 +30이나 -30mV이다. +30mV보다 크거나 -30mV보다 작은 ζ potential을 가진 입자들은 안정하다.

입자 주위 계면 영역의 ion들의 분포는 반대 ion들의 농도를 증가시킨다. 따라서 각 입자 주위에 전기2중층이 존재한다. 입자 주위의 액체층은 두 부분으로서 존재한다. 안쪽 영역(Stern layer)에서는 ion들이 강하게 결합하고 바깥쪽(확산) 영역에서는 입자들이 단일한 개체로서 거동하는 slipping 평면으로서 알려진 상상의 경계이다. 이 경계에서 전위가 ζ potential이다.

흡착과 전하 중화 이론에서는 ion의 양보다 성질이 중요하다. 가령 황산Al이 물속에서 ion화하면 SO_4^{2-}와 Al^{3+}가 생긴다. SO_4^{2-}는 이러한 형태로 남아 있거나 다른 + ion들과 결합한다. Al^{3+}는 물과 즉시 반응하여 여러 가지 형태의 물속 금속 ion들과 H^+를 만든다.

$$
\begin{aligned}
Al^{3+} + H_2O &\rightarrow AlOH^{2+} + H^+ \\
Al^{3+} + 2H_2O &\rightarrow Al(OH)^{2+} + 2H^+ \\
7Al^{3+} + 17H_2O &\rightarrow Al_7(OH)_{17}^{4+} + 17H^+ \\
&\vdots \\
Al^{3+} + 3H_2O &\rightarrow Al(OH)_3 + 3H^+
\end{aligned}
$$

만들어진 물속 금속 ion들은 colloid 주위의 ion군의 일부로 작용하며 그것들은 표면에 대한 친화력이 크기 때문에 colloid 표면에 흡착하여 표면 전하가 중화한다. 일단 표면전하가 중화하면 정전기 전위가 사라져 colloid 입자들 사이에 자유로운 접촉이 일어나 floc이 만들어진다. 그러나 응집제를 과잉 주입하면 전하가 중성을 지나 + 전하로 대전하면서 + ion군이 생겨서 현탁물이 다시 안정화하기도 한다. 이러한 현상을 전하반전(재분산, 재안정화)이라 부르며 응집제가 투입량의 증가에 따라 상징수의 잔류탁도가 감소하다가 다시 증가하는 현상으로 나타난다. 또 이때는 일반적으로 침전지에 하얀 탁질이 떠돈다. 응집제를 많이만 투입한다고 수질이 좋아지지 않는 이유가 여기에 있다.

황산Al의 가수분해에서 생긴 최종 생성물은 수산화Al($Al(OH)_3$)이다. $Al(OH)_3$는 물보다 무거운 무정형이고 아교성인 floc을 형성하며 중력에 의해 침강한다. Floc이 생기면서 colloid는 floc에 접촉하고 표면에 붙어 침강한다. Colloid를 이러한 방법으로 씻어서 제거하는 공정을 sweep 응집이라고 한다.

Al염이 물에 녹으면 큰 분자들이 만들어지기도 한다. 금속염 대신 또는 금속염과 함께 합성 고분자를 쓰기도 한다. 이러한 고분자는 선형 또는 가지형으로 높은 표면 활성도를 가지고 있다. 따라서 여러 개의 고분자 colloid군이 접촉을 이루며 큰 floc을 형성하여 침강한다.

원수 속의 침전하지 않는 물질에는 현탁물질(suspended solids), colloid 입자, 용존물질(dissolved solids)의 3가지 형태가 있다.

SS와 colloid 입자는 명확하게 구분하기 어렵지만 일반적으로 10^{-6}~10^{-9}m 사이의 작은 입자를 colloid라고 구분한다. 미세한 점토(fine silts), 색도 유발물질, virus 등이 colloid 입자에 속한다. 지름이 0.01mm 이상의 현탁물질은 4시간 이내에 침전지 바닥으로 쉽게 가라앉으므로 침전성 물질로 분류하나 0.01mm 이하의 아주 작은 현탁물질은 침전속도가 빠르지 않아 정수처리 측면에서는 비침전성 물질로 분류한다.

현탁물질 및 colloid 입자가 침전하지 않는 주요 이유 중의 하나는 그 크기가 작기 때문이다. 가령 지름이 1mm인 구형의 굵은 모래 입자는 초당 10cm로 침강할 수 있다. 이 1mm 크기의 입자를 0.001mm 크기의 입자로 분쇄했다고 가정해 보자. 분쇄한 작은 입자를 모두 합친 무게는 원래 입자의 무게와 같지만 표면적은 6,000배 증가한다. 표면적이 증가하면 중력침강에 반발하는 마찰저항력이 크게 증가한다. 미세입자의 침강을 증진시키기 위해서는 작은 입자들이 서로 합쳐져 쉽고 빠르게 침강할 수 있는 큰 입자를 만들어야 한다.

물 속에서 색도나 탁도를 유발하는 colloid 입자는 맨눈으로 보이지 않을 정도로 매우 작으므로 침전시간이 길고 표면에 - 전하를 지니고 있다. 그러므로 입자표면 근처에는 + 전하가 몰리고 전하가 집중하면 전기력의 균형이 무너진다. Colloid 입자의 전기적 불균형을 나타내는 변수가 ζ potential이다. DS는 염, 동식물에서 유래한 화학물질, gas상 물질과 같이 물속에 녹아 있는 유기 또는 무기물질을 말한다. 용존물질은 10^{-9}m 이하의 크기를 가지며 맨눈으로는 볼 수 없다. 물속의 대부분의 미량 금속이나 유기화학물질은 녹아 있고 침전하지 못하며 인체에 유해하거나 맛, 냄새, 색도 문제를 일으킨다. 용존물질은 화학·물리적 방법에 의해 응집시켜야만 제거할 수 있다.

물속의 불순물 중 1㎛부터 1nm 정도 크기의 colloid 성분을 그대로 직접 처리하는 일반적인 방법은 없다. 그럼에도 불구하고 정수장에서 제거해야 하는 주요 성분들은 탁도(1㎛ 전후의 크기), 천연 착색성분(1nm의 크기), virus(수십 nm

의 크기), 세균류(1～10㎛의 크기), 조류(1～수십 ㎛의 크기) 등으로서 대부분이 colloid 크기의 영역에 해당한다. 따라서 이것들을 물속으로부터 침전, 여과 작용에 의해 분리하기 위한 응집처리는 일반적인 정수장에서 가장 중요한 공정이다.

물속에 있는 모든 성분은 많고 적음에 차이는 있으나 물분자를 그 표면에 부착시키고 있다. 이러한 현상을 수화라고 한다. 물분자와 친화성이 특히 강한 colloid(단백질과 녹말 등)를 친수성 colloid라 부른다. 친수성이 강한 colloid는 서로 접촉하여 결합하려는 경향보다 물분자와 결합하려는 경향이 강하므로 서로 결합하려고 해도 표면수층에 의해 충분한 결합력을 발휘할 수 없다.

이러한 colloid의 안정상태를 와해시켜 서로 접촉시키고 결집시키는 조작이 응집조작이다. 즉 colloid의 불안정화 조작이다. 이를 위해 colloid 입자와 반대의 전하를 가진 ion 등의 미립자를 처리할 물에 투입한다. 이것을 응집제라고 부르며 첫 번째 역할은 물속에 colloid와 반대의 전하를 가진 입자(ion 등)를 발생시켜 그 전하에 의해서 응집시킬 입자표면의 전하를 중화하는 것이다.

- 전하를 띤 colloid 표면을 응집제에 의해 생기는 + 전하로 중화시킴으로써 colloid는 전기적 반발력을 상실한다. 이후 입자는 Brown 운동이나 수류에 의한 유동으로 서로 접촉할 수 있다. 입자들 사이에는 van der Waals force라는 인력이 작용하고 있으므로 전기적 반발력을 상실한 입자가 서로 접촉하면 이 인력에 의해 결합한다.

응집을 촉진시키기 위해서는 ζ 전위를 0 부근(등전점)으로 만들어야 좋다. 이값이 +나 -로서 크면 입자들 사이의 전기적 반발력이 커진다. 실제로 +10～-10mV의 범위로 전하를 중화하면 van der Waals force에 의해 결합할 수 있다.

그러나 응집과정에서 계속적인 교반을 견디면서 floc이 성장하기 위해서는 van der Waals force에 의한 결합력만으로는 불충분하다. 따라서 입자들 사이의 결합을 보강하기 위한 물질이 필요하다. 이것은 고분자의 성분이 colloid 입자 쌍방에 흡착하여 다리를 놓는 것과 같은 효과에 의해 달성한다. 응집제가 갖추어야 할 제2의 역할이 이러한 가교작용이다. 따라서 응집제는 필요충분한 크기를 가진 polymer이어야 한다. 응집제는 하전중화 기능과 함께 가교작용의 기능을 지니고 있다. 또 이러한 기능이 약할 때는 flocculation 보조제를 사용해서 보충한다. 투입한 보조제가 활성규산과 같은 - colloid인 경우에는 + 하전의 응집제 고분자가 규산에 부착하며 접합용 실과 같이 이들을 강하게 결합시킨다.

약품혼화지에서는 기계적 급속교반 또는 수로중에 설치한 저류판 등에 의하여 약품을 주입하여 전체적으로 될수록 짧고 완전하게 확산시킨다.

혼화지 및 응집지의 G값을 계산하면 유용하게 활용할 수 있다. 속도가변식 응집 및 혼화용 교반기를 설치하여 수온, G값 등을 고려하여 계절에 따라 회전속도를 변화시켜 가동한다.

기계적 혼화지는 유속변화의 영향이 적고 손실수두가 낮다. 전형적인 급속혼화지와 응집지의 체류시간과 G값은 다음과 같다.

Table 45. The G value with the residence time at the mixing and flocclulation basins

혼화지체류시간(sec)	20	30	40	50 이상
G값(sec^{-1})	1,000	900	790	700
응집지체류시간(min)	G(sec^{-1})			
단계	2단계	3단계	4단계	
20～40	제1열 50～60 제2열 20～30	제1열 60～70 제2열 40～50 제3열 20～30	제1열 60～70 제2열 45～55 제3열 30～40 제4열 15～25	

혼화지의 체류시간은 20～60sec가 일반적이며 어떤 혼화지는 10sec 정도로 짧고 2～5분까지 길기도 하고 응집지의 체류시간은 20～30분이 일반적이며 어떤 응집지는 40분 정도로 길다.

혼화지에서 700～1,000/sec 정도의 높은 G값을 얻기 위해서는 상대적으로 높은 혼합력이 필요하다. 하나의 칸막이로 이루어진 혼화지는 일반적으로 사각형이고 깊이는 혼화지 지름이나 폭의 1.0～2.5배이고 tank는 baffle이 있는 것과 없는 것도 있으나 작은 baffle은 소용돌이(와류)와 회전류를 최소화시킨다.

혼화방식에는 외부로부터 기계적 energy를 작용시키는 방식과 수류 자체의 energy에 의하여 물속에서 난류와 와류를 발생시킴으로써 혼화시키는 방식 등이 있다.

후자의 경우에는 수로중에 수평 우류식이나 상하 우류식의 저류판을 설치하여 수류방향을 급변시켜서 난류를 크게 일으키는 방식 또는 관로중에서 난류를 일으키는 방식이 있다. 어느 경우에나 유속이 1.5m/sec 정도 필요하다. 이외에 partial flume이나 도수현상을 이용하는 방식, nozzle 분사류에 의하여 난류를 일으키는 방식 등이 있다.

수류자체에 의한 혼화방식은 기계적 작동부분이 없으므로 고장이 없고 유지관리가 용이하나 설비에 탄력성이 없고 미리 정해진 유량범위 내에서만 적용할 수 있다.(G값을 조절하기 어렵다.) 또 약품혼합의 가장 큰 요점인 응집제를 원수 내에 급속히 확산시키지 못하는 단점이 있다. 혼화를 위하여 필요한 손실수두는 혼화지의 구조에 따라 다르나 약 45～60cm이다.

낙차가 있는 수로에서는 원수의 낙하지점에 약품을 투입하여 떨어진 물이 일으키는 와류와 난류의 자체 energy에 의하여 혼합시키는 방식이

있는데 in-line mixer와 같이 혼합하기 위한 동력이 별도로 필요하지 않다. In-line mixer와 다른 점은 약품투입이 맥류를 이루지 않고 비교적 물속에 균일하게 혼합하며 급격한 확산이 이루어질 수 있다는 점이다. 최근에는 동력비의 절약과 순간혼화의 장점으로 인하여 점차 주목 받고 있다. 그러나 아직 실제 정수장의 운전 경험으로 축적해야 할 자료는 고탁도시, 저수온시의 혼합효과의 검증이다.

기계적 교반(flash mixer)은 안전성, 신뢰성, 효율성, 조작의 융통성이 좋아 가장 일반적인 방식이다. Turbine 및 paddle impeller, propeller 등과 같은 연직축 회전식 혼화장치는 물에서 난류운동을 발생시키며 최적의 G값은 시간에 따라서 변하기 때문에 다양한 속도가변형(speed-drive)이 바람직하다. 수직축의 주위에 붙은 수개의 회전날개가 주변속도 1.5m/sec 이상으로 회전한다. 회전속도를 변화시켜서 G값을 조절할 수 있으므로 유량변화에 잘 적응하지만 기계고장이 많다. 일반적으로 기계교반 방식은 수두손실이 거의 없다.

이밖에도 원수의 일부를 pump로 가압하여 나머지 원수와 충돌시켜 혼화하는 pump 확산방식도 있는데 이것은 물속에 기계작동 부분이 없어 유지관리상 문제가 적지만 일반적으로 flash mixer 방식에 비하여 소요동력이 크다. 또한 양수pump의 impeller를 이용한 교반이나 공기교반 방식 등도 있다.

혼화시간은 원수의 수질에 따라 달라진다. 또 유입부와 유출부의 구조는 단락류가 발생하지 않고 효과적으로 섞일 수 있어야 한다.

기계식 혼화기는 손실수두가 적으므로 일반적으로 급속혼화의 유효한 좋은 방법이라고 생각할 수도 있다. 그렇지만 기존의 많은 연구에 의하면 대부분의 기계식 급속혼화기는 단락류가 발생하거나 유지관리가 어려워서 효율적인 방식이 아니다. 최근의 연구논문에서는 적절한 형태의 저류판(baffling)이 없는 혼화조에서는 기계식 혼화기가 약품주입에 필요한 순간적인 혼합을 할 수 없다고 강조하고 있다. 또 응집효과에 악영향을 미칠 수 있는 back-mixing이 발생하며 고장이 잦고 소음이 발생한다.

최근에는 기계식 급속교반기 대신 수류를 이용한 급속교반 또는 관내에서 in-line mixer를 이용한 교반을 많이 시도하고 있다.

혼화기 설계시 가압수 확산에 의한 혼화는 추가적인 손실수두가 없고 소비전력이 기계식의 절반 이하이므로 제일 먼저 고려해야 한다. In-line 고정식 혼화, pipe 격자에 의한 혼화도 있다. 수류식 혼화는 와류정도가 처리수량에 따르며, G값을 조절할 방법이 없다.

수압이 낮을 경우 in-line static mixer, weir 또는 hydraulic jump와 같은 수리학적 혼화방법을 채택할 수 있다. 어떠한 경우에도 충분히 혼화시키기 위해서 일반적으로 0.6~0.9m의 수두가 필요하다. 그러나 만약 수두를 이용할 수 없을 정도로 빠듯한 수리조건이면 pump에 의한 확산과 같은 특별한 혼화방식을 사용해야 한다. 만약 순간적인 혼화가 꼭 필요하지 않다면 적절하게 설계한 pipe형 diffuser 방식을 선택해도 좋다.

기계식 in-line mixer는 혼화조가 없이 착수정에서 응집지로 이어지는 관내에 응집약품을 주입하되 응집약품 주입지점 직후에 motor에 의한 교반장치가 강제로 응집약품과 원수를 교반하는 것으로 기계식 교반장치와 정치식 in-line mixer의 혼합형이다.

착수정 원수 유입관내에 nozzle을 설치하여 착수정 유입부에서 급속교반하는 방법이 있다. 이 방법은 유입량이 시설용량보다 적을 때는 유속이 적어 G값이 떨어지는 단점이 있다.

미국의 설계기준 Recommended Standards for Water Works는 동북부지방 몇 개 주의 상하수도 기술인 위원회에서 만든 것이다. 급속혼화의 경우 설계자는 사용할 화학약품, 수온, 색도와 기타 수질인자들을 고려하여 선택한 G값을 설계한 근거를 제시해야 한다. 또한 혼화지에는 기계적 교반장치를 사용한다. 체류시간은 30초를 넘지 않아야 한다. 혼화지와 floc 형성지는 되도록 가까이 설치한다.

우리나라의 혼화지는 체류시간이 외국에 비하여 너무 길고 교반속도는 작다. Kawamura는 GT = 300~1,600, T = 1~5sec를, AWWA는 GT = 700~1,000, T = 10~30sec를 추천한다. 혼화지의 체류시간이 커지면 혼화지 자체가 매우 커져야 하며 그 혼화지 전체의 물을 빠르게 교반하려면 동력도 매우 커져야 한다.

혼화지에서 약품이 골고루 섞이도록 하기 위해서 고려해야 할 사항들은 약품의 특성, 교반기의 형태, 약품의 주입위치, 유입부·유출부의 상대적인 위치 등이다. 이와 같은 사항에 따라 혼화지 내의 단락류나 사수부를 나타내는 수리학적 효율과 응집제의 분산속도를 나타내는 화학적인 효율이 달라진다. 실험결과 원수가 하단에서 들어와서 상단으로 나가고 응집제는 물속으로 주입하는 방식이 단락류의 영향이 가장 적다.

1개의 혼화지에서 혼화수를 분배수로를 통하여 여러 floc 형성지로 배분한다. 대부분의 설계자들은 수리학적 균등분배나 적당한 크기의 floccul-ation과 같은 기능적인 측면을 생각하기보다는 구조물 배치상의 편의만을 생각한 관점에서 설계한다. 수로가 너무 길어 중간에서 flocculation이 이루어져 침전하는데 어떤 정수장의 경우 혼화지

에서 가장 멀리 있는 floc 형성지까지 50~100m 나 떨어져 있다. 분배수로가 길면 그 사이에 입자끼리 충돌이 일어나서 floc이 형성, 침전한다. 또한 퇴적 sludge에서 혐기성 분해가 일어나면 gas가 발생하여 퇴적물이 물위로 떠서 scum이 발생하여 미관상의 문제가 발생한다. 분배수로가 일체형으로 이루어져 있어 어느 한 부분에 문제가 발생하더라도 전체 정수장의 가동을 중단해야 하므로 주기적으로 청소할 수 없다.

분배수로를 통과하면서 응집제의 효과가 떨어진다. 혼화 직후에는 입자의 ζ 전위가 0에 가까워진 것이 분배수로를 멀리 통과할수록 점점 -로 떨어져 다시 원수의 값에 비슷하게 떨어져서 응집의 효과가 하단부로 갈수록 점점 줄어들며 가장 멀리 있는 floc 형성지에는 응집제를 적게 주입한 것과 같은 문제가 발생한다.

원수 속의 입자의 ζ 전위는 sampling 후 일정한 시간이 지나도 변하지 않지만 일단 응집제와 접촉한 입자의 ζ 전위는 시간이 지나면서 원수의 값에 가까워진다. SCD는 혼화 후 입자의 전하를 연속적으로 monitoring하여 응집공정의 적정성을 감시한다.

자동 pilot filter는 소형여과지에 혼화수를 통과시켜 그 유출수의 탁도를 감시함으로써 응집의 적정성 여부를 판단한다. 이것은 pump, 여과부, 조절부, 감시부로 이루어진다. 여과지 유출부의 시료는 탁도계와 입자계수기에 의하여 측정, 기록하므로 침전지 유출수의 탁도를 즉시 예견하여 대책을 마련할 수 있다.

급속여과방식의 정수방법에서는 전처리로서 약품 응집이 불가결하다. 원수중에 부유하는 미세입자는 그대로는 쉽게 침전하지 않으며 급속여과에서는 이들 대부분을 여과층이 억류하지 못하고 통과시켜 버리므로 미리 응집제를 사용하여 고액분리가 가능한 상태로 변화시켜야 한다.

응집용약품은 크게 응집제, 알칼리제, 응집보조제로 나눈다. 응집제는 원수중의 현탁물을 floc 형태로 응집시켜 침전지에서 가라앉기 쉽고 여과지에서 포착하기 쉽게 하며 알칼리제는 원수의 alkalinity가 부족할 때 사용하고 응집보조제는 flocculatioin과 침전 및 여과효율을 향상시키기 위하여 응집제와 함께 사용한다. 사용하는 약품은 처리효과를 향상시키는 외에도 주입후의 수질이 외관이나 독성 등의 측면에서도 위생적으로 안전해야 하며 취급하기 쉬워야 한다.

주입장치는 최소부터 최대주입량까지 정밀하게 계량조절하여 안정하게 주입할 수 있는 여유(용량과 대수)가 있어야 한다.

주입설비는 주입량의 정밀도와 내식성 및 내마모성을 고려하여 제어방식과 경제성 등의 조건들을 비교검토하여 결정한다. 약품은 대개 강한 산성이나 알칼리성을 띠고 있으므로 설비를 내식성 구조와 재질로 만들어야 한다.

약품의 주입방식은 응집제의 종류, 원수특성, 처리수량의 변화, 후속처리공정, 비용 등을 종합적으로 고려하여 결정한다. 약품주입장치에는 약품의 성상과 처리수량 등에 따라 습식과 건식이 있어 사용하는 약품의 종류에 따라 적당한 방법을 선택한다. 또 정량주입과 유량비례 주입 등 사용조건에 적합한 방식을 선정해야 한다.

일반적으로 분말은 유동성이 매우 불량하여 건식으로 안정하게 주입하기 어렵다. 습식에서는 orifice를 이용한 자연유하 방식의 정량주입설비나 원심력 또는 plunger pump 등에 의한 pump 방식이나 ejector 방식 등이 있다.

Pump 방식중 용량제어식 pump는 제어할 수는 있지만 주입량이 설정값과 일치하는가를 확인하기 어려우므로 원심력 pump와 조절 valve · 전자유량계의 조합이 더 양호한 방법이다.

건식에는 무게 및 부피계량으로 주입하는 방식이 있는데 약품의 성상과 설비규모 및 기능상의 장단점 등을 고려하여 선택한다.

약액주입 pump에는 고무나 염화vinyl로 lining한 내식성 pump를 사용하고 배관재료도 염화vinyl 관, 고무 lining 강관, 염화vinyl lining 강관 등의 내식성이 큰 것을 사용한다.

원수와 약품의 혼화가 양호하게 이루어지도록 투입지점의 위치를 선정하는 일이 중요하다. 응집제 주입지점별 혼화효율은 impeller 주변과 혼화지 유입관로내가 상단 자연유하식에 비해 우수하고, turbine형이 propeller나 paddle형보다 우수하다.

응집효율을 높히기 위해서는 유입구의 위치를 변경하고 원수를 균일하게 분배하도록 수로를 배치해야 하며 또 G값을 적절하게 조절해야 한다.

강력한 교반력을 갖춘 교반기도 중요하지만 그보다 더 중요한 것은 응집약품을 혼화지의 한쪽 구석에 흘려 넣지 않고 낙차지점, 회전날개의 근접지역이나 유입관의 중심부 등에 주입하여 신속한 교반이 이루어질 수 있는 지점이어야 한다. 특히 미세한 탁질이 많은 원수의 경우에는 입자표면 - 전하의 효과적 중화 여부가 응집에 큰 영향을 미친다. 그러므로 약품혼화지에서는 약품을 원수내에 순식간에 균일하게 확산시키는 것이 무엇보다 중요하다.

응집제는 응집시키려는 colloid의 하전을 중화하는 능력과 colloid 입자를 상호 결합시키는 가교능력을 가진 물질이다.

응집제의 종류는 원수의 양과 질, 탁도, 여과방식 및 배출수 처리방식 등을 고려하여 결정하고 위생적으로 지장이 없어야 한다. 혼화, 응집에 영향을 주는 인자로는 원수의 수온, 탁도, 색도,

pH, alkalinity 및 혼화 및 응집의 강도, 체류시간, 응집제의 종류를 들 수 있으며 수많은 인자가 관여하므로 jar 시험을 실시하여 약품의 적정 주입량을 결정한다. 또 철, Mn, 맛냄새를 제거하기 위하여 전염소나 분말활성탄으로 처리할 때나 응집침전시설의 효율, 침전지와 급속여과지에서 탁질부하 배분, 직접여과법에 의한 처리 등 많은 요소에 따라 달라진다.

정수용 수처리제는 환경부 고시로 지정하거나 또는 국립환경연구원의 자가기준을 얻어서 시·도지사가 허가한다. 응집제는 주로 황산Al, PAC*l* 등의 Al염을 사용한다. 그 외에 외국에서는 황산제1철, 황산제2철, 염화제2철 등의 철염과 여러 가지의 유기고분자 응집제를 사용하기도 한다. 다만 유기고분자응집제는 식품에 첨가할 정도의 안전성을 공인 받은 것이 바람직하다. + ion polymer는 PDADMA(polydiallyl dimethyl ammonium, 합성), chitosan(갑각류에서 얻어지는 자연산) 등이 있다. 유기고분자 응집제 중에서 polyacrylamide계는 건강상의 위해성 논란이 있다. Al도 건강상의 위해도를 고려하여 처리수중의 잔류Al 농도 허용값을 0.2mg/L로 규제하고 있으므로 응집제 투입량을 최적화해야 한다.

Al염은 미립자가 상호 집합하여 커지면서 물속에 있는 유기물, 세균, 무기물, 생물 등까지 끌어들여 floc으로 성장시킨다. 황산Al은 고체와 액체가 있으며 최근에는 취급이 쉬우므로 대부분의 경우 액체가 쓰인다.

금속염과 유기고분자의 차이점은 가수분해반응이다. 금속염은 쉽게 일어나서 일반적인 pH 범위 내에서 hydroxocomplex 즉 $Al(H_2O)_6^{3+}$, $Fe(H_2O)_3^{3+}$, $Al(OH)_2^{+}$, $Fe(OH)_2^{+}$를 1초 이내의 매우 짧은 시간에 만들고 colloid 입자에 흡착하여 전하를 불안정화시킴으로써 가수분해 생성물은 다시 가수분해반응을 통하여 신속하게 polymer로 변환한다.

순간혼화는 1. 가수분해반응과 polymer화는 순식간에 일어나는 반응이며, 2. 응집제의 균일한 공급과 균등한 pH는 가수분해 생성물의 생산에 필수적이고, 3. 가수분해 생성물이 colloid상 입자에 아주 빠르게 흡착하기 때문에 중요하다

유기고분자를 사용하면 polymer는 가수분해가 일어나지 않기 때문에 순간적인 혼화가 반드시 필요하지는 않다. Polymer의 입자가 크기 때문에 colloid에 흡착하는 것도 훨씬 느리다. 따라서 혼화속도는 2~5초이면 적당하다.

일반적으로 2~3개 이상의 약품을 급속혼화지에 주입한다. 가장 널리 쓰이는 약품은 alum, + ion 유기고분자, $KMnO_4$, 염소, PAC, NH_3, NaOH, $Ca(OH)_2$, - 및 비ion polymer이다. 설계자는 이들 각 약품의 특성을 파악하고 기준(순간혼화의 필요성, 약품들이 독자적으로 반응하는 것을 방해할지도 모를 화학반응의 가능성, 최고효율을 나타내기 위한 약품의 주입순서)에 따라 약품들을 2~3개의 group으로 분류해야 한다.

약품주입 순서를 잘 채택하면 약품주입량을 상당히 줄일 수 있고 전체 약품비용을 절약할 수 있으므로 매우 중요하다. 가령, pinpoint floc 생성시 - ion polymer를 주입하면 alum floc의 크기와 무게는 크게 늘어난다. 일반적으로 최적의 floc을 만들기 위해서는 alum 주입 5~10분 후에 - ion polymer를 주입해야 한다.

원수의 alkalinity가 충분하지 않은 경우에는 적절한 약품주입 순서가 더욱 중요하다. 이러한 경우에는 석회나 NaOH와 같은 알칼리제를 alum 주입과 병행하여 주입해야 한다. 가장 합리적인 약품주입순서는 alum을 주입하여 pH를 낮추는 것이다. 이렇게 함으로써 2가와 3가의 Al hydrocomplex를 형성한다. 이 hydrocomplex는 colloid의 전하를 효과적으로 감소시킨다. 다음 단계는 수산화 Al floc을 형성시키기 위하여 최소 Al 용해도가 발생할 범위로 원수의 pH를 조정하는 것이다.

용·폐수처리에서 가장 보편적으로 사용했던 응집제는 황산Al($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$)인데 고상($Al_2O_3$ 16%)과 액상(Al_2O_3 8%)으로 판매한다. Alkalinity가 있는 물에 명반을 첨가하면 다음 반응이 진행한다.

$$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O + 3Ca(HCO_3)_2 \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3CaSO_4 + 6CO_2 + 14H_2O$$

장점으로서는 값싸고, 거의 대부분의 현탁물, 부유물에 대하여 유효하며 또한 취급이 쉽고 철염과 같이 시설의 바닥이나 벽 등을 더럽히지 않는다. 고탁도시나 저수온시 등에는 응집보조제를 병용함으로써 처리효과가 높아진다. 단점은 floc이 가볍고 다른 응집제에 비하여 적정 응집폭이 좁다는 것이다. 또 액체 황산Al은 겨울철에 산화Al의 농도가 높으면 결정이 석출하여 송액관을 막히게 할 수 있으므로 사용농도에 주의해야 한다.

최근 종래의 대표적 응집제인 황산Al을 대신할 수 있는 무기고분자 응집제 PAC*l*이 각광을 받았다. 이것은 다염기성 염화Al으로 일반식이 $[Al_2(OH)_nCl_{6-n}]_m$이며 수용액에서는 수화착ion $[Al(H_2O)_6]^{3+}$를 가지는 배위화합물이므로 OH기를 가교로 하여 다핵착체를 형성한다. PAC*l*은 액체로서 그 액체가 가수분해하므로 일반적으로 황산Al보다 응집성이 우수하고 적정주입의 pH 범위가 넓으며 alkalinity의 저하가 적은 점 등의 특징이 있다. 그러므로 최근에는 처리가 쉬워서 소규모시설과 한랭지 상수도에서도 상시 사용하는 곳

이 많아졌다. 다만 PAC*l*의 산화Al 농도가 10~18%이고 -20℃ 이하에서는 결정이 석출하므로 보온장치를 설치해야 한다.

현재 시판하는 PAC*l*은 순수한 것이 아니고 미리 PAC*l* 용액에 가수분해하지 않는 범위로 중축합촉진제(증가제)로서 황산 ion을 적당량 혼합숙성시킨 것이다. PAC*l*은 고염기성이기 때문에 황산Al에 비하여 처리수에 대한 pH값의 강하가 적으며 alkalinity 소비량도 1/2 이하이다. 순수한 PAC*l*은 매우 안정하며 1년 이상 거의 변질하지 않지만 혼합숙성시킨 PAC*l* ion은 SO_2^-, CrO_4^{2-}, $C_2O_4^{2-}$, PO_4^{3-} 등의 다가 - ion과 반응하여 때로는 난용성의 염기성 다핵착체를 형성하는 특성이 있다. 또 PAC*l*을 황산Al과 혼합 사용하면 침전물이 발생하여 송액관을 막히게 한다. PAC*l*은 물에 용해시키면 가수분해를 촉진하므로 원액을 그대로 사용하는 것이 바람직하다.

경제적인 측면에서는 보면 평상시에는 황산Al(alum)을 사용하고 고탁도시나 저수온시에는 PAC*l*을 사용하는 방법도 좋다.

일반적인 정수장에서는 대부분 Al염을 응집제로 사용하고 있다. Al은 보통 pH 2~3 정도의 강산성 상태로 보존하고 첨가전에는 원액으로 준비한다. 최근에는 일본에서 개발한 중합Al염, 특히 PAC*l*이 세계적으로 쓰여지기 시작했다.

강산성 상태에서의 Al은 3가의 단순한 ion이나 pH 4~5 범위에서 물속의 OH^-와 결합하여 가수분해 및 중합이 이루어지며 다가의 + 전하를 가진 용해성 polymer ion(가령, $Al_8(OH)_{20}^{4+}$)으로 변한다. 이러한 4가의 Al 다가 ion이 중화에 가장 효과적(하전중화력이 최대이다.)으로 작용하는 ion이다. 중성 pH 범위에서는 물속의 OH^- ion과 결합하는 비율이 증가하고, Al이 전기적으로 중성인 $Al(OH)_3$라는 불용화 상태로 바뀌고 pH 8 범위에서는 완전하게 전하를 상실하여 등전점에 도달한다. pH가 더 이상 높아지면 OH^-가 증가해서 $Al(OH)_4^-$ 형태의 - 하전을 띤다. 따라서 pH가 알칼리 범위이면 Al은 - 하전의 중화능력을 상실하고 응집작용을 수행하지 못한다.

PAC*l*은 하전중화 능력이 높은 용해성 중합 Al(대부분 4가)을 미리 가수분해하여 만들어 놓는 것이다. 따라서 alkali와 미리 반응시켜 놓은 것이므로 물에 투입해도 실제적으로 alkalinity를 거의 소비하지 않는다.

pH 4에서는 전하의 중화현상은 있으나 Al이 용해성이므로 가교능력이 없어 양호한 floc을 만들지 못한다.

pH 5~6 부근에서는 Al의 + 전하가 많아 점토 표면의 대부분을 덮는다. 결국 + 전하를 띤 colloid가 상호 반발하여 재안정화한다. 따라서 탁질을 응집하는 경우에는 가교작용을 하는 Al도 충분히 존재하고, 그 하전이 과잉으로 역전하지 않는 중성 부근이 양호한 응집조건이다.

pH 7 부근에서는 하전의 중화와 가교작용이 쉽게 진행하여 양호한 floc이 만들어진다. pH 9 이상에서는 - 하전이 많아 입자는 다시 전기적으로 반발하여 입자의 재안정화가 일어나고 floc이 만들어지지 않는다.

이것과 비교하여 이탄지대의 착색수나 하수중의 유기 colloid와 같은 1nm에도 못미치는 미세한 colloid의 응집은 양상이 다르다.

즉, 이러한 - 전하의 미세 colloid는 점토 직경의 1/1,000 정도 수준이므로 같은 양이라도 표면적은 1,000,000배이다. 따라서 중화해야 할 전기량은 점토에 비해서 대단히 많아 1차적으로 Al의 응집작용중 표면하전의 중화능력이 많이 필요하다.

점토계 성분은 중성 부근이, 색도계 성분은 pH 5 부근이 일반적으로 최적응집 pH 조건이다. 물속에 인과 같은 - ion이 많이 존재하면 OH^- ion과 경합해서 Al의 응집영역이 산성범위로 이동한다. 이러한 경우에는 점토토 pH 6 부근, 때로는 pH 5 부근에서 응집이 진행한다. 반대로 Ca^{2+}나 Mg^{2+} 등의 + 다가 ion이 많이 존재하면 응집점은 alkali 범위로 이동한다.

만약 점토와 색의 2성분이 동시에 존재하는 경우에는 하전중화용의 Al을 대량 소모하는 색의 응집조건이 전체를 지배한다. 우선 색의 미세 colloid가 산성범위에서 응집하여 색 Al floc을 생성하고 이후에 색 Al floc이 점토와 가교작용하여 응집한다. 따라서 색도가 떨어지면 탁도도 낮아진다. 하수성 성분이나 기타 유기 colloid 성분의 제거도 색의 경우와 동일하다고 생각해도 좋다.

활성규산이나 기타 - 하전의 미세 colloid는 극히 낮은 농도의 물속 성분을 응집시키려고 할 때 물속의 - 하전 colloid의 부족분을 보충한다.

그러나 일반적으로 보조제의 대부분은 +, -, 비전하를 불문하고 분자량이 1,000,000 정도 또는 그 이상의 고분자 가교물질로서 floc의 결합강도를 증대하기 위해 쓰이는 경우가 많다.

이것은 원수의 수질에 따라 응집과 침전 및 여과의 효과를 높이는데 적당하고 위생적으로 지장이 없어야 한다. 주입장소는 실험적으로 결정하고 혼화가 잘 일어나는 곳이라야 한다.

강우로 인한 원수 고탁도시, 겨울철 저수온시 또는 처리수량을 증가시키고자 할 때는 응집제만을 사용하거나 알칼리제와 병용하는 방법으로서는 floc이 잘 만들어지지 않고 침전수의 탁도가 상승하여 여과수 탁도가 높아질 때가 있다. 이와 같은 경우에 크고 무거운 floc을 형성시켜서 잘 침전시키고 floc을 단단하게 하여 급속여과지에서 잘 제거하게 한다. 또 철, Mn, 생물의 제거와 분

말활성탄 주입시 등에 침전과 여과효율을 더욱 높여야 할 때가 있으므로 이와 같은 목적을 달성하기 위하여 응집보조제를 사용한다.

이때 응집제로서 황산Al을 사용할 때는 일반적으로 응집보조제가 필요하고 PAC*l*을 사용할 때는 필요 없는 경우가 많다.

응집보조제는 활성규산과 수도용 sodium alginate(알긴산소다)가 쓰이고 있으며 외국에서는 그밖에 여러가지 합성 유기고분자 응집제를 활용하기도 한다. 합성 유기고분자 응집제는 다양한 기본물질로 개발하지만 식품에 첨가할 정도의 안전성을 공인 받은 것이어야 하며 건강상 위해성 논란이 있는 물질은 쓰지 말아야 한다.

활성규산의 작용은 규산 colloid와 응집제에서 발생한 수산화Al 사이의 하전중화이다. 보조제의 기능은 우수하지만 여과지에서 손실수두 상승이 빠르고 활성화 조작에 난점이 있다. 규산을 활성화시키는 데는 황산과 염소 및 탄산gas가 들어간다.

Sodium alginate는 미역과 같은 해초로 만들어지는 천연고분자로서 그 작용은 가교흡착과 ion 교환작용이다. 분말을 그대로 용해하여 사용하므로 편리하지만 순도가 높으면 점성이 커서 용해시키는데 시간이 걸린다.

통상 활성규산은 SiO_2로서 1～5mg/L, sodium alginate는 0.2～2mg/L의 범위로 주입한다.

활성규산은 지나치게 활성화시키면 응고하여 주입장치를 막히게 하므로 SiO_2 기준으로 0.5% 정도 희석한 용액으로 사용해야 한다. Sodium alginate는 1% 이하로 희석하여 사용한다.

주입장소는 jar 시험으로 그 효과를 비교하여 응집제 주입의 전, 후로 결정한다.

전술한 것처럼 Al이나 Fe와 같은 금속염을 응집제로 사용하면 물의 pH에 따라서 응집제의 작용효과가 크게 다르다.

이러한 금속염은 일반적으로 약산이므로 물에 투입하면 처리해야 할 물의 pH가 낮아진다. 필요 이상으로 떨어지면 응집제의 작용능력이 약해지므로 일정 수준으로 유지하기 위해 알칼리제(가성soda, 석회, 중탄산soda 등)를 투입한다. 이러한 약품을 alkali 보조제라고 한다. 일반적으로는 점토와 같은 탁도성분을 중성 pH에서 응집하려고 할 때 이 보조제가 필요하다. 착색수나 하수를 응집할 때는 전술한 바와 같이 약산성의 조건이 적당하기 때문에 alkali 보조제의 필요성이 적다. 때로는 일부러 소량의 산을 사용해서 pH를 저하시켜 처리하는 경우도 있다.

pH 조절제의 종류는 원수의 수질에 따라서 응집효과를 높이는데 적절하고 또 위생적으로 지장이 없어야 한다.

주입률은 원수의 pH, alkalinity 및 응집제의 주입률 등을 참고한다. pH 조절제를 용해 또는 희석하여 사용할 때의 농도는 주입량이 적절하고 취급도 쉽게 한다. 주입량은 처리수량과 주입률에 의하여 산출한다.

주입장소는 응집제 주입장소의 상류측이며 혼화가 잘 일어나는 곳이어야 한다. pH 조절제를 주입하기 위하여 체류시간 1분 정도의 별도의 혼화지를 설치할 수도 있다.

pH 조절제로는 원수의 pH를 높이기 위하여 소석회, soda회, 및 액체 가성soda 등을 쓸 수 있다. 또 상수원 부영양화시, 조류의 번성시 pH가 높아지는 경우에는 응집에 필요한 pH를 적정한 수준으로 낮추기 위하여 황산 등의 산성약품을 쓸 수도 있다. 다만 정수를 목적으로 사용하는 약품은 환경부가 고시하는 제품 또는 국립환경연구원의 자가기준을 얻어서 시·도지사가 허가한 것이어야 한다.

이중 소석회는 경제적이나 분말이므로 취급하기가 곤란하고 완속여과지에 사용하면 여과사가 서로 부착하는 일이 있다.

Soda회는 입상일 때 취급하기 쉽다. 액체 가성soda는 극약이므로 취급에 주의해야 하지만 주입하기는 쉽다. 알칼리제에 대한 품질규격은 공업용에 대해서는 KS규격이 있으나 상수도용에 대한 규격이 없으므로 일본수도협회에서 정한 규격을 많이 따른다.

전염소처리를 할 때는 염소 1mg/L에 대하여 alkalinity는 이론상 1.41mg/L를 소비하나 전염소 주입률이 높을 때는 보정이 필요하다.

소석회와 soda회는 대개 건식으로 주입하나 습식으로 주입할 때는 소석회를 석회유로 하여 10～20%, soda회는 5～10% 정도의 용액으로 만들면 사용하기 편리하다. 액체 가성soda에서 45% 원액은 액체 온도 5～10℃ 이하에서 결정이 석출하므로 저장조 등에서 가열하거나 또는 가성soda 20～25%로 희석하여 저장·사용한다.

pH 조절제는 응집제를 가장 양호한 조건에서 사용할 수 있도록 alkalinity와 pH값을 조정하기 위한 것이므로 일반적으로 응집제 투입지점보다 상류측에서 주입한다. 그러나 응집제 주입후 알칼리제를 주입하는 것이 효과적일 때도 있으므로 jar 시험에 의하여 비교 결정한다.

조사기간 동안 정수사업소의 혼화기 운전현황에 대해 점검하였으며 단계별 입자수를 측정하여 적용하는 G값이 혼화 조건에 알맞는지 검토해 보았다. 조사결과는 아래와 같다.

강북은 jar 시험시 beaker를 1.5L만 채운다. 그 조건은 150rpm 1분, 60rpm 5분, 45rpm 5분, 30rpm 5분, 정치 15분이다.

보광동의 jar 시험 조건은 20℃를 기준으로 100rpm 1분, 60rpm 7분 50초, 40rpm 7분 50초,

25rpm 5분, 정치는 15 또는 20분이다.

영등포에서는 100rpm 1분, 75rpm 2분 30초, 50rpm 2분 30초, 25rpm 2분 30초, 정치 15분이다. 또 영등포는 혼화기 교반속도를 거의 변경하지 않고 25rpm, G값 145/sec로 운영하고 있었다.

영등포의 jar 시험의 응집조건은 다른 곳보다 시간이 짧고(3단 모두 2분 30초), 1, 2단계 속도도 빠르다.(각각 75, 50rpm) 이 조건이 최적인지는 Pipps&Bird사의 자료를 참조하고 현장실험을 통해서 확인해야 한다.

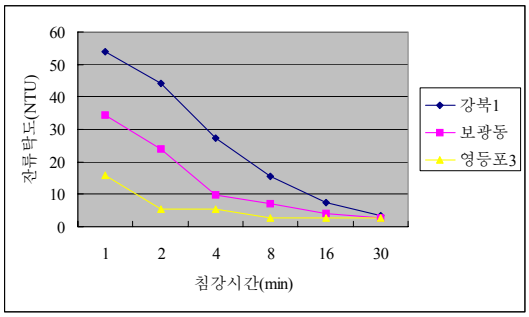

Fig. 24. The settleablility of floc at every plant

대부분 비슷한 경향을 나타내지만 영등포의 응집 1단(1~3.5분)의 침강성이 나쁜 것 같다.

강북은 unit당 수직 turbine형 혼화기가 4대이고 inverter를 갖추고 있다. 2단으로 이루어져 있는 혼화지는 1단에서 넘어오는 미응집분을 밑으로 도류시켜 2단에서 다시 교반함으로써 완전히 혼합시킨다. 혼화시간은 1.01분이다.

Table 46. The quality of process water before and after the mixing basin of Gangbuk plant

구 분	착수정수	혼화지			응집지 유출수
		왼쪽위	가운데	유출수	
탁도	41.5	41.3	42.4	39.4	3.81
입자수	19,786	14,602	12,617	13,635	4,083
Al 농도	0.95(원수)	2.55	2.90	2.24	-

강북에서는 2003. 4. 10 봄철 수온 상승을 맞아서 적정한 혼화기 G값을 조사하였다. 현장 혼화기의 회전속도를 변경하여 G값을 순차적으로 조정하고 5~10분이 지난 후 응집지 유입 수로에서 시료를 채취하고 실험실에서 이 시료를 60rpm 5분, 45rpm 5분, 30rpm 5분간 점감식 방법으로 응집시켰다.

원수는 수온이 10℃ 이상, pH 8.5, 탁도 4.65NTU, alkalinity 45.3mg/L로 안정하였다.

FBI(floc breakup index)는 1-1계열에서는 G값이 250/230, 2-1계열에서는 230/210일 겨우 가장 양호하게 나타났다. 파괴후 탁도는 FBI와 동일한 순위로 상관성이 밀접하였다.

Table 47. The experimental condition for G value of the mixing impeller of Gangbuk plant(on the basis of water temperature 14℃)

단계	G값		회전속도(rpm)		주파수(Hz)	
	전단	후단	전단	후단	전단	후단
I	250	230	29	28	43	40
II	230	210	27	26	40	37
III	210	180	26	24	37	34

Table 48. The experimental results of Gangbuk plant

구 분	단계	G값(sec^{-1}) (전단/후단)	파괴전 탁도	파괴후 탁도	FBI		파괴후 탁도 순위
					수치	순위	
1-1 계열	I	250/230	1.068	3.732	2.85	1	1
	II	230/210	1.130	3.821	3.04	2	2
	III	210/180	1.289	4.154	3.69	3	3
2-1 계열	I	250/230	0.928	3.876	2.74	2	2
	II	230/210	0.774	2.899	1.64	1	1
	III	210/180	1.117	4.206	3.45	3	3

FBI를 계산하여 혼화기 G값별 floc의 기계적 강도도 서로 비교하였다. 응집후 20분간 정치시킨 후 잔류탁도를 측정하고 즉시 250rpm에서 30초간 floc을 파괴한 후 다시 20분간 정치시켜 잔류탁도를 측정하였다.

$$FBI = (\text{파괴후 잔류탁도} - \text{파괴전 잔류탁도}) \times \text{파괴전 잔류탁도}$$

FBI는 이 값이 낮을수록 floc이 단단하여 여러 여건에 의해 floc이 깨어지지 않아 양호한 침전이 이루어질 수 있음을 의미한다.

따라서 FBI 및 파괴후 탁도는 1-1계열의 경우 250/230/sec, 2-1계열의 겨우 230/210/sec에서 가장 양호하게 나타나서 주파수를 44/41Hz에서 40/37Hz로 하향 조정하였다.

강북에서는 혼화공정을 개선하기 위하여 jar 시험 방법이나 기기를 개선하고, FBI 평가방법을 개발하고, 기존의 SCD(PCD)의 활용도 재검토하고 있다. 또 각 계열별, 지별 유량분배 상태도 검토하고 있다. Colloid성 물질과 응집제 사이의 반응상태를 나타내는 SCD는 -3~0mV 범위내에서 운영하고 있다.

암사에서는 혼화공정을 개선하기 위해 현장실험을 실시하여 혼화기의 G값을 검토한 바 있다. 암사에서는 4, 6, 10, 12월에 연4회 조정한다.

2공장은 기계식 2단으로 혼화하고 있다.

1998년 연구소 조사에 의하면 1단보다 2단 그리고 혼화기 G값이 클 때 floc 강도와 침강성이 더 우수하였고 1994년 구의 조사에 따르면 응집제를 착수정 유출부에 주입한 후 교반하는 것이 좋았으나 1994년 선유 보고에 의하면 착수정 유출부 관내에 주입한 후 교반하지 않는 것이 좋은 것으로 나타났다.

따라서 우선적으로 2단 혼화방식으로 혼화지를 운전하는 것이 바람직하다.

2공장 응집제 주입지점은 혼화지 유입관 위에 설치하여 Re 1,000,000(수온 15℃ 이상)이 초과하는 난류영역에서 주입하므로 수류에 의한 혼화 및 확산효과로 경우에 따라서는 교반기에 의한 혼화 및 확산능력보다 우수하다고 추정할 수 있는데 지속적인 검증이 필요하다.

Table 49. The water quality at unit process before and after minxing basin of Amsa plant 2

구 분	착수정수	혼화지			응집지(2-2)
		왼쪽위	가운데	유출수	유출수
탁도(NTU)	32.0	36.8	34.1	32.1	13.6
입자수(#/mL)	19,739	13,364	12,817	13,554	5,109
Al 농도(mg/L)	0.65(원수)	1.94	2.73	2.06	0.46

Table 50. The water quality at several points before and after mixing impeller of Amsa plant 2

구 분	원수	착수정수	조정전			조정후			응집지 유출수
			왼쪽위	가운데	유출수	왼쪽위	가운데	유출수	
탁도	19.8	19.3	18.8	21.0	18.8	27.6	32.0	34.4	9.06
입자수	19,767	21,062	17,153 (2,196)	17,757 (1,283)	15,600 (1,503)	14,084 (4,243)	16,576 (5,446)	16,024 (5,597)	8,670
Al	0.47		0.96	1.00	0.97	2.21	1.06	3.08	

※ Units = NTU, #/mL, mg/L

혼화지 지점별 탁도와 입자수로 보아 상당히 균일한 수질을 나타냈다. 그러나 Al 농도는 충분히 균일하지 않았다.

Table 51. The settling test before and after adjustment of mixing impeller at Amsa plant 2

시간(min)		1	2	4	8	16	30
탁도(NTU)	조정전	30.2	28.7	11.3	5.2	1.7	0.65
	조정후	32.5	29.6	10.2	3.2	1.1	0.55

(1) Adjustment : 25→29rpm, G = 123→154/sec
(2) The size of particles of mixing water is 14.5~40㎛ m(settleable).

암사2공장에서 혼화기 G값 조정실험을 실시하였다. 원수조건은 pH 7.4, 수온 19℃, alkalinity 36mg/L, $KMnO_4$ 소비량 3.72mg/L이다. 또한 장마(잦은 강우) 후기로 탁도가 높고 입자가 미세(표면적이 크다.)하였다.

2공장 혼화지를 조정하기 전과 후를 비교하면 그 결과는 아래와 같다.

Al의 농도는 탁질의 농도에 비례한다. 따라서 Al의 농도가 높아졌으므로 floc이 많이 생겨서 혼화가 잘 일어났다고 볼 수 있다. 이는 탁도 및 입자수 증가로도 확인할 수 있다.

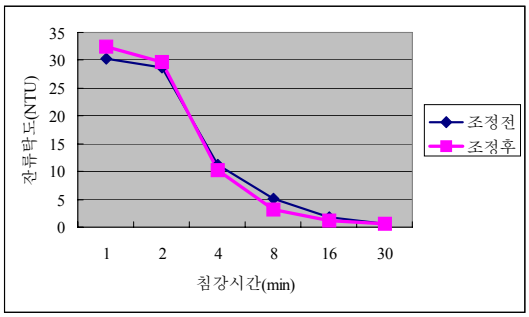

Fig. 25. The settleability before and after mixing impeller of Amsa plant 2

따라서 입자가 미세한 장마후기에는 혼화기 회전속도를 상향 조정하여 정수처리(혼화) 효율을 향상시켜야 한다. 좀더 빠르게 교반하여 응집제와 원수를 신속하게 혼합시킨다. 위의 표에서 보는 바와 같이 Al의 농도는 탁질(입자수)의 농도에 비례하므로 Al의 농도가 증가하여 sweep 응집이 나아졌다. 침강성도 30분후 탁도가 0.1NTU 감소하여 뚜렷하게 우수해졌다.

구의3공장에서 공정별 수질은 아래와 같다.

Table 52. The water quality at unit process before and after mixing basin of Gueui plant 3

구 분	착수정수	혼화지		응집지 유출수
		낙차지점	유출수	
탁도(NTU)	18.3	15.3	17.6	4.3
입자수(#/mL)	19,991	9,888	13,563	6,471
Al 농도(mg/L)	0.46(원수)	4.79	2.22	0.65

혼화지의 낙차지점에서 Al이 많은 것은 응집제의 영향이다. 혼화지 유출수의 탁도와 입자수로 보아 혼화가 충분히 일어난 거 같다.

Table 53. The water quality at unit process before and after adjustment of mixing impeller of Tukdo plant 4

구 분	조정전(3,300rpm)	조정후(3,600rpm)
탁도(NTU)	35.4	34.6
입자수(#/mL)	7,790	12,278

뚝도의 혼화기(water champ)를 조정한 전후의

4공장 혼화수의 수질은 위와 같다.

아래의 그림들에 나타낸 바와 같이 혼화기 G값이 클 때 혼화효율(침강성)이 더 우수하였다.

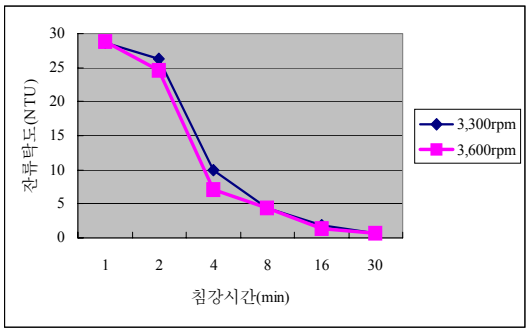

Fig. 26. The settleability before and after adjustment of mixing impeller of Tukdo plant 4

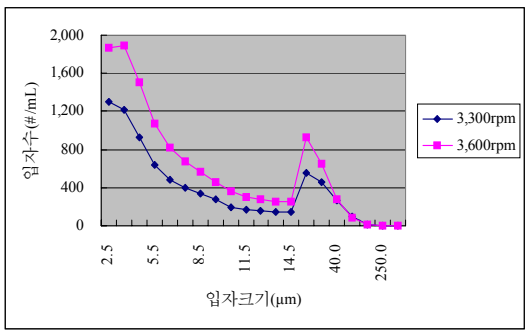

Fig. 27. The particle distribution before and after adjustment of mixing impeller of Tukdo plant 4

Table 54. The water quality at unit process before and after mixing basin of Bogwangdong plant

구 분	착수정수	혼화지	응집지					침전지
		1열	2열	3열	4열	5열	유출수	유입수
탁도(NTU)	29.0	30.5	29.3	31.7	31.9	30.7	28.0	15.7
입자수(#/mL)	19,089	13,938	14,719	15,361	12,203	11,285	11,147	7,985

보광동의 혼화지는 총6지로 6대의 혼화기가 2열 3단으로 이루어져 있고 약품주입 위치는 impeller 가장자리이다. 착수정의 용량이 작아 유량의 부하에 적절히 대처하기 어려우며 많은 유량이 일시에 유입할 때 혼화지의 수위가 상승하여 6지의 상부가 모두 하나로 합쳐져서 단락류 현상이 발생하므로 혼화지 월류를 대비하여 siphon관을 응집지로 by-pass하도록 설치해 놓았다.

혼화수와 응집수의 입자수가 별로 차이가 없어서 응집효율이 나빴다.

영등포3공장에서 공정별 수질은 아래와 같다.

Table 55. The water quality at unit process before and after mixing basin of Yongdungpo plant 3공

구 분	착수정수	혼화지			응집지 유출수
		왼쪽위	가운데	유출수	
탁도	39.1	33.9	30.9	39.2	4.32
입자수	19,225	12,974	20,179	15,724	6,135
Al 농도	0.90	1.94	2.73	2.06	0.46

혼화지내 지점별 수질 즉 탁도와 입자수, Al 농도가 균일하지 않았다.

THMs 저감방안으로 전염소 최적화가 있다. 끊임 없이 변하는 원수의 수질에 대응하는 전염소 요구량을 신속하게 산정하고 전염소 투입을 최적 범위에서 복합비례제어함으로써 잔류염소를 안정적으로 유지할 수 있다. 또한 전염소를 적정하게 투입하여 과량투입을 방지함으로써 THMs 생성을 억제하고 염소 사용량도 절감할 수 있다.

강북에서는 긴급호우, 수문조정 등으로 한강 원수의 수질이 급변하는 경우 최근 설치한 NH_4^+-N 자동측정기 지시값을 기준으로 전염소를 투입함으로써 전염소처리 공정을 좀더 과학적으로 개선하였다.

현재 전염소 주입률은 BP 실험에 의하여 결정하고 필요하다면 원수의 pH, 조류, 활성탄 투입여부 등을 고려하여 가감한다. 그러나 BP실험 소요시간은 30분/회 이상으로 수질 급변시 적기 대응이 곤란하다. 강북에서는 2002년 12월부터 취수장 NH_4^+-N 자동측정기(ion 선택성 전극법)를 설치하여 운영하고 있다.

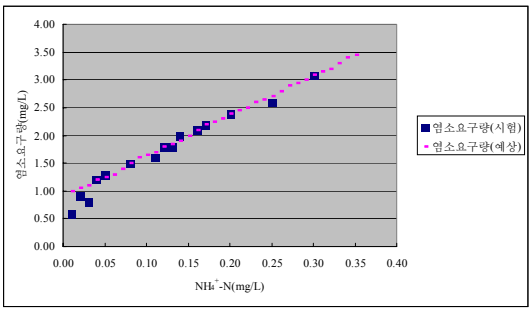

Fig. 28. The Cl amounts required by test and prediction for Gangbuk plant

2002. 12～2003. 5 동안의 NH_4^+-N 실험값과 염소요구량 사이의 상관관계는 그 자동측정값이

Indo-phenol법 측정값과 거의 일치한다.

착수정 잔류염소가 0.07~0.12mg/L 범위를 벗어나면 전염소주입률을 증감시킨다. 급격한 변화는 피하고 20분 간격으로 SV를 0.2mg/L씩 서서히 조정한다.

원수의 NH_4^+-N 자동측정값과 Indo-phenol법에 의한 NH_4^+-N값의 오차에 따라 주기적으로 측정기를 보정하여 이를 최적 상태로 관리한다.

향후 취수장의 전염소 자동주입에 대비하여 전염소 주입률, 착수정 잔류염소, 후염소 주입률, 정수지 잔류염소 등의 자료를 축적해야 한다.

광암은 팔당 물을 사용하므로 $KMnO_4$ 소비량과 THMs 농도가 높은 편은 아니다. 그러나 맥동실의 구조와 경안천 오염의 영향을 받는 것 같다.

여름철 광암의 경우 THMs 발생량은 경안천의 영향이 큰 것으로 추정하고 있다. 경안천의 유입유량은 1%에 불과하지만 왕숙천의 2배이다.

맥동실 운전에 따라서 응집제가 많이 들어가지만 침전수 탁도도 높다. 그래서 $KMnO_4$ 소비량 제거효율이 낮다. PAC 흐름추적 결과 sludge blanket층(바닥부터 1.5m)에서 sludge도 같이 따라 올라와 오염물질과 염소가 계속 반응하여 THMs이 발생하는(적은 편이지만) 것 같다.

구의에서는 국내에서 처음으로 수돗물의 수질을 향상시키고 약품비를 절감하기 위하여 ORP pilot test를 추진하고 있다.

4공장 전염소 투입일보 및 computer에 ORP data를 자동기록하면서 취수장~착수정~침전지~정수~송수 잔류염소 자료와 비교하여 최적범위를 선정한 후 ORP 최적 범위와 전염소 투입설비를 연동시키는 자동운전을 시험하고 있다.

ORP(Oxidation Reduction Potential, 산화환원전위)는 어떤 물질이 전자를 잃거나(산화) 또는 전자를 받으려는(환원) 경향의 강도를 말하는 것으로 ORP 측정값을 mV 단위로 monitoring하여 산화제 요구량(염소요구량)을 알아내어 적정 염소투입에 응용할 수 있다.

미국 정수장의 경우 이 원리를 적용하여 원수유량과 수질변화에 대응한 최적범위 복합비례제어로 잔류염소를 안정화시켜서 THMs 발생량을 25% 감소시키고 염소 사용량을 절감한 사례가 있다.

안정한 전위차를 갖는 표준전극(염화제1수은)과 부반응전극(백금)을 전위차 측정장치에 연결하여 이미 전위차를 알고 있는 표준전극에 대한 시료중의 전위차를 비교 측정하는 것으로 산화제가 강할수록 전자의 흐름은 많아지고 전위차도 커지므로 ORP값이 상승하며 이 ORP값을 기준으로 염소와 같은 산화제의 투입량을 자동제어할 수 있다.

보광동에서는 장마철 pH와 alkalinity가 낮을 때 한시적으로 전염소를 줄이고 중간염소(0.1~1.0mg/L)로 보완하였다. NH_4^+-N 농도가 낮을 때 전염소와 중간염소를 병행처리함으로써 pH를 조절하여 소독부산물과 잔류Al을 감소시키고 장마철 침전수 탁도가 상승할 때 응집·침전 효율을 개선하였다. 또 흙냄새와 THMs가 적어졌다. 중간염소는 특히 남조류가 발생할 때는 반드시 활용해야 한다.

지별로 잔류염소 농도와 pH를 측정한 결과 중간염소를 활용함으로써 후염소가 상당히 감소하고 그 농도 경향이 일정해 졌으며 전염소 feedback이 잘 안 이루어지는 경우 순간적으로 침전지말에서 대처할 수 있었다. 초기강우 NH_4^+-N가 급상승할 때도 전염소로 대처하지 못하는 부분을 처리할 수 있지만 너무 잦거나 많아도 부식문제가 발생할 수 있다.

광암에서는 응집제 투입방법과 위치를 변경하였다. 정수생산량이 감소하고 응집제를 변경하여(11%→17%PAC*l*) 약품주입량이 원수 저탁도시 분당 0.6~0.7L/지 정도로 적어짐으로써 기존 정량pump 사용시 정밀도가 떨어지고, 5개소의 혼화지로 배관 이송시 도달시차가 발생하여 이러한 문제점들을 해소하고자 분배조를 제작·설치하여 투입방법을 개선하고 투입위치를 변경하였다.

당초 PAC*l* 투입설비는 1000,000(시설용량)~500,000(상시 생산량)m^3/일을 기준으로 설계·설치하였으나 2003년 3월 현재 하루 평균 생산량이 350,000m^3으로 감소함으로써 PAC*l* 주입량이 저점대비 약 30% 감소하였고 응집제 투입지점인 혼화지까지 거리가 50(5~6호지)부터 150m(1~2, 9~10호지)까지 서로 다르므로 각각의 손실수두차를 보정하여 투입해야 하는 어려움이 있고 원수탁도가 변할 때는 각 혼화지별 약품투입에 시차를 두어야 하지만 원수의 도달시간이 가까운 혼화지보다 먼 혼화지가 9분 정도 더 걸려서 탁도 변동시 정확한 약품투입이 곤란한 문제점이 있었다.

투입관로상에 전자유량계를 설치하여 실시간으로 정량 투입여부를 검증한 후, pump에 자동 보정시키는 feedback 제어로 정밀도를 개선하였고 투입위치를 혼화지전인 약품실 앞 분배수로상으로 변경하여 시간차 발생 문제를 해소하였다.

응집제 분배조를 당초 2분할 혼화지별 분배에서 통합 10분할 약품실 분배로 각지별 투입량의 편차를 해소하고 분배조 주입량을 조견표에 의한 주입pump inverter 제어방식에서 전자유량계에 의한 주입pump inverter 제어방식으로 변경하여 주입량 미량화에 따르는 정밀도 저하 문제를 해결하였다.

구의4공장 여과지는 자기역류세정 형식으로 역세척 압력이 낮아 여과사 오염이 심해져서 여과사 교체 또는 세척 재투입을 조기 시행한다. 역세척 압력을 향상시키기 위해 시설을 개선하여 여과사 오염을 해소하였다.

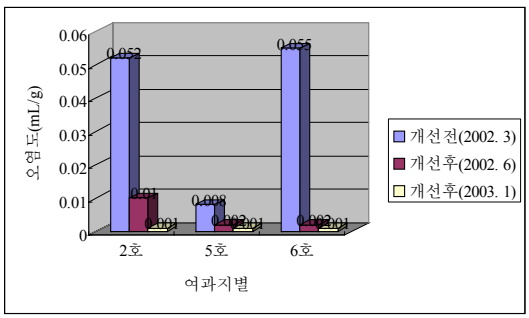

Fig. 29. The sand pollution before and after facilities improvement

여과사 오염도 조사시 격년마다 오염도가 심해져서 세척시간 연장, 여과지속시간 단축 및 여과사 조기 교체 등으로 예산이 많이 들어간다. 연평균 2.3지의 여과사를 교체(1996년 4지, 1998년 6지, 2001년 4지)했는데 2001년 여과사 교체시 오염도 분석 결과 전체지 여과사 교체가 필요하고 편성예산 관계로 오염도가 심한 4지를 선정하여 여과사를 교체하였다. 여과사를 교체하거나 세척한 후 오염도를 분석한 결과 교체와 세척은 동일한 수준임을 확인하였다.

역세척 수압이 낮아서 유출수 weir 높이를 상향 조정했다. 2002. 4. 25 용마배수지 건설관련 단수시 시설을 개량하였다. 여과지에서 정수지 사이 공동수로 월류wier 높이(10→25cm)와 역세척 수압(0.12→0.135kg$_f$/cm^2, 여과개시 수위 1.2→1.35m)을 상향 조정하였다.

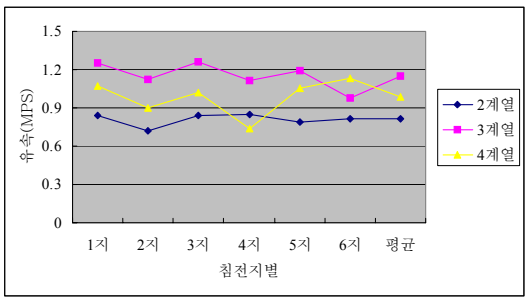

Fig. 30. The average flow rate of the sedimentation outflow before adjustment of water gate of Tukdo plant 2

시설 개선후 오염도가 감소하고 역세척 효율이 증가하여 역세척 시간이 짧아졌다.(15분→12분)

뚝도에서는 침전지 유입량을 균등하게 분배하기 위하여 유입수문을 조정한 후 침전수질 및 유속을 재조사하고 그 향상 정도를 파악하였다.

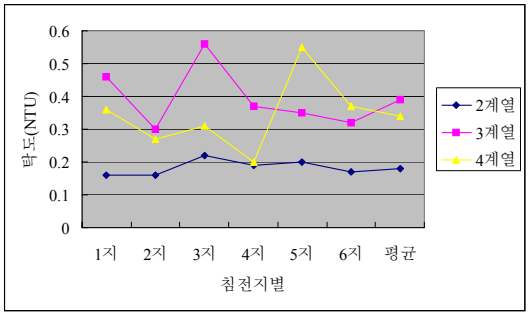

Fig. 31. The average turbidity of the sedimentation outflow before adjustment of water gate of Tukdo plant 2

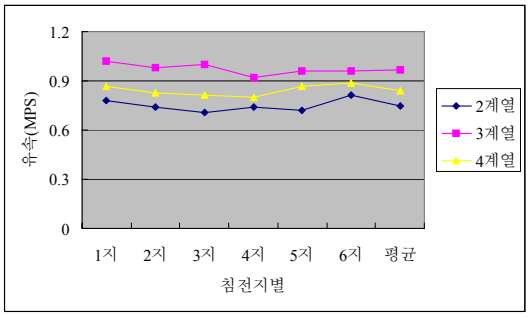

Fig. 32. The average flow rate of the sedimentation outflow after adjustment of water gate of Tukdo plant 2

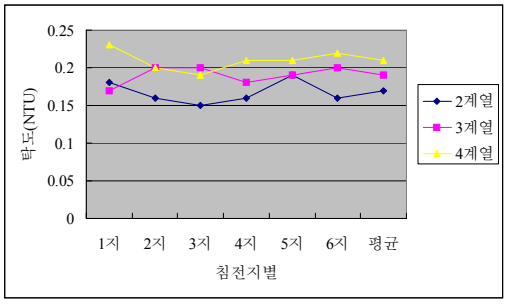

Fig. 33. The average turbidity of the sedimentation outflow after adjustment of water gate of Tukdo plant 2

2공장 2, 3, 4계열의 침전지를 대상으로 2003. 6. 25~26(2일간) 유속과 탁도 및 입자수를 조사

하였다.

조사결과 계열별 침전지 탁도는 균일해졌지만 침전지내 월류weir와 trough의 수평 불균형으로 물의 쏠림 현상이 심하여 trough별 유속은 균일해지지 않았다.

평균 유속은 좌 + 중 + 우 trough 유속/3으로 계산하였다. 침전지 유입수문 중 일부는 낡아서 개폐정도를 알기 어려우므로 %개폐율을 표시하는 gate valve로 교체해야 한다. 침전지 유입수문의 개폐정도를 반복 조정하여 유입량을 균등하게 분배하는 최적개폐율을 찾아야 한다.

4. 4/4분기 공정별 수처리 평가

조사기간은 2003. 11. 25~2003. 12. 4이다.

12월 취수장 원수의 BOD는 1.4mg/L(6개 취수장의 5주 평균)로, 오랫동안 예년(1.8mg/L)보다 낮은 수준을 유지하고 있다.

Table 56. The quality of raw water at the intake station in December

구 분		평균	강북	광암	암사	구의	자양	풍납
BOD (mg/L)	전월	1.3	1.0	1.1	1.2	1.7	1.5	1.4
	예년 12월	1.8	1.5	1.5	1.8	1.9	2.0	1.9
	금년 12월	1.4	1.1	1.1	1.3	1.8	1.7	1.6
조류 개체수 (#/mL)	전월	3,338	2,175	2,925	3,925	3,375	3,875	4,050
	예년 12월	6,354	5,622	4,622	6,139	6,775	7,122	7,467
	금년 12월	6,103	3,880	4,060	5,720	6,500	7,980	8,480

※ The other years = 1993~2002(the average of 10 years)

예년 대비 강수량은 매우 적지만, 상류dam 저수율이 예년 수준을 큰 폭으로 상회하고 있어 하천유하량이 상대적으로 높다.

취수원수의 12월 3일 BOD는 1.3mg/L로 예년보다 낮은 안정한 수준을 유지하고 있지만 조류 개체수(2,550cell/mL) 및 엽록소-a(11mg/m^3)는 점차 증가하고 있다. 규조류의 구성비율(1,981, 77.7%)도 급증하고 있다.

조사기간 동안 원수의 수질은 표와 같다. 탁도는 2.79~4.40NTU로 상당히 낮고 수온은 9~15℃였다. pH는 7.2~7.6, alkalinity는 35~44(평균 38)mg/L였으며 $KMnO_4$ 소비량은 평균 4.56mg/L, Al의 농도는 평균 0.05mg/L였다.

정수탁도는 아래 표들과 그림에서 보듯이 0.05~0.08NTU의 범위로 정수장별로 큰 차이 없이 매우 낮아 조업상태가 안정하였다. 특히 강북2계열, 뚝도3, 4공장은 침전수 탁도값이 각각 0.38, 0.32, 0.37NTU로 상당히 낮고 침전효율도 각각 88.4, 87.3, 88.5%로 매우 높았다.

침전수 탁도는 범위 0.32~0.97, 전체 평균 0.61NTU로 나타났다. 표3-4-6은 정수처리 공정별 탁도 처리효율을 나타낸 것이다. 침전공정까지 처리효율은 침전수 탁도가 가장 낮은 뚝도3공장에서 88.5%로 가장 높았다. 영등포3공장에서는 침전수 탁도가 0.97NTU로 가장 높고 침전효율도 69.8%로 가장 낮았다. 여과효율은 평균 88.0%로 나타났고 정수까지 전체적인 공정의 처리효율은 평균 98.0%로 높게 나타났다.

Table 57. The quality of raw water

구 분	최대	평균	최소	팔당	한 강					
				광암	강북	암사	구의	자양		풍납
								뚝도	보광동	영등포
pH	7.6	7.4	7.2	7.5	7.2	7.2	7.3	7.4	7.4	7.6
수온(℃)	15.0	11.1	9.0	10.2	10.2	9.3	15.0	11.0	9.0	13.0
탁도(NTU)	4.40	3.51	2.79	3.93	3.93	3.34	3.62	2.79	4.40	3.21
Alkalinity (mg/L)	44	38	35	38	38	35	38	35	44	39
$KMnO_4$ 소비량(mg/L)	4.90	4.56	4.00	4.25	4.25	4.00	4.85	4.90	4.85	4.55
Al(mg/L)	0.06	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04
입자수	14,074	12,270	9,817	13,319	11,785	11,348	13,324	12,223	14,074	9,817

※ During the investigation period in the 4th quarter of 2003

Table 58. The overall quality of process water

구 분		팔당	강북	암사	구의	자 양		풍납
		광암				뚝도	보광동	영등포
침전수	pH	7.3	7.2	7.0	7.0	7.1	7.2	7.2
	탁도(NTU)	0.88	0.40	0.72	0.57	0.38	0.73	0.82
	$KMnO_4$ 소비량(mg/L)	3.00	2.27	2.32	2.12	2.22	2.27	1.66
	THMs(mg/L)	0.007	0.004	0.007	0.007	0.007	0.006	0.010
	R-Cl(mg/L)	0.07	0.04	0.48	0.13	0.07	0.04	0.06
	Al(mg/L)	0.21	0.22	0.24	0.20	0.16	0.21	0.31
	입자수(#/mL)	1,293	865	1,872	2,118	1,233	1,865	2,354
여과수	탁도(NTU)	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.05	0.06
	$KMnO_4$ 소비량(mg/L)	1.32	1.29	1.06	1.06	1.67	1.41	1.35
	THMs(mg/L)	0.008	0.004	0.010	0.008	0.008	0.010	0.011
	R-Cl(mg/L)	0.03	0.04	0.33	0.06		0.05	
	Al(mg/L)	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	0.02
	입자수(#/mL)	50	67	63	111	92	32	71
정수	pH	7.1	7.1	7.0	6.9	7.0	7.1	7.0
	탁도(NTU)	0.07	0.06	0.06	0.05	0.07	0.06	0.07
	$KMnO_4$ 소비량(mg/L)	1.30	1.21	1.10	0.99	1.31	1.21	1.03
	THMs(mg/L)	0.011	0.006	0.011	0.010	0.009	0.010	0.011
	R-Cl(mg/L)	0.72	0.81	1.03	0.89	0.83	0.80	0.85
	Al(mg/L)	ND	ND	0.02	0.02	ND	ND	0.04
	입자수(#/mL)	75	39	64	92	64	47	70

※ From 9.18 to 9.30, and on the arithmetic mean per plant

탁도의 총제거율이 모두 낮은 것은 원수의 탁도가 낮았기 때문이다. 영등포3공장은 0.97NTU로 침전수 탁도가 높아서 여과효율이 93.8%로 지나치게 높았다. 또 보광동의 탁도 총제거율이 98.6%로 가장 높은 것은 여과효율이 93.2%로 매우 높기 때문인데 여과지가 부하를 많이 받고 있다. 그러나 침전효율과 여과효율이 골고루 높아야 개별공정 운전에 무리가 없을 것이다.

Table 59. The removal efficiency of turbidity at unit process

구 분		원수탁도	침전효율	침전수탁도	여과효율	여과수탁도	전체효율	정수탁도
강북	Unit 1	3.27	86.9	0.43	86.0	0.06	98.2	0.06
	Unit 2		88.4	0.38	81.6	0.07		
광암	우면산	3.93	77.6	0.88	92.0	0.07	98.2	0.07
	청담						98.2	0.07
암사	1공장	3.34	78.4	0.72	91.7	0.06	98.2	0.06
	2공장		78.7	0.71	91.5	0.06	98.2	0.06
구의	3공장	3.62	87.3	0.46	87.0	0.06	98.3	0.06
	4공장		80.4	0.71	91.5	0.06	98.6	0.05
뚝도	2공장	2.79	83.9	0.45	82.2	0.08	97.1	0.08
	3공장		88.5	0.32	78.1	0.07	97.5	0.07
	4공장		86.7	0.37	81.1	0.07	97.5	0.07
	보광동	4.40	83.4	0.73	93.2	0.05	98.6	0.06
영등포	1공장	3.21	75.7	0.78	92.3	0.06	97.5	0.08
	2공장		80.4	0.63	90.5	0.06	97.8	0.07
	3공장		69.8	0.97	93.8	0.06	97.8	0.07
공장별 산술평균		3.51	81.9	0.61	88.0	0.06	98.0	0.07

※ Where the units of efficiency and turbidity are % and NTU, respectively.

뚝도2공장은 여과효율이 78.1%로 가장 낮지만 침전수 탁도도 0.32NTU로 가장 낮아서 결국 정수탁도는 0.07NTU로 평균값을 나타내었다.

표에서 보듯이 정수의 잔류염소 농도는 0.72~1.03mg/L로 목표값 이내에서 다소 높게 나타났다. 미생물학적인 안전성을 확보하기 위하여 후염소 처리를 강화했기 때문이다. 또한 암사, 구의 등은 침전수의 잔류염소가 높은데도 정수 목표값을 충족시켜서 CT값을 잘 관리하였다.

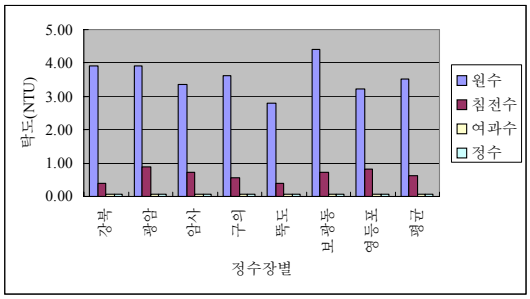

Fig. 34. The turbidity of process water in the 4th quarter

원수의 경우 $KMnO_4$ 소비량은 평균값이 4.56mg/L이고 뚝도 취수원수(자양)에서 4.90mg/L로 가장 높았다. 침전수의 경우 전체평균이 2.18mg/L였으며 침전효율은 침전수값이 낮은 영등포1, 2, 3공장이 62% 이상으로 높게 나타났고 전체적으로 평균 52.3%가 침전하였다. 광암의 침전효율이 29.4%로 가장 낮았는데 원수값은 4.25mg/L로 낮고 침전수값은 3.00mg/L로 가장 높았다.

정수값은 매우 낮아서 범위 0.91~1.39, 평균 1.14mg/L로써 수질기준 10mg/L의 1/7~1/11 수준으로 우수하였다. 또 전체효율이 가장 높은 곳은 정수값이 0.91mg/L로 가장 낮은 구의4공장으로서 81.2% 제거하였다.

영등포3공장은 침전효율이 64.0%로 가장 높고 여과효율이 17.1%로 가장 낮았는데 탁도의 경우는 정반대로 침전효율이 69.8%로 가장 낮고 여과효율은 93.8%로 가장 높았다. 침전 및 여과공정에서는 용해성 유기물질이 많았기 때문이다.

광암은 침전효율(29.4%)이 낮은데 전체효율(69.4%)도 낮고 정수값(1.30mg/L)은 높았다. 암사의 침전효율(42.3%)도 낮은데 ALT비가 2.55mg/L-NTU로 상대적으로 낮았기 때문이다. 뚝도3, 4공장은 ALT비가 3.58mg/L-NTU로 가장 높은데 침전효율도 56.7%로 높은 편이다.

Table 60. The removal efficiency of $KMnO_4$ consumed at unit process

구 분		원수값	침전효율	침전수값	여과효율	여과수값	전체효율	정수값
강북	Unit 1	4.55	50.1	2.27	46.7	1.21	73.4	1.21
	Unit 2		50.1	2.27	40.1	1.36		
광암	우면산	4.25	29.4	3.00	56.0	1.32	67.3	1.39
	청담						71.5	1.21
암사	1공장	4.00	41.3	2.35	54.9	1.06	77.3	0.91
	2공장		43.3	2.27	53.3	1.06	73.5	1.06
구의	3공장	4.85	59.4	1.97	54.3	0.91	78.1	1.06
	4공장		50.1	2.42	50.0	1.21	81.2	0.91
뚝도	2공장	4.90	50.6	2.42	29.8	1.70	72.2	1.36
	3공장		56.7	2.12	22.6	1.64	72.2	1.36
	4공장		56.7	2.12	22.6	1.64	75.3	1.21
	보광동	4.85	53.2	2.27	37.9	1.41	75.1	1.21
영등포	1공장	4.55	64.0	1.64	18.9	1.33	80.0	0.91
	2공장		62.6	1.70	21.6	1.33	78.7	0.97
	3공장		64.0	1.64	17.1	1.36	73.4	1.21
공장별 산술평균		4.56	52.3	2.18	37.6	1.32	74.9	1.14

※ Where the units of efficiency and $KMnO_4$ consumed are % and mg/L, respectively.

보광동의 경우 ALT비는 1.61mg/L-NTU로 매우 낮지만 유기물 제거율(75.3%)이 평균(74.9%)을 웃돌았는데 ALT비가 높아야 반드시 좋은 것은 아니었다.

여과공정에서는 $KMnO_4$ 소비량을 평균 37.6% 제거하였고 정수의 경우 0.91~1.39mg/L의 범위로 전체 정수장에서 수질기준의 1/7 미만으로 양호하였다. 정수까지 전체공정의 처리효율은 평균 74.9%로 나타났다.

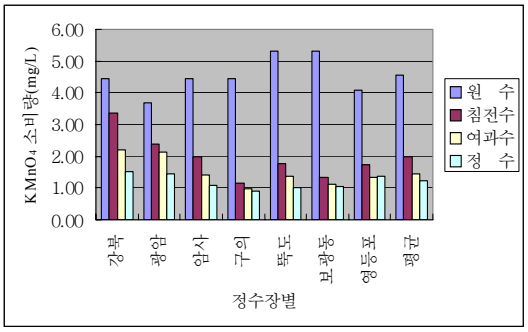

Fig. 35. The $KMnO_4$ consumed of process water in the 4th quarter

Table 61. The chemical dosage on the days of investigation(mg/L)

구 분	강북 (17%)	광암 (17%)	암사 (17%)	구의 (PACS)	뚝도 (PACS)	보광동 (11%)	영등포 (17%)
PAC*l*	9.7	10.0	10.0	10.8	10.0	11.0	12.0
전염소	0.9	1.2	2.1	4.6	4.9	4.3	1.1
후염소	0.8	1.0	1.0	0.8	0.9	0.7	0.9
NaOH	0	0	0	0	0	0	0
$Ca(OH)_2$	0	0	0	0	0	0	0
PAC	3	2	2	2.6	3	3	5
PA	0	0	0	0	0	0	0.3(응집)

※ PAC = powdered activated carbon, PA = polyamine

가장 대표적인 염소계 소독부산물은 THMs과 HAAs이다. 우리나라의 경우 미국이나 Europe에 비해 소독부산물이 적게 발생한다. 그러나 취수장의 DOC가 3mg/L 이상일 때 소독부산물 저감을 위해서 집중 관리해야 한다. 이를 위해서는 강화응집 또는 분말활성탄 투입이 필요하다.

Table 62. ALT ratio vs. turbidity, $KMnO_4$ consu-med and overall removal efficiency

구 분	강북	광암	암사2	구의3	뚝도3,4	보광동	영등포
원수탁도(NTU)	3.27	3.93	3.34	3.62	2.79	4.40	3.21
원수 $KMnO_4$ 소비량(mg/L)	4.55	4.25	4.00	4.85	4.90	4.85	4.55
17% 환산 PAC*l* 주입량(mg/L)	9.7	10.0	10.0	10.8	10.0	7.1	12.0
ALT비(PAC*l*/탁도(mg/L-NTU))	3.00	2.55	2.99	2.98	3.58	1.61	3.74
정수탁도(NTU)	0.06	0.07	0.06	0.06	0.07	0.06	0.07
탁도 총제거율(%)	98.2	98.2	98.2	98.3	97.5	98.6	97.7
정수 $KMnO_4$ 소비량(mg/L)	1.21	1.30	1.06	1.06	1.29	1.21	1.03
$KMnO_4$ 소비량 총제거율(%)	73.4	69.4	73.5	78.1	73.8	75.1	77.4

※ On the day when we investigated, they dosed 17%PAC*l* at Gangbuk, Gwangam, Amsa, Yondungpo, 17%PACS at Gueui, Tukdo, Bogwandong plant

THMs의 발생은 대부분 전처리용으로 주입하는 염소와 유기물이 결합하여 발생한다. 정수값은 위의 표와 같이 수질기준의 1/9 미만으로 나타났다. 표에서 구의, 뚝도는 그 값과 경향이 비슷하게 나타났다.

정수 THMs의 농도는 0.006~0.011(평균 0.010)mg/L로써 수질기준의 1/9~1/17 수준으로 매우 양호하였다. 2003년 1/4분기의 0.005~0.015(평균 0.010)mg/ L와 비슷하였고 2003년 2/4분기의 0.009~0.024(평균 0.015)mg/L, 2003년 3/4분기의 0.011~0.021(평균 0.014)mg/L보다 50% 정도 감소하였다. 그것은 조사기간 동안 수온이 낮았기 때문이다.

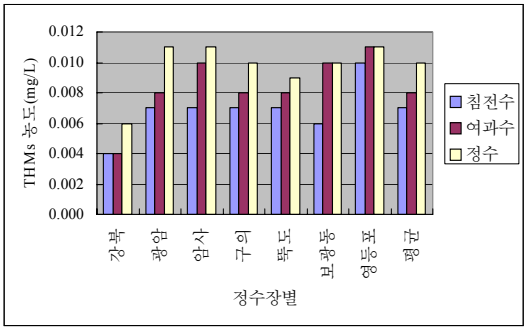

Fig. 36. The THMs concentration of process water

※ In the 4th quarter, on the arithmetic mean per plant

영등포에서는 정수 Al 농도가 0.04mg/L로 가장 높은데 침전수속 Al 농도도 0.31mg/L로 가장 높았다. 용해성 Al이 많거나 sweep 응집이 잘 안 일어났기 때문인데 ALT비도 3.74mg/L-NTU로 가장 높았다.

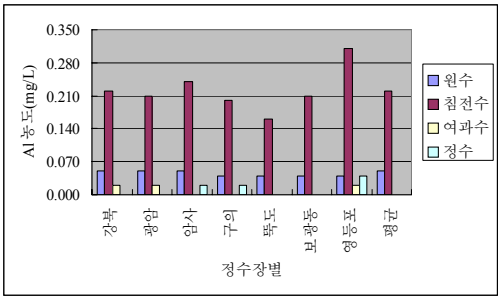

Fig. 37. The Al concentration of process water

※ In the 4th quarter, on the arithmetic mean per plant

한편 역세척수를 원수에 혼합하여 사용하면 원수 Al 농도가 급증하므로 2차 오염방지를 위해 backwash lagoon에서 적절하게 전처리한다.

정수 mL당 크기가 2㎛ 이상인 입자의 수가 모든 정수장에서 100개 미만으로 수질이 매우 양호하였다. 특히 강북과 보광동은 입자수가 39와 47개/mL로 가장 적었다. 입자수가 92개/mL로 가장 많은 구의는 총제거율이 가장 낮았다.

구의에서는 탁도가 0.05NTU이지만 입자수는 92개/mL로 가장 많고 강북은 입자수가 39개/mL로 가장 적었지만 탁도는 0.07NTU로 구의보다 더 높았다. 따라서 0.1NTU 이하의 저탁도에서는 입자분석을 수질평가 도구로 활용하여 입자수를 줄임으로써 위생적·심미적인 수질을 향상시켜야 한다.

강북과 광암은 침전제거효율이 1log 이상으로 높았다. 강북은 침전효율이 가장 높고 여과효율은 가장 낮아서 여과지 부하가 적었는데 원수 조건은 비슷하지만 약품 투입량은 적어서 침전지 체류시간이 수질 향상에 기여한 것으로 여겨진다. 구의는 침전 및 여과효율이 낮고 정수 입자수도 가장 많지만 정수의 탁도는 가장 낮았다. 공정별 pH(침전수 7.0, 정수 6.9)가 가장 낮아서(전염소 과잉) 상대적으로 미세 입자들의 응집이 부진했기 때문인 것 같다.

Table 63. The no. and removl efficiency of particles

구 분	강북	광암	암사	구의	뚝도	보광동	영등포
원 수	11,785	13,319	11,348	13,324	12,223	14,074	9,817
침전수	865	1,293	1,872	2,118	1,233	1,865	2,354
여과수	67	50	63	111	92	32	71
정 수	39	75	64	92	64	47	70
침전효율	1.137	1.013	0.783	0.799	0.996	0.876	0.620
여과효율	1.114	1.409	1.469	1.284	1.125	1.770	1.523
소독제거율	0.235	-0.176	-0.007	0.081	0.157	-0.167	0.006
총제거율	2.523	2.222	2.222	2.155	2.301	2.523	2.155

※ On the arithmetic mean per plant, in the 4th quarter, unit = #/mL and log removal efficiency.

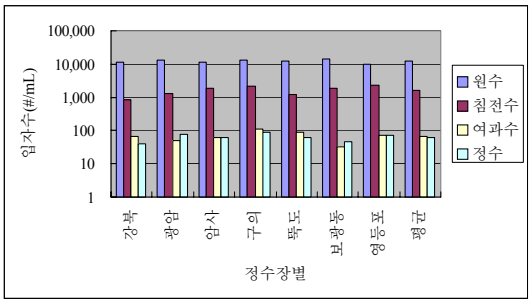

Fig. 38. The particle counts of process water in the 4th quarter

영등포는 침전효율이 0.620log로 가장 낮고, 탁도의 침전효율도 75.3%로 가장 낮았다. 영등포는 원수 입자수는 가장 적지만 침전수 입자수는 가장 많아서 혼화·응집·침전이 불량하였다. 이것은 원수의 pH, 수온과는 무관하여 약품 투입이 부적절했기 때문인 것 같다.

광암과 영등포에서는 응집제를 과다 투입하고 있다. 일단 응집제의 과다 투입 여부는 ζ 전위를 측정해 보아야 정확히 판정할 수 있다. 그러나 원수속에 탁질, 조류, 활성탄(공극 흡착) 등에 의하여 - 전하가 많아지면 응집제가 많이 들어간다.

광암에서는 응집지가 없어서 침전지 내부에서 응집, 침전, sludge 배출을 함께 수행하므로 약품이 조금만 모자라도 응집과 침전이 불량해진다. 또 여과지에 - 대전체(활성탄)가 있으면 탁질이 누출하기도 한다.

결국 광암에서는 맥동식 침전지의 구조적 문제 때문에 약품이 상대적으로 많이 들어가는 것이다. 한편 횡류식은 중화가 잘 안 일어나도 잘 침전할 수 있다.

Table 64. The chemical dosage on the days of investigation in the 3rd quarter(mg/L)

구 분	강북 (17%)	광암 (17%)	암사2 (17%)	구의 (PACS)	뚝도3,4 (PACS)	보광동 (PACS)	영등포3 (17%)
PAC*l*	13.5	19.0	16.0	15.5	16.0	14.0	23.0
전염소	0.8	1.1	1.7	3.6	3.1	2.9	1.6
후염소	1.0	1.0	0.7	1.1	1.2	0.9	1.0
NaOH	0	0	0	0	0	0	17
$Ca(OH)_2$	0	0	0	0	0	0	0
PAC	3	2	2	5	3	3	3
PA	0	0.3	0.3	0	0	0.3	0.3

※ PAC = powdered activated carbon, PA = polyamine

표에 의하면 영등포3공장은 구의, 뚝도, 보광동 취수원수에 비해서 전염소 투입량이 매우 낮았지만 침전수의 pH가 7.2이고 잔류염소도 0.06mg/L로 보통이었다. 침전수의 $KMnO_4$ 소비량도 1.64mg/L로 가장 낮은데 이는 전염소가 원수 유기물질과 충분히 반응하거나 PAC를 상대적으로 많이(5mg/L) 투입했기 때문일 수 있다. 그러나 ALT비가 3.74mg/L-NTU로 가장 높은 것으로 보아 응집보조제로 사용하는 polyamine의 효과는 뚜렷하지 않은 것 같다.

또 전술한 바와 같이 ALT비는 가장 높고 침전수속 Al 농도도 가장 높아서 sweep 응집이 충분히 안 일어났고 입자의 침전효율(0.620log)과 탁도의 침전효율(75.3%)도 가장 낮아 결국 혼화·응집·침전이 모두 불량하였다. 그 이유는 원수의 조건(pH, 수온 등)과는 무관하여 약품투입이 부적절했기 때문인 것 같다.

결국, 보광동에서는 ALT비가 낮아도 응집제 주입량이 적정하였고 영등포에서는 ALT가 높아도

탁도의 제거율이 낮아서 적정 ALT비가 존재하였다. 그리고 전염소 투입량 역시 적정값이 존재하였다.

Table 65. The residence time at water treatment steps at Yongdungpo plant(hr)

구분	공장별	지수	유효규격 (m, B×L×H)	단위용량 (m^3/지)	총용량 (m^3)	체류시간(hr) 시설용량	체류시간(hr) 평시	비고
도수관(풍납~영등포)			2.4×23,313	105,466	105,466	4.2	5.7	
착수정	1공장	4	5.0×30.5×3.5	534	2,136	0.28	0.42	
	2공장	2	5.0×30.5×3.5	534	1,068	0.21	0.36	○ 시설용량 (하루)
	3공장	2	5.3×12.8×5.0	339	678	0.05	0.06	
혼화지	1공장	4	3.3×9.0×3.4	101	404	0.05	0.08	1공장 : 180,000m^3 (여과속도 : 154m/일)
	2공장	2	3.3×9.0×3.4	101	202	0.04	0.06	
	3공장	3	5.4×5.5×5.0	149	447	0.03	0.04	2공장 : 120,000m^3 (여과속도 : 205m/일)
응집지	1공장	4	15.0×14.1×4.0	802	3,208	0.42	0.64	
	2공장	2	13.5×18.0×3.3	802	1,604	0.32	0.54	
	3공장	8	15.0×14.1×4.0	846	6,768	0.54	0.64	3공장 : 300,000m^3 (여과속도 : 136m/일)
침전지	1공장	4	16.0×59.0×4.5	4,248	16,992	2.2	3.3	
	2공장	2	16.0×59.0×4.5	4,248	8,496	1.6	2.9	
	3공장	8	17.3×67.0×5.0	5,796	46,368	3.7	4.4	○ 평상시 (하루)
여과지	1공장	12	8.7×11.2×1.5	146	1,752	0.23	0.35	1공장 : 120,000m^3 (여과속도 : 103m/일)
	2공장	6	8.7×11.2×1.5	146	876	0.17	0.30	
	3공장	16	8.0×17.3×1.5	208	3,328	0.26	0.31	
정수지	1공장	2	24.0×32.0×3.2	2,458	8,546	1.1	1.7	2공장 : 70,000m^3 (여과속도 : 120m/일)
		1	55.0×20.0×3.3	3,630				
	2공장	2	36.0×16.0×3.4	1,958	7,546	1.5	2.5	3공장 : 250,000m^3 (여과속도 : 113m/일)
		1	55.0×20.0×3.3	3,630				
	3공장	1	51.6×51.6×4.95	13,180	25,031	2.0	2.4	※ 여과지 평균 수위 : 1.5m 적용
		1	51.6×51.6×4.95	11,851				
합계	1공장					8.4	12.1	
	2공장					8.0	12.3	
	3공장					10.7	13.5	

표에서 보듯이 영등포3공장은 $KMnO_4$ 소비량이 높은데도 전염소 주입량이 낮고 alkalinity가 낮지 않은데도 NaOH를 많이 주입하였다. 그렇다면 alkalinity를 소비하기 위하여 응집제도 많이 들어갈 것이다. 또한 시설용량 300,000m^3 대비 생산량이 250,000~280,000m^3, 가동률이 90% 정도로 특히 침전지를 청소할 때는 탁도를 낮추기가 더욱 곤란한 실정이다.

또한 영등포의 혼화효율이 나쁜 것은 약품 주입구가 혼화기 날개 옆에 위치하기 때문인데 혼화효율을 높이기 위해서는 impeller 밑, 착수정수 유입구 위 사이의 중간으로 약품주입구의 위치를 변경해야 할 것이다.

약품응집·침전 및 급속여과에 의한 재래식 정수처리공정에서 배출하는 폐수를 처리하는 배출수처리설비는 정수처리 과정에서 배출하는 침전지 sludge 및 여과지 역세척 sludge를 적절하게 처리함으로써 sludge cake(고형물)과 처리수(물)를 분리하며 분리한 처리수는 착수정에 반송하여 재이용하거나 하천에 방류하며, cake은 매립하거나 자원으로 이용한다.

우기 태풍, 집중호우에 의한 원수 고탁도시 정수시설내에 순환·퇴적하는 sludge가 많아지므로 정수처리에 지장을 주지 않도록 계획적인 배출수처리설비를 관리하고 운영해야 한다. 원수의 고탁도를 사전에 예상할 수 있을 때는 생산량을 증가시켜 정수 저류시설의 수위를 되도록 높게 유지하여 고탁도시 취수를 일시적으로 제한하거나 또는 배출수 처리시설의 운전을 강화하여 sludge를 계내에 축적하여 두는 것도 한가지 방법이다.

원수의 탁도가 오랫동안 낮은 경우에는 침전지에 sludge를 퇴적시켜 소량의 sludge를 약품처리하지 않고서 탈수기간을 길게 운영하는 방법도 있다. 설비의 가동빈도가 낮을 때 배출수처리 기기의 점검·정비에 주의해야 한다. 고탁도시 배출수처리 운영상 오랫동안 적치하여 sludge가 부패할 수 있으므로 주의한다.

효율적인 배출수처리 및 이의 설계·운영자료로 이용할 수 있도록 단위공정별 sludge량과 농도를 수시로 측정하여 적절하게 운영·관리해야 한다.

특히 탈수공정에 이송하는 sludge 농도가 낮을 때는 효율이 떨어져 탈수기 관리에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 탈수처리공정에서 처리한 처리수를 원수에 반송할 경우에는 그 양과 질을 되도록 균일하게 유지해야 한다. 그렇지 못할 경우에는 원수에 약품을 주입하는 일이 매우 어려우므로 되도록 원수수질보다 양호하게 처리하여 반송해야 한다.

Sludge의 농축 및 탈수성에 영향을 많이 주는 인자로서 응집제로 주입하는 Al 성분이 있다. 정수장 sludge의 주성분인 수산화Al은 압축성이 큰 수화 floc 그물을 형성하고 있으므로 농축성 및 탈수성이 불량하다. 따라서 응집제 주입량에 따른 sludge 성상의 변화도 파악하여 배출수처리시설을 계획하고 관리해야 한다.

현장청취에 의하면 특히 저탁도 저수온시 농축성이 낮아 고분자 응집제를 사용하고 있으며 이 응집제는 polyacrylamide와 acryl산염의 공중합체를 기초로 한 합성고분자 화합물이다. 고분자 응집제 중에는 + ion계, 중성 및 - ion계 응집제가 있으며 Al floc이 중성 또는 + ion으로 대전하고 있으므로 - ion계 고분자 응집제를 현재 모든 정수장에서 사용하고 있다. 특히 팔당dam 원수를 사용하고 있는 정수장에서 조류 발생시 맛냄새를 제거하기 위하여 분말활성탄을 많이 투입하는 시기에는 - ion으로 대전하는 floc이 많아 - ion계 고분자 응집제는 농축효율이 떨어지고 있는 실정이다. 따라서 + ion계 고분자 응집제를 준비하여 필요할 때 이를 사용하는 것이 바람직하다.

Acrylamide를 함유하는 고분자 응집제는 적합한 규격이 있다. Acrylamide monomer가 0.05% 이하이고, 수은은 1, Cd은 2, Zn는 20mg/L 이하이어야 한다.

또한 배출수처리수의 공공수역 방류 및 탈수 cake 처분은 다음 관련법규에 적합해야 한다.

정수장으로부터 최종적으로 하천에 내보내는 배출수는 수질환경보전법 제8조(배출허용기준) 및 시행규칙 제8조(배출허용기준)에 의한 별표5 오염물질의 배출허용기준을 따른다.

침전지 sludge나 고형 cake의 처분은 수질환경보전법(투기 등 행위의 금지) 조항에 해당하며 sludge나 고형 cake을 해양에 투기하고자 할 때는 해양오염방지법에 관련한 법규를 준수해야 한다.

정수장에서 발생하는 sludge 고형 cake은 사업장 폐기물에 해당하므로 폐기물관리법 제24, 25조에 저촉 받는다. 그러므로 수도사업자는 고형 cake의 발생을 최대한 억제하고 총리령에서 정하는 바에 따라 발생량·처리실적 등을 기록하되, 그 보존기간은 최종 기재한 날로부터 3년이다.

특정폐기물 배출자는 그의 사업장에서 발생하는 특정폐기물을 스스로 처리하거나 제26조 제1항의 규정에 의하여 허가를 받은 자(특정폐기물처리업자), 제44조의 2 규정에 의하여 재활용 목적으로 다른 사람의 특정폐기물을 처리하는 자 또는 제2항의 규정에 의하여 특정폐기물 처리시설을 설치·운영하는 자에게 위탁하여 처리해야 한다.

배출허용기준은 BOD, COD, 부유물질 및 유해물질에 대한 최대 허용한계값을 설정하고 있다. 농축·탈수 효율을 증가시키기 위하여 석회를 첨가하는 경우에는 sludge 건조설비의 scraper 배출수의 COD값이 기준을 어기지 않도록 주의해야 하며 sludge를 농축하기 위하여 유기고분자 응집제를 사용하는 경우에는 배출수 중에 들어있는 acrylamide monomer의 농도에 대해서도 주의해야 한다. 일본의 경우 acrylamide의 농도를 0.01mg/L 이하로 규정하고 있다.

배sludge지는 침전지 sludge 배출수를 일시적으로 저류하여 배출수의 시간적 변화를 조정하고 균일한 농도의 sludge를 후속 처리시설인 농축조에 정량 공급하는 조정시설이다.

일반적으로 정수장 배출수의 성분은 대부분 무기성분이지만 장차 dam이나 하천 등의 오염과 부영양화가 진행할 경우에는 유기성분과 기타의 유해성분이 증가할 수 있으므로 배출수의 성분에 대한 상세한 자료를 축적하여 두는 것이 바람직하다. 유기물과 무기물의 구성비는 증발 잔류물(총고형물량)을 가열하여 잔류하는 양(무기물)과 가열에 의한 감소량(유기성분)을 측정함으로써 알 수 있다.

배출수지에는 여과지 역세척시 여과사가 누출하여 배출수지에 유입하는 경우가 많다. 누출 여과사는 이송pump의 impeller 및 pump casing 내부의 마모, 수위계의 고장 등을 일으킬 수 있다. 그러므로 정기적으로 퇴사량을 검사하여 필요한 경우에는 청소해야 한다. 또한 유실 여과재를 처리하기에 효과적인 별도의 퇴사구역과 sand pump를 운영하여 준설·제거할 수도 있다.

부유물질의 농도와 탁도의 상관관계를 측정하여 놓았다가 평상시에는 쉽게 측정할 수 있는 탁도로써 부유물질의 양을 환산하는 시도가 종종 있다. 이러한 것이 불합리한 것은 아니지만 탁도와 부유물질량과의 상관관계는 믿을 수 없으며 재현성도 떨어지므로 되도록 부유물질량을 직접 측정하는 것이 바람직하다.

농축이 잘 이루어지기 위해서는 배sludge지로부터 sludge의 유입이나 농축조의 상징수 인출이 농축조내의 수류의 흐름을 교란시키거나 단락류를 일으키지 않아야 한다. 만약 농축조내의 흐름이 이상 징후를 보이면 원인을 파악하여 적절한 조치를 강구해야 한다.

농축조의 sludge scraper의 주변속도는 sludge의 재부상을 방지하기 위하여 일반적으로 0.6m/분 이하로 운전한다. 또 scraper에 몇 개의 막대를 세우고 회전시켜 sludge의 가교현상을 파괴하여 농축을 촉진할 수도 있다.

Sludge scraper에는 보통 늘 부하가 많이 걸리고 특히 농도가 높은 sludge가 침적하였거나, 정지후 재가동할 때는 지나친 부하가 걸려서 파손할 수 있다. 그러므로 운전을 정지하는 경우에는 농축조내의 sludge를 배출한 후에 정지하고 과부하 경보장치, 정지장치 등의 안전장비를 설치하는 것이 바람직하다. 재가동후 전동기의 전류값이 이상하면 가동을 정지하고 원인을 조사해야 한다.

농축조 sludge의 농도와 양을 항시 점검해야 하며 sludge 계면을 수시로 측정하여 고형물량을 추정하고 sludge의 유입 및 유출량을 조정해야 한다. 또한 연속식 농축조인 경우에는 sludge의 부상과 월류에 주의하여 유입·유출부하를 조정해야 한다.

농축조는 대부분 옥외에 설치하여 운영하므로 농축조 주변의 vinyl류, 나뭇가지 등 이물질이 유입하여 pump가 고장나거나 관이 막히기도 한다. 이를 방지하기 위하여 농축조에 안전난간을 설치하고 적당한 크기의 그물을 설치하는 것도 좋다.

탈수시설은 탈수기가 주체이나 탈수효율을 향상시키기 위한 전처리시설이지만 전처리 및 탈수처리시 발생하는 상징수나 탈수여액 등을 처리하는 배출설비를 수반하는 경우도 있다. 배출수 처리시설에서 발생하는 농축조 상징액과 탈수시설

의 처리수는 착수정으로 회수하기보다는 하천으로 방류하는 일이 많다. 정수장으로부터 최종적으로 하천에 내보내는 배출수는 수질환경보전법 제8조(배출허용기준) 및 동법 시행규칙 제8조(배출허용기준)에 의한 표, 오염물질의 배출허용기준을 적용하여 이에 적합하지 못하면 별도로 처리한 후 방류해야 한다.

특히 문제가 부유물질인 경우에 별도의 모래여과상을 설치하거나 발생량 및 여타의 조건을 감안하여 하수도로 배출하는 일도 고려할 수 있다.

탈수기의 용량은 연간 sludge 발생량과 운전가능일수 사이의 관계를 고려하여 1일 6시간 이상 운전할 수 있도록 결정하는 것이 바람직하다. 또한 단기적으로 고탁도시의 sludge 발생량을 처리할 수 있어야 하지만 현실적으로 용량이 너무 커져서 곤란할 때는 최대 수요를 감소시키기 위해 sludge 저류조 등의 시설을 함께 고려해야 한다.

여과포는 탈수기의 효율을 결정한다. 여과포의 망목이 세밀하면 처리수의 수질은 좋아지나 폐색이 자주 일어난다. 여과포는 다음의 기준에 따라 신중히 선택한다. 내산・내alkali성, 강도, 내구성이 클 것, 여과속도를 안정하게 할 것,사용중에 팽창・수축이 적을 것, 폐색이 적고 cake을 박리하기 좋을 것, 탈수 여과액의 청정도가 높을 것, 재생이 가능할 것 등이다.

탈수기 등의 기계는 sludge를 다루므로 정수시설의 여타 기계들에 비하면 마모가 빠르므로 점검, 정비 및 수리 등이 많아진다. 따라서 기기를 분해하고 반출입하기 위하여 건물내에 천정 crane, hoist 등을 설치해야 한다.

탈수기 운전시에는 cake 운송장치 가동여부를 확인한 후 탈수기를 시동하고 다음에 농축 sludge를 공급한다.

가압여과기는 belt press와 fliter press가 보편적인데 여과포 사이로 sludge를 투입한 후 roller 또는 여판으로 가압하여 여과포내의 sludge로부터 강제적으로 수분을 짜내는 방식이다. 서울시 정수장에서 사용하는 탈수기는 belt press 형식이며 전처리는 고분자 응집제 탈수방식을 채택하고 있다. 투입 sludge 농도는 8% 전후가 적당하며 sludge 농도가 낮을수록 sludge 함수율이 증가하고, 탈수효율이 떨어지며 3% 이하에 이르면 탈수효율이 지극히 불량해지거나 탈수작업 자체가 불가능해지기도 한다.

Sludge의 탈수방법은 현재에 이르러서는 belt press가 주류를 이루고 있다. Filter press는 30~40%로 탈수효율이 가장 좋지만 시설비, 유지비가 많이 들고 다량의 첨가제가 필요하며 탈수 cake을 수작업으로 제거해야 하는 단점이 있다. Belt press는 탈수효율이 20~30%로 다소 떨어지지만 연속 운전할 수 있을 뿐만 아니라 다량의 sludge를 처리할 수 있고 energy 소모가 적다.

전처리로 개량한 sludge를 belt press에 투입하면 1차적으로 중력으로 탈수가 일어나며 belt의 이동에 따라 roller 사이의 압력으로 탈수가 이루어진다. 압력의 크기는 belt의 연결방법에 따라 변화시킬 수 있으며 진공 흡입력을 더하여 압력을 증대시켜 주는 경우도 있다. Sludge의 성질에 따라 운전결과가 매우 다르기 때문에 전처리가 거의 필수적이다.

가압여과기에 여과포를 사용하는 탈수기는 하루의 작업이 끝난 후에는 여과포의 상태에 따라 사용후의 막힘 현상을 해소하기 위하여 여과포를 산이나 고압수로 세척해 두기도 한다. 가압여과기의 여과포 자동세척용 묽은 염산은 산도가 서서히 떨어지므로 수시로 검사하여 필요한 경우에는 교환한다.

현재 서울시에서는 탈수한 sludge cake을 폐기물 처리업자에 위탁하여 재활용 처분하고 있다. 배출수처리시설에서 발생하는 cake은 “폐기물처리및청소에관한법률”에서 무기성 오니에 해당하고 산업폐기물로서 취급받는다. 또한 탈수설비, 건조시설 및 최종처분에 대해서는 “폐기물처리시설”로서 인허가를 받을 의무가 있다. 또 sludge의 매립처분에 대해서는 “자연환경보전법”, 하수도 방류의 경우는 “하수도법” 등의 규정을 준수해야 한다.

정수장에서 발생하는 cake은 산업폐기물로 분류하지만 발생하는 cake을 농경이용, 택지조성 또는 토지개량 등에 유상매각하여 이용하는 경우에는 산업폐기물에서 제외한다. 유효이용의 방법은 cake의 성상, 탈수전 처리(황산, 석회처리)나 탈수방법(가압, 진공) 등의 배출수처리방식에 따라 크게 다르다. 현재 객토제, 원예용토 등은 어느 정도 실용화하고 있다.

미국의 sludge 배출을 규제하는 법률은 지표수의 수질을 다루는 CWA(Clean Water Act)와 FWPA(Federal Water Pollution Act)로 sludge를 하천에 직접 배출하지 못하도록 제한하고 있다.

EPA는 1994년 “하수sludge의재사용에관한규정(503규정)”을 제정하여 sludge cake을 전답, 정원, golf장, 산림과 공원 등에 살포할 수 있는데 이때 환경과 인체에 피해를 주지 않는 적용기준도 제시하였다.

Sludge cake을 활용하기 위해서 토공・요업・농업 재료 그리고 alum 회수 등의 방안들을 검토하고 있다. 복토제나 객토제로 활용하는데는 별 문제가 없다.

하수 sludge보다 무기물이 상대적으로 많아 매립에 유리한 정수장 sludge를 쓰레기 매립장의 복토재로 활용함으로써 sludge의 처분과 동시에

sludge의 자원화를 달성할 수 있다.

매립지 복토는 악취 발산 방지, 기체상 오염물질 방출의 최소화, 쓰레기의 비산 및 유출 방지, 해충 및 야생동물의 번식 방지, 사람과 직접적인 접촉 방지, 화재 방지 및 경관 향상 등 주변환경 보전상 매우 유리하다. 쓰레기 반입시 차량 진입이 쉽고 쓰레기를 펼치고 다질 때 작업능력이 올라간다. 매립장 상부의 빗물 침투를 저감하여 침출수량을 줄일 수도 있다.

복토를 대량으로 실시하면 쓰레기의 매립용량이 상대적으로 감소하며 통기성이 떨어져서 유기물의 분해속도가 낮아지는 등 매립장에 나쁜 영향을 미칠 수도 있다. 그러므로 복토할 경우에는 복토의 목적과 매립쓰레기의 종류 등을 고려하여 복토방식을 선정하고, 복토지점의 노출 시간 및 기능에 따라 이에 알맞는 복토재를 사용해야 한다.

Cake을 안정화하여 차량과 장비를 진입시키는 노반재나 복토재로 이용하려면 매립작업시 장비의 작업성을 확보할 수 있도록 압축강도 $0.5kg_f/cm^2$ 이상을 권장하고 있다. 따라서 복토재로 활용하기 위해서는 정수장 sludge에 석회나 기타 첨가제 등을 혼합해야 한다. 그러므로 정수장 sludge에 석회를 투입하여 개질처리(modification)하고 압축강도를 증가시켜 재료특성을 개선해야 한다.

또한 정수장 sludge cake은 자연함수비, 소성지수가 일반 점토광물보다 높게 나타난다. 따라서 정수장 sludge cake을 인공배양토로 이용하면 지속적인 가뭄에도 식물의 생장을 지속시켜 주며, 낙석방지용토의 현장시공시 점착력이 우수할 것이다.

농지용 토양개량제로 사용하려면 산성화를 억제해주는 pH 교정효과와 양분보존능력 및 수분흡수력이 있어야 한다. 정수장 sludge cake은 이러한 특성을 모두 지니고 있어서 기존의 농지용 토양개량제인 bentonite(점토광물, 양분 보존용)와 생석회/소석회(pH 교정용)의 용도를 충족시킨다.

재배식물에 알맞는 상토를 공급하면 고급 농산물을 생산하고 재배방법을 간소화시킬뿐 수 있다. 정수장 sludge cake을 부가가치가 매우 높은 못자리용 상토로 활용하면 처분비용을 절감하고 더 나아가 농업생산력을 증대시킬 수 있다.

지나치게 많은 Al은 토양에 축적하고 작물생육에 독성으로서 작용하므로 농경지에 직접 살포할 때는 적정량 이상 사용하지 말고 토양별, 작물별로 좀더 장기적인 한계사용량에 대한 검토가 필요하다.

부산물비료 조성물에 수분흡수력이 높은 정수장 sludge cake을 톱밥 대신 수분조절제로 사용함으로써 톱밥내의 lignin에 의한 식물독성을 방지하고, 원료비를 절감할 수 있으며, 유효규산 및 무기양분을 증가시킴으로써 내병성을 증대시키고 무기양분 결핍을 해소해 주며, 완충능력을 갖고 있어서 토양의 산도교정에 중요한 역할을 하며 입단화에 의해 부산물비료의 유실을 방지하고 취급성을 향상시킬 수 있다. 또한 정수장 sludge cake은 다른 부산물에 비해 유효 규산함량이 높아 화본과 식물에 효과적일 것으로 기대한다.

정수장 sludge cake에서 부족한 부분을 부재료로 보충해 준다면 충분히 퇴비화가 가능할 것 같다. 퇴비화는 부재료의 구입과 수분함량의 조절에 많은 비용이 들어가므로 건조공정과 저렴한 부재료 개발에 대한 연구검토가 필요하다.

한편 건조 cake의 구성성분은 SiO_2 35～50%, Al_2O_3 20～30%, 강열감량 15～30%, 산화제2철(Fe_2O_3) 4～5% 그밖에 미량금속 K, Mg, Na, Ca, Ti, S, P 등으로 지각의 구성성분과 매우 비슷하다. 강열감량은 유기물, 탄소, 화학적 결합수 등으로 이루어져 있고 200～400℃ 사이(sludge cake 입자 사이의 간극수가 증발)에서 급격하게 감량하고 500℃에서 90%, 600～800℃에서 거의 전량 감량한다.

정수장 sludge cake은 단열벽돌재료와 경량골재로 이용할 수 있다. Al_2O_3와 SiO_2 성분의 비는 sludge cake의 소결성 및 내화도를 지배할 것이다. 일반적으로 SiO_2보다 녹는점이 높은 Al_2O_3 성분의 분율이 증가하면 소결성은 나빠지지만 내화도는 높아진다. 따라서 Al_2O_3 성분이 많은 것은 내화도를 요구하는 단열벽돌재료로, SiO_2 성분이 많은 것은 단단한 물질을 만들 수 있으므로 내화도를 요구하지 않은 경량골재로 사용하는 것이 바람직하다.

Cake의 내부에 존재하는 미세한 조류 등의 유기물은 기공형성제로서 톱밥의 역할을 대신할 뿐만 아니라 기공의 크기도 아주 미세하게 만들므로 제품의 단열성이나 강도 등의 특성 및 경량골재의 경량화에 유리할 것이다. 또, cake의 입자 미세하므로 cake은 건조과정에서 입자들끼리 응집해 있기는 하지만 간단한 분쇄공정에 의하여 쉽게 입도를 조절할 수 있다.

그러나 폐기물을 재활용한 건설재료에 대한 인식이 부족하고 기존 점토벽돌재료를 쉽게 확보할 수 있으므로 기존제품에 비해 시장 경쟁력은 없다.

Cement는 철광석, 점토, 규석 및 석회석을 1,500℃ 정도의 고온에서 소성하여 제조한다. 원료중 점토의 대체물질로 정수장 sludge cake을 활용할 수 있으며 실제로 정수장 cake을 cement 원료로 이용한 사례가 있다.

정수장 sludge cake에는 cement 원료성분인 규소, alumina가 80% 이상 들어 있다. 즉 정수장

sludge cake 내의 무기물질은 cement 원료의 점토성분과 비슷하여 cement의 품질에 영향이 거의 없다.

그러나 cement 원료로 사용하기 위해서는 함수율을 낮춰야 한다. 함수율이 높으면 cement 소성로에서 연료사용 비율이 높아지며 운송비 부담도 증가한다. 따라서 건조과정의 전처리가 필요하다. 그리고 Cl^- 함량도 낮추어야 한다. 염소는 전자친화도가 매우 큰 활성물질이므로 경화체에서 ion 확산에 의해 결국 철근을 부식시킨다.

정수장 폐기물의 처리와 처분에 관련한 문제는 결국 폐기물의 발생량을 감소시켜 경제적이고 안정한 최종처분을 시행하는 것이다. 그러나 지금까지의 처리와 처분 방법이 이론적으로 가능성이 있는 분야는 광범위하지만 아직 경제적, 기술적으로 실용화시키지 못하고 있는 실정이다. 더구나 폐기물의 자연환원과 재이용 기술은 극히 초보적인 단계이다.

지금까지의 연구는 정수장 폐기물의 물리화학적 특성분석, 처리시설의 설계 및 운영과 관련한 기본적 사항인 sludge cake의 발생량을 정량적으로 계산하는 방법, 처리시설 운영에 필수적인 약품선정과 약품투입량 결정 방법, sludge cake발생량 감소 방안, sludge cake의 이용기술개발에 관한 기초적인 실험연구였다.

향후 연구에서는 sludge cake의 발생량을 감소시키기 위한 적극적인 방안으로서 건조와 소각, 또 sludge cake의 자원화 및 재활용을 위한 기술 및 용도개발에 대한 연구가 필요하다. 또한 이용기술별 비용분석과 경제성 평가를 수행해야 한다.

한편 각 정수사업소에서는 sludge cake 처리용역을 연간단가 계약의 형식으로 발주하고 있다. 회계년도 초에 예산범위에서 물량을 산출하여 발주하고 차기년도 계약체결일까지 연장한다. 2003년 처리자 또는 운반업체인 인광환경, 록산개발 등은 현재 성·복토재로 활용하고 있다.

Sludge cake 발생량이 수질 및 날씨의 영향을 크게 받으므로 정확한 물량산출이 어려워 물량을 과다 추정하며 계약상대자는 1년 단위로 계약하므로 시설 및 차량에 투자를 주저하여 물량 폭증시에 원활한 처리가 미루어진다.

따라서 행정력 낭비, 공백기간 발생 등을 방지하기 위하여 2004년 이후 3년 단위로 장기계속계약을 실시할 계획이다. 또 녹생토, 재생벽돌 등에 대한 좀더 academic한 연구(성상분석, 식물생육성 등)를 수행할 필요가 있다.

정수장 sludge cake은 가볍고 끈끈하며 염소가 많이 들어있다. Sludge cake은 원수의 특성, 약품의 종류와 주입량, 부산물, 그리고 운전조건, 침전 sludge 배제방법에 따라서 처리 결과가 다양하게 변한다.

보통 탁도가 낮으면 농축과 탈수가 더 어려워진다. Sludge cake은 수분함량이 높아서 그 비중이 1~10으로서 농축이 불량한데 belt press 방식 등의 기계적 탈수를 위해서는 수분함량이 많아도 98%를 넘지 않아야 한다. 현재 정수장 sludge는 일반폐기물로 분류하고 있지만 매립할 때는 수분함량을 85% 이하로 낮추어야 한다.

서울시에서는 sludge 응집제로 polyacrylamide를 사용하고 있는데 흡습성을 가지고 있고 그 수용액이 매우 끈끈하므로 이 약품의 주입량이 sludge의 농축성과 탈수성을 크게 좌우한다. 그래서 정수장별, 원수 특성별, 계절별 적정 주입량 계산이 매우 중요하다. 특히 겨울철 저탁도시에는 PAC*l*을 상대적으로 많이 사용하므로 Al과 Cl^- 함량이 증가하여 탈수성이 크게 떨어진다. 따라서 응집제 주입량을 20~30% 감소시키고 황토, 여과보조제 등을 주입하거나, 기타 공정을 개선해야 한다.

Sludge cake 발생량을 저감하기 위해서는 응집제(PAC*l*)를 적정량 주입하여 적정 ALT비를 유지하고 적정한 투입방법 및 위치를 선정해야 한다. 또 탈수성능을 개선하기 위하여 여과포 세정장치를 점검하고, 여과포를 적기에 교체하고 고압 nozzle을 설치하며 탈수압력과 속도를 조절하고 cake scraper를 부착하는 등 시설전반을 검토해야 한다. 탈수속도는 느리게, 압력은 높게, 여과포는 깨끗하게 관리한다.

Table 66. The disposal of sludge cake fromt Gangbuk plant

구 분	발생량(ton)	처리단가(원/ton)	정산액(원)	발생원단위	함수율(%)	비고
계(평균)	22,456	-	543,515,630	0.89	70.8	
1월	1,991	10,366	20,638,700	0.68	81.7	위탁해양배출(운반비)
2월	1,115	〃	11,558,090	0.56	83.1	〃
3월	1,696	〃	17,580,730	0.78	80.6	〃
4월	749	23,969	17,952,780	0.35	78.8	4.24~30까지 성·복토재로 재활용
5월	5,019	〃	120,300,410	2.18	72.4	성·복토재로 재활용
6월	1,940	〃	46,499,860	0.86	71.1	〃
7월	4,802	14,700	70,589,400	-	-	1~3월분 cake 처리비
8월	2,747	23,969	65,842,840	1.19	63.3	성·복토재로 재활용
9월	2,629	〃	63,014,500	1.19	59.8	〃
10월	1,806	〃	43,288,010	0.81	65.4	〃
11월						
12월						

국내에서 정수장 sludge cake을 재활용하려는 본격적인 시도는 아직 많지 않았지만 환경적, 사회적 차원에서 대처해야 할 시점에 와 있으며 더구나 현재 sludge cake의 처분장소를 확보하기 어렵고 처분비용이 날로 늘어가고 있는 점을 감안한다면 재활용 연구가 절실하다. 자원으로 활용한다면 엄격한 환경규제에서 벗어날 수도 있고

저렴하게나마 매각할 수 있다면 처분비용을 절감하여 정수생산단가도 줄일 수 있다.

보통 정수처리공정에서 발생하는 폐수는 처리수량의 약 2~3%에 이르며 종래에는 공공수역에 방류하였으나 1970년대 이후 수질환경보전법 및 수질오염방지법에 따라서 방류수역 수질기준에 적합하도록 배출수를 처리·방류하여 공공수역의 수질환경을 보전하고 있다.

정수장에서 발생하는 배출폐수는 침전지 sludge와 여과지 역세척수로 나뉘어진다. 이 두 배출수는 수질적으로 크 차이가 있다.

침전지 sludge는 원수로부터 침전한 물질로서 유해성 미량유기물질, 독성 유기화합물, 중금속이 농축한 것으로 앞으로 원수수질이 나빠지면 더욱 유독해질 것이다.

Table 67. The component characteristics of the sludge from sedimentation basin

BOD (mg/L)	COD (mg/L)	pH	총고형분(%)	Al_2O_3 (%)	불활성 SiO_2(%)	유기물 (%)
30~300	30~5,000	6~8	0.1~1.5	15~40	35~70	15~25

침전지 sludge의 주체는 친수성이 높은 수산화 Al이므로 함수율이 높고 농축하기 어려우며 체류시간 24시간 이후에는 농축한계값에 도달하여 더 이상 중력식으로 자연농축하지 않는다.

여과지 역세척 배출수는 여과 전처리과정에서 이미 응고 및 응집한 미세 floc이 여과지 여과층 내에서 추가적인 유효 응집이 일어난다. 그결과 역세척 배출수는 안정한 충분히 응집시킨 입자를 포함하며 침강성이 양호하다. 역세척 배출수의 고형물 농도의 범위는 보통 0.01~0.04%이다.

Table 68. The component characteristics of backwash discharge water

탁도(NTU)	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	pH	총고형물량(%)
150~250	2~10	3~15	6.7~7.5	0.01~0.04

이 sludge의 침강실험 결과 30분 정체후 표면수 탁도는 약 15NTU에 이르며 60분후에는 10NTU 미만으로 떨어진다. 여과지 역세척 배출수 침강실험에서 침전한 배출수 sludge 농도는 0.6%이므로 이는 침전지 sludge 농도와 같은 수준이므로 농축조 유입수로서 적합하다.

시설용량이 10,000m^3/일 이상인 정수장의 배출수처리는 시설의 경제성면에서 연속처리형식을 채택한다. 정수처리과정에서 발생하는 배출수는 각각 시설규모에 따라 간헐적으로 또는 불규칙적으로 발생한다. 배출수 처리공정은 기본적으로 조정공정, 농축공정, 탈수공정, 탈수cake 처분공정의 4가지로 이루어진다. 각 공정의 분담 역할과 공정별 구성 시설을 약술하면 다음과 같다.

조정시설은 배출수 처리시설에 불규칙하게 유입하는 각종 배출수를 수량 및 수질적으로 후속 처리시설에 일정하게 조정 공급하는 시설로서 배sludge지, 배출수지, 회수조, 중계pump 및 pump 흡수정, 역세척수 응집·침전조를 포함할 수 있다.

농축시설은 조정시설에서 공급한 배출 sludge를 농축하여 고형물 농도를 3% 이상으로 처리하여 탈수시설에 가압하여 운송한다. 이는 1차농축조와 2차농축조(약품주입설비 포함), 농축sludge 중계pump 등을 포함한다.

탈수시설은 농축 sludge를 받아 되도록 함수율이 낮아지도록 기계적으로 탈수하는 공정으로 농축 sludge 저류조, sludge공급 pump시설, 약품주입설비, 탈수기, cake hopper 등을 포함할 수 있다.

처분시설은 sludge cake 여건에 따라 투기, 매립 및 특수자원으로 처분한다. 따라서 처분방식에 따라 필요한 운반 및 매립장비와 특수설비가 필요하다.

혼합처리방식은 배출 sludge지에 침전지 sludge와 여과지 역세척수 및 기타 배출수를 유입시켜 배출 sludge지에서 혼합한 후 농축시설에 조정 공급하는 방식이다. 종래에는 많이 채택했지만(구의와 보광동) 근래에는 이용하지 않는다. 그 이유는 고형물 농도가 0.5~1.5%로 높으며 특히 유해한 미량 유기물질, 합성 유기화합물, 중금속 등이 sludge에 농축해 있는데 반하여 여과지 역세척수는 고형물 농도가 0.01~0.04%이며 수량도 많아 이 두 배출수를 혼합할 경우 침전지 sludge가 희석하여 sludge내에 농축한 중금속 및 합성 유기물질이 용출하여 정수처리 system내에 유해물질을 축적하므로 점점 강화하고 있는 정수수질 기준을 감안할 때 혼합처리 방식은 배제해야 한다.

여과지 역세척수 무처리방식은 침전지 sludge만 처리하고 여과지 역세척 배출수는 회수조(배출수지)에서 전량 정수처리계통에 회수하는 방식이다. 이 방식은 실제로 많이 사용하고 있다. 여러 문헌에 따르면 신선한 역세척수를 정수처리 원수량의 2% 정도로 회수할 때 침전지에서 침전효율이 나아진다고 한다. 그러나 sludge를 회수하는 과정에서 여건에 따라 sludge 회수가 늦어져 2~3일 지난 sludge를 회수할 때는 침전지에서 침전효율이 낮아져서 불쾌한 맛냄새와 유독한 물질을 순환시킬 우려가 있다.

개별처리방식은 현재 대부분의 정수장에서 채택하고 있는 형식으로 침전지 sludge는 배sludge지에 유입하여 조정하고 농축시설에 이송하며 여과지 역세척 sludge는 배출수지에 유입하여 상징

수는 착수정에 회수하고 침전지 sludge는 배sludge지에 유입하여 침전지 sludge와 함께 농축조에 이송·처리한다. 강북, 광암, 암사, 뚝도가 있다. 영등포는 혼합 + 개별 복합방식인데 영등포 1, 2공장은 혼합처리방식, 3공장은 개별처리방식이다.

응집·침전 처리방식은 침전지 sludge는 배sludge지를 거쳐 농축조에 조정 공급하며 여과지 역세척 배출수는 별도로 약품응집·침전처리하여 처리수는 여과지에, 침전 sludge는 배sludge지에 공급하는 처리방식이다. 따라서 앞의 혼합처리 및 무처리방식의 문제점을 완전히 해소할 수 있는 방식으로서 향후 배출수 처리공정으로 선택하여 기존시설을 정비하는 것이 바람직하다.

농축처리형식은 원수수질, 사용약품, sludge 농축성 및 탈수기 형식에 따라 1단 농축만으로 처리하는 방식과 1차농축한 농축 sludge의 고형물 농도가 이후 탈수조건에 미달할 경우 2차농축하여 소요 고형물 농도를 확보하는 2단 농축방식이 있다.

2단 농축방식은 1차농축조를 거친 농축 sludge는 농축한계에 도달하므로 체류시간을 늘려도 그 이상의 농축은 기대할 수 없어서 고분자 응집제를 투입하여 2차농축조에서 다시 농축시켜 소기의 고형물 농도를 확보하는 것이며, 농축시설로서 1차농축조와 약품처리시설을 포함하는 2차농축조로 이루어진다.

1차 농축조와 2차농축조의 규모별로 구분하면 제1형식과 2형식으로 나눌 수 있는데 제1형식은 1차농축조 규모가 작고 2차농축조 규모가 큰 배치 형식으로 암사1공장, 뚝도, 보광동, 영등포가 이에 속한다.

제2형식은 1차농축조 규모가 크고 2차농축조 규모가 작은 배치형식으로 강북, 광암, 암사2공장, 구의가 이에 속한다.

배출수 처리결과 처분한 탈수 cake 건조 고형물량 현황과 실제로 발생한 원수탁도로부터 산정한 이론적 건조 고형물 산정량을 뺄 때 그 값(처리실적값)이 큰 정수장이 배출수 처리효율이 높다.

남조류 등은 처리계내에 축적할 경우 맛냄새를 발생시키고 규조류는 여과장애를 일으켜 이 시기에는 여과지 역세척을 1일 수회 실시하는 경우가 있다.

이때에는 간헐적으로 수질시험을 실시하여 수질이 매우 나빠질 때는 배출수지 및 1차농축조 상징수를 재활용할 수 없어 하천에 방류하고 있으며 수질시험 결과 양호할 경우에만 재활용하고 있는 실정으로서 모든 정수장의 공통 현상이다.

배출수 처리시설의 적정 규모 및 처리효율을 검토하기 위하여 단위공정 시설물의 설계기준을 설정할 필요가 있다. 주요 단위시설로는 조정실로서 배sludge지, 배출수지, 회수조와 농축시설로서 1차농축조, 2차농축조가 있으며 탈수시설로서 sludge 저류조와 탈수기 등 각종 기계설비가 있다.

다음의 설계기준은 각 정수장에서 실제 배출수처리 운영경험 및 full-scale test(영등포, 1999) 자료에 의하여 결정하였으며 다음과 같다.

배sludge지는 침전지 sludge와 배출수지에서 침전한 sludge를 조정하는 시설로서 여러 정수장의 침전지 sludge 배출방식과 처리방법, 부지여건 등을 고려하여 각 정수장별로 처리실정에 맞게 체류시간을 1시간으로 결정한다.

배출 sludge량의 1시간분에 침전지 1지 청소시 배출수량을 합친 용량을 채택하는 것이 타당하지만, 부지 확보가 어려우면 배sludge지 이송pump의 sludge 이송량을 조절하여 각 정수장 운영조건에 적합하도록 배sludge지의 용량을 결정하는 것도 바람직하다.

배출수지는 여과지 역세척 sludge의 침강성이 양호하여 30분 정도면 침강이 거의 끝난다. 따라서 여과지 지수가 48지 이상인 경우 1지 역세척 주기가 균등하게 이루어지면 1지당 30분에 해당하며 2지 연속 및 2지 동시 역세척이 발생할 경우를 고려하여 배출수지의 용량은 4지 여과지 역세척 sludge량 이상으로 결정하며 48지 이하는 2지 연속 역세척이 발생할 경우를 고려하여 2지 여과지 역세척 sludge량 이상으로 계획하는 것이 바람직하다.

서울시 정수장 현장청취 결과 여름철 고탁도시 배출수 발생량의 약 2.0시간분에 해당하는 용량으로 나타났다. 따라서 배출수지의 체류시간을 2.0시간으로 결정한다. 이 역시 기존 정수장의 부지여건을 고려한 것이다.

농축조의 표면부하율과 체류시간을 설정해 보았다. 농축조의 우선 조건은 유입한 sludge floc의 침강속도가 조내에서 분리하기 위해 sludge 침강 농축 여건을 처리수의 상승유속보다 크게 만들어 주는 것이다. 상승유속은 유입수량을 농축조 수평면적으로 나눈 값으로 차원은 $m^3/m^2/$일로 나타낼 수 있다. 이것이 표면부하율이며 영등포 농축조실험(1999)에서 겨울철 저수온 저탁도시와 여름철 고탁도시에 대하여 표면부하율을 관측한 결과 16.0~20.0$m^3/m^2/$일 범위내에 있었다.

또한 환경기술기준 시험에서는 Al sludge의 경우 15.6$m^3/m^2/$일로 기준을 설정하였으며, 농축성을 향상시키기 위한 실험 결과 Al sludge에 고분자 응집제를 첨가할 경우 20.0$m^3/m^2/$일로 나타났다. 따라서 표면부하율은 1차농축조의 경우 15.6$m^3/m^2/$일, 2차농축조의 경우 20.0$m^3/m^2/$일로 기준을 결정하였다.

위의 표면부하율에 적정한 농축조의 수심이 3.0~4.0m이므로 영등포 농축조의 체류시간은 약 6.0시간이 기준이다. 따라서 농축조 체류시간은 1차 및 2차 모두 6.0시간 이상으로 설정한다.

기능진단 평가시 고려사항은 경제규모, 처리효율 등이다.

최종 방류수질이 배출수질 기준에 적합한가와 경제적인 시설규모로서 설계탁도를 연평균탁도×4배로 고려했는가 등이다. 최종 농축(고분자 응집제 사용)처리시 상징수는 반드시 전량 방류한다.

기능진단 및 평가는 탈수cake 건조고형물 편차율(이론값 - 실적값) 비교에서 편차율이 작을수록, 또 sludge의 계내 축적기간이 짧을수록 처리효율이 높은 시설이며 농축조 배치형식별로 표시하였다. 제2형식이 유리하다.

Table 69. The configuration of primary and secondary thickeners

구 분	제1형식	제2형식
배치방식	1차농축조(소) →2차농축조(대)	1차농축조(대) →2차농축조(소)
정수처리계내 sludge 순환	장기간	단기간
문제점	1차농축조 표면부하율이 커서 처리효율이 떨어지므로 상징수 탁도가 높음	
해결책	1, 2차농축조 기능 전환	

한편 2000년을 기준으로 sludge 처리량은 암사(전체 32%)가 최대이고 보광동(전체 4%)이 최소이다. 또 월별 발생량은 9월에 최대이고 최소인 2월에 비해 3배 정도이다.

정수 생산량 10,000m^3에 대하여 sludge 발생량은 평균 0.65m^3인데 보광동은 0.46m^3로 최소이고 구의는 0.82m^3로 최대이다. 또 월별 함수율은 2월에 77.4%로 최대이고 9월에 67%로 최소이다.

조정시설로서 배sludge지, 배출수지, 회수조와 농축시설로서 1차농축조, 2차농축조 및 그 부대시설과 탈수시설로서 sludge 저류조, 탈수기, cake hopper 및 그 부대시설로 이루어져 있다.

침전지 sludge(SS 농도 0.5~1.5%)는 배sludge지에 들어가서 조정을 거쳐 1차농축조로 pumping한다. 여과지 역세척 sludge(SS 농도 0.01~0.04%)는 배출수지(침전조)에 유입하여 고액분리시킨 후 상징수는 회수조에 자연유하로 유입하고 회수조에서 전량 착수정에 pumping하여 회수하며 침강한 농축 sludge(SS 농도 0.5~1.5%)는 배sludge지에 자연유하로 이송한다.

배출수처리(순환)시설의 공정은 다음과 같다.

1차농축조에서 처리한 상징수는 회수조에 자연유하로 운송한 후 배출수지 상징수(회수조에 유입)와 함께 착수정으로 pumping한다. 1차농축조에서 침강한 농축 sludge(SS 농도 0.5~3.0%)는 2차농축조 분배조에 pumping할 필요가 있을 때 약품혼화시킨 후 2차농축조에 자연유하로 분배한다.

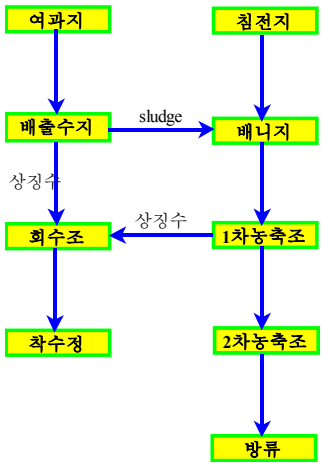

Fig. 39. The process flow diagram of discharge treatment at Gangbuk plant

2차농축조에서 침강·농축한 sludge(SS농도 3.0~6.0%)는 sludge 저류조에 자연유하로 이송한 후 탈수기로 pumping하며 탈수 직전에 약품으로 처리한 후 탈수한다. 2차농축조 상징수는 polymer 약품성분이 녹아 있어서 보건위생상 유해하므로 전량 하천에 방류하고 있다.

탈수기에서 탈수한 sludge cake(함수율 60~83%)은 재활용한다.

탈수기 세정수는 현재 1차농축조 상징수를 활용하고 있으나 앞으로 탈수기의 탈리여액을 여과처리하여 활용할 수 있도록 시설을 개선할 계획이다.

기존 처리공정은 시설기준에 전적으로 적합하다. 여과지 역세척 sludge 유량과 1차농축조 상징수량을 조정할 수 있는 시설로 회수조를 운영하고 현 배출수지를 약품응집·침전지로 전환한다면 이들 처리수는 여과 전처리수로 충분히 이용할 수 있을 것이다.

강북의 조정시설은 시설기준 이상이므로 완벽한 상태이다. 다만 2차농축조에서 저수온 저탁도시 조내 상징수류가 편류하여 이 부분의 상승유속이 빨라져서 sludge floc이 부상하므로 상징수류를 균등화해야 한다.

광암의 원수요금은 178원/m^3(2002. 9)으로 한강원수보다 35.12원/m^3보다 5배 더 비싸다. 취수는 수자원공사의 팔당dam 원수를 공급받으며, 송수

는 표고(55m)차에 의한 자연유하로 배수지(청담, 우면산)까지 이송한다.

맥동식 침전시설을 채용하고 있으며 물은 침전지 바닥에서 나와 위로 흐르고 맥동실에서 진공 pump로 30~70cm 정도 물을 끌어올렸다 놓음으로써 발생하는 맥동에 의하여 부유물질이 응집을 촉진한다. 일단 발생한 sludge층과 원수의 부유물질과 응집제가 짧은 시간에 floc을 형성한다. Sludge군이 커지면 sludge 수집조로 들어가서 농축조로 이송한다.

응집지가 없으며, 침전지 체류시간도 1.8시간(설계값)으로 침전지 부지가 횡류식보다 적게 차지한다.

특히 활성탄은 침전지가 맥동식이므로 접촉시간이 횡류식보다 훨씬 길어 타 정수장 보다 적게 투입하여 예산을 절감할 수 있다.

탈리액 배수line의 구배를 조정하여 배출수를 안정적으로 처리함으로써 방류수 수질을 향상시켰다.

배출폐수 발생량의 96.6%인 4,600,000m^3을 회수·재활용함으로써 유효율을 향상시키고 생산원가를 절감하였다.

유효율 향상 내용은 관로 및 시설물 등의 1일 누수 점검, 구내용수 절약, 전력비 및 난방연료 절감, 역세척수 및 1차 농축조 상징수 전량 회수 등이다.

응집지가 없으며, 침전지 체류시간도
1.8시간(설계값)으로 침전지 부지 면적이
횡류식보다 적게 차지한다.

광암은 암사에 비해서 1차농축조가 큰데 암사는 1차농축조가 작아서 sludge가 혼탁하다. 광암은 1차농축조가 크고 2차 농축조가 작아서 sludge가 묽다.

탈수기 여과포세정수는 2차농축조 상징수를 자동여과기로 여과처리하여 사용하고 있으며 탈수기 탈수여액은 2차농축조로 자연유하로 회수하여 재처리한다.

기존 처리공정의 처리계통은 수도시설기준에 적합하다.

각 공정별 처리 시설물의 용량은 제거대상 고형물량을 기준으로 검토해야 한다. 상수도시설기준에 의하면 연평균 탁도의 4배 탁도시 발생하는 sludge를 처리할 수 있는 용량으로 명시하고 있다. 연평균탁도는 대략 7.6NTU(1999)이므로 시설기준에 의한 설계탁도는 7.6NTU×4배 = 30.4NTU이다.

탈리여액은 탈수기 세정수와 sludge 탈수시 sludge 자체에서 나온 추출수로서 정수생산 시설용량의 약 0.1%이다.(여러 정수장의 실적)

필요시설을 확충할 때 검토할 용량과 이의 운영방안은 아래와 같다.

배sludge지 및 배출수지의 용량이 부족하다. 그러나 배sludge지는 정수장 여건으로 볼 때 부지를 확보하기 어려우므로 체류시간을 두지 않고 1차농축조에 이송처리하고 침전지 청소시에도 유입량을 조절해야 한다.

배출수지는 부지를 확보할 수 있으므로 증설하여 운영하고 증설하기 전까지는 체류기간을 단축하여 운영한다. 또한 침전지에서 sludge 인출 및 이송pump의 운전 조절(80여개 valve의 순차적 조작) 등으로 sludge의 시간대별 유량을 연속으로 제어할 수 있으므로 기존 배sludge지 용량으로 적절하게 운영하면 문제가 없을 것 같다.

암사의 여과지 역세척 sludge(SS 농도 0.01~0.04%)는 배출수지(회수조)로 전량 들어간 후 대부분 착수정으로 pumping하여 회수하고 회수조의 수위가 낮을 때 저수위 이하의 sludge는 배sludge지에 pumping하고 있다.

1차농축조에서 처리하는 상징수는 착수정에 pumping하여 회수한다. 1차농축조에서 침강한 농축 sludge(SS 농도 0.5~3.0%)는 2차농축조 분배조에 pumping하여 2차농축조에 자연유하로 분배한다.

2차농축조에서 처리한 sludge는 sludge 저류조를 거치지 않고 직접 탈수기 약품혼화 및 공급조로 pumping하여 polymer로 약품처리한 후 탈수기에 공급하여 탈수하고 있다.

기존 처리공정의 처리계통은 수도시설기준에 적합하다.

암사2공장은 증설 가동시(1998. 6), 1공장 물량을 연계처리하도록 배관하였으며 1차농축조 sludge량도 (특히 침전지 청소시, 장마철 등) 탈수할 수 있는 농도에서는 2차농축조로 이송하지 않고 저류조로 직접 이송하여 탈수처리하도록 배관하였다. 또한 2차농축조 농축 sludge는 자연유하로 sludge 저류조로 유입한 후 sludge 공급량을 조절하며 탈수기로 pumping하여 탈수기 혼화조에서 고분자 응집제를 투입하고 혼화하여 탈수한다. 이외의 공정은 1공장 처리공정과 같다.

기존 처리공정은 수도시설기준에 적합하다.

1, 2공장별 기존시설 및 1, 2공장 연계처리시 용량 검토 결과는 아래와 같다.

1공장에는 배sludge지, 배출수지가 추가로 필요하지만 정수장 부지여건상 증설은 불가능하다. 따라서 배sludge지에는 sludge의 지저 침적을 방지하기 위하여 혼화기를 설치해야 하며 배출수지에는 여과지 역세척 sludge 유입부에 침사구역을 설정하고 침사준설장치를 구비해야 한다.

1공장 배출수의 일부를 2공장에서 처리하므로 배sludge지 체류시간을 줄이고 sludge 이송pump를 추가 증설하여 운영하면 지장이 없을 것이다. 배출수지는 동시에 3지 이상 역세척이 일어나지

않도록 자동제어 program을 보완·수정하여 운영해야 한다. 또한 1차농축조를 2차농축조로 기능을 전환하는 방안도 배관구조상 불가능하여 1차농축조 이송pump 용량을 1.1에서 3.0m^3/분으로 증가시켜 2차농축조로 이송시킨 결과 용량부족 현상이 나타나지 않는 것으로 보아 이송pump 용량을 증가시켜 운영해야 한다.

그리고 탈수기동내 sludge 저류조 유입배관 도중 유입 sludge 수위 조절조(철 구조물)를 sludge 저류조보다 높게 설치하여 이를 이용하지 않는 것이 sludge 이송에 유리하며 현재 운영방법과 같이 by-pass관을 설치하고 기존 sludge 저류조와 연결한 탈수기에 sludge를 이송하는 pump와 직결 운영해도 지장이 없을 것이다. 그러나 탈수기에 공급하는 sludge의 농도를 균일하게 유지하기 위하여 앞의 by-pass관을 sludge 저류조에 연결하고 저류조에 sludge를 유입시켜 교반한 후 이송pump에 의하여 탈수기에 압송하는 시설정비가 바람직하다.

2공장은 배sludge지 960m^3, 배출수지 474m^3이 부족하지만 1공장과 같이 정수장 부지여건상 증설할 수 없다. 그러나 배sludge지는 체류시간을 짧게 하고 pump 용량도 충분히 확보하고 있으므로 유입 및 유출량을 조정하여 운영하면 문제가 없을 것이다. 또 배출수지는 여과지 연속 2지 역세척 후 휴지시간을 1시간 정도 두도록 자동제어 program을 보완·수정하여 운영하면 별다른 지장이 없을 것이다.

개별적 운영방법으로는 배sludge지의 용량이 부족하므로 체류시간을 두지 않고 1차농축조로 이송 처리하고 또한 침전지 청소시에는 배출량을 조절하여 운영하면 괜찮을 것이다. 그리고 배출수지는 과부하시 무처리 혼합방식으로 운영해야 한다.

구의의 조정시설은 2계열로 나뉘어진다. 1계열의 유량조정시설인 3회수조에는 3공장의 침전지 sludge와 여과지 역세척수 배수가 각 시설 drain 본관을 통하여 합류하여 자연유하 이송한다. 2계열의 4회수조에는 4공장의 침전지 sludge 및 역세척 sludge가 자연유하로 합류하여 혼입한다. 3회수조의 혼합 배출수는 1차농축조(신설)와 1차농축조 분배조에 pumping하며 4회수조의 혼합 배출수는 1차농축조 분배조에 pumping한다. 1차농축조 분배조에서는 전량 1차농축조(기존)에 자연유하 이송한다.

1차농축조(기존 + 신설) 상징수는 3공장 도수관로와 연결하여 착수정에 이송하여 회수하며 1차농축조(신설)에서 침강한 농축 sludge는 별도의 sludge 저류조를 거쳐 2차 농축조 분배조에 이송하고 1차농축조(기존)에서 침강한 농축 sludge는 직접 2차농축조 분배조에 pumping한다. 2차농축조 분배조의 유입 sludge는 탈수기 여과포세정수 및 탈리액과 혼합하여 2차농축조에 자연유하로 배분·이송한다.

이 정수장의 배sludge지는 453m^3이 필요하지만 부지 확보가 어려워 증설할 수 없을 뿐만 아니라 통합 합류식인 회수조 시설 내에서 분리 시설하는 것도 배관구조상 불가능하다.

따라서 회수조 유입배출수를 적절히 1차농축조로 이송시킬 수 있도록 pump를 설치했으므로 sludge 침전을 방지할 수 있는 교반장치만 설치하면 배출수 처리에는 지장이 없을 것 같다.

뚝도의 기존 처리공정은 수도시설 기준에 적합하다. 단위처리 시설중 회수조(배출수지)와 1차농축조의 용량이 부족하여 처리효율이 낮다.

배sludge지, 배출수지, 1차농축조(전환시 2차농축조) 시설이 용량은 부족하나 정수장 부지 여건으로 볼 때 부지확보가 불가능하고 또한 1차농축조를 2차농축조로 전환하는 방안도 정수생산에 막대한 지장이 있으므로 사실상 불가능하다. 그러나 다음과 같이 운영하면 배출수 처리운영에 지장이 없을 것이다.

배sludge지는 침전을 방지하고 농도를 균등하게 하기 위해서 교반기를 설치하는 방안이 효과적일 것이고 배출수지는 정류벽을 설치함으로써 와류현상을 방지하고 또한 여과사 등 유입하는 이물질에 대해서는 sand pump를 설치하여 주기적으로 제거한다.

1공장 폐쇄에 따라 남는 부지를 활용하여 1차농축조를 2차농축조로 전환하거나 1차농축조를 증설한다.

영등포의 배sludge지는 444m^3이 필요하고 배출수지는 950m^3이 필요하지만 정수장 부지여건상 필요시설만큼 증설할 수 없다.

따라서 배sludge지의 운영방안은 2차농축조에 분배처리와 침전지 청소 배출량을 조절해야 하며 배출수지는 역세척 주기를 조절하여 운영하고 과부하시는 무처리 회수방식으로 운영하면 지장이 없을 것 같다.

1차농축조와 2차농축조는 상호 전환하여 농축처리 효율을 높여야 하며 전환방법은 농축조 유입·유출배관을 유량조정하는 것이다.

농축조 상호전환 후에도 1차농축조는 설계기준에 400m^3이 부족하나 정수장 부지를 확보할 수 없으므로 침전지 sludge 및 1, 2공장 역세척수 배수를 적절하게 조절하여 처리하면 설계기준에 적합할 것이다.

배sludge지는 침전지 sludge와 배출수지에서 침전한 sludge의 양적·질적 조정을 수행하며 농축조로 pumping할 수 있도록 pump 흡입부 쪽에 설치한 흡수정이다.

따라서 sludge 유입계통시설의 문제발생시 감

지 및 pumping할 수 있고 후속시설에 대한 유량 및 sludge 부하량을 조정해야 하므로 1일 배 sludge량 이상으로 충분한 용량을 갖추는 것이 원칙이나 모든 정수장에서 설치 부지를 확보하기가 곤란하므로 현실에 부합하도록 운영방안을 강구한다. 즉 sludge 발생량의 1시간분에 침전지 1지 청소수량(수심 1.0m 수량)을 고려하고 배 sludge지에서는 침전이 일어나지 않고 전량 농축조로 바로 이송하여 용량을 확보한다.

배sludge지는 sludge 저류시설이 아니고 중계시설이므로 sludge가 침전·축적하지 않도록 지내에 느린 혼화기를 설치하는 것이 바람직하다.

배출수지 및 회수조는 여과지 역세척 sludge의 양적 조정 및 sludge의 고액분리 시설로서 역세척 sludge 침전이 30분 정도인 것을 감안하여 여과지 지수, 역세척 주기, 1회 역세척 배수시간과 농축조 상징수 유입량 등을 고려하여 배출수지의 용량을 결정한다.

이상적인 역세척 sludge의 고액분리 처리를 위해서 운영실적(강북)을 참고할 때 배출수지의 체류시간은 2.0시간 이상이 필요하다. 따라서 상기 지내 sludge 침전시간을 확보할 수 있다.

즉 배출수지는 역세척 sludge의 저류기능과 침전기능을 가진 시설로서 그 대상이 여과지에서 잘 농축한 sludge이므로 역세척 sludge의 양호한 침강성을 고려할 때 2.0시간 내에는 유입한 역세척 sludge가 충분히 침전할 것이다. 따라서 회수조와 같이 수위 변동이 큰 구조는 피하는 것이 바람직하며 상기한 바와 같은 기능을 충분히 발휘하기 위해서는 회수조는 별도로 설치하여 배출수지의 상징수를 받아 착수정에 회수하는 것이 가장 효과적이다.

정수처리시설을 경제적으로 운영하기 위하여 배출수지 및 1차농축조 상징수를 회수조에 집수하여 착수정에 pumping하거나 자연유하시켜 회수하는데 강북은 이 목적으로 회수조가 독립해 있으나 다른 6개 정수장은 배출수지를 회수조로 겸용하고 있다. 이 경우 1차 농축조에서 들어오는 유입수가 여과지 역세척 sludge와 배출수지 내에서 혼합하여 sludge 농도를 희석시키며 유입방법에 따라 침강성을 저해할 수도 있다.

따라서 1차농축조 상징수를 회수하기 위해서는 가급적 회수조를 별도로 설치하거나 배출수지의 회수조 구역을 설정하여 침전구역과 완전히 분리시킨다. 또 배출수지 유입부에 누출 여과사를 침사시켜 회수할 수 있도록 침사구역을 설정한다.

Sludge 농축시설은 탈수할 sludge량을 줄이기 위하여 원래의 sludge(함수율 99.8~98.5%)는 농축조에서 함수율 94~90%까지 농축시킬 수 있다. 이 정도로 농축시키려면 alum을 응집제로 사용할 경우 2단 농축이 필요하다.

정수장에서 발생한 원래의 sludge는 1단 농축(1차농축조)하여 함수율 97%까지 농축하지만 그 이상은 비경제적이다. 1단 농축한 sludge는 농축성을 촉진시키는 고분자 응집제(polymer)를 투입하여 혼화시키면 2단 농축(2차농축조)에 의하여 함수율 94~90%까지 sludge 성상에 따라 농축할 수 있다.

원래의 sludge를 1단 농축함으로써 sludge량을 원래 부피의 1/10까지, 2단 농축함으로써 원래의 sludge 부피의 1/20~1/33까지 sludge량을 줄일 수 있다. 이 처리로서 sludge 유량을 줄여 탈수기의 부담을 줄이는 것이다.

따라서 1차농축조 유입 sludge량과 2차농축조 유입 sludge량은 10 : 1 정도이므로 설계조건(표면부하율과 체류시간)을 고려할 때 1차농축조 표면적이 2차농축조 표면적보다 크게 만드는 것이 sludge 농축처리에 효과적이다.

1차농축조에서는 유입 sludge내 부유물(floc)의 침강속도가 수조내 상승유속보다 클 때 침강농축하며 이러한 침강농축성을 표면부하율(단위면적당 처리유량, $m^3/m^2/$일)로 표시하고 있다. 이 표면부하율의 단위를 정리하면 상승유속이다. Alum을 응집제로 처리하여 생긴 floc의 1차 침전을 목적으로 하는 표면부하율 기준은 13~15.6$m^3/m^2/$일(실험결과)이다.

표면부하율(상승유속)이 기준값보다 크면 수로내 물의 상승유속이 floc의 침강유속보다 커져서 농축조 유출 weir로 월류하여 외부로 유출하므로 상징수의 탁도가 높아지며 고액분리가 효과적으로 이루어질 수 없다. 즉 1차농축조의 규모가 작아 표면부하율이 커지면 유입 sludge 고형물 일부 또는 대부분이 미처리 부유물로서 유출탁도가 높은 상징수(회수수)가 착수정으로 순환한다.

이와 같은 고탁도의 회수수가 착수정에서 취수원수와 혼합할 경우 정수처리할 혼합수의 탁도가 원수탁도보다 높아지며 불규칙하게 변화하여 약품주입 관리가 매우 어려워진다.

본 검토에서는 영등포에서 full-sclae 농축실험을 겨울철 저탁도시 및 여름철 고탁도시 시행한 결과 처리약품을 사용하지 않은 1차 농축처리조에서 표면부하율이 15~16$m^3/m^2/$일 내외이고 이때 체류시간은 6.0시간이었다.

1차농축조에서 처리한 농축 sludge 인발량은 일정하다. 그 이유는 설계탁도에 대한 sludge량이므로 설계 고형물량과 1차농축조의 농축 sludge 설계농도가 주어지기 때문이다.

Alum sludge의 물리적 특성상 침강성과 농축성이 낮아 농축조의 한계가 있으며 경제적인 처리시간내에 더 이상 농축할 수 없으므로 2차농축조에서 고분자응집제에 의해 약품처리하여 침강성과 농축성을 보강한 1차 농축 sludge를 처리하

여 고형물 농도가 좀더 높은 농축 sludge를 얻을 수 있다. 따라서 2차농축조는 전항에서 언급한 표면부하율 이하로써 체류시간이 6.0시간 범위내에 있다.

Table 70. The design criteria of discharge water treatment process

구 분	체류시간(hr)	표면부하율 (m^3/m^2/일)
배sludge지	1.0 이상	-
배출수지	2.0 이상	-
회수조	0.5 이상	-
1차농축조	6 이상	13~15.6
2차농축조	6 이상	15~20
Sludge 저류조	1.0 이상	-

농축 sludge 저류조의 역할은 sludge의 저류 개념도 있으나 이는 사실상 농축조에서는 sludge 농축 및 저류 역할을 동시에 수행할 수 있으므로 오히려 저류조의 기능은 탈수기의 원활한 운전을 위하여 sludge 농도를 균일하게 유지하는 것이다. 이를 위하여 유입 sludge를 균일하게 혼합할 수 있는 교반기가 필요하며 그동안의 탈수기 운영 경험을 비추어 볼 때 탈수기 가동시 필요한 sludge량의 1.0시간분의 sludge량을 저류할 수 있는 용량이면 충분하다.

원수탁도의 변화폭이 크고 정수처리계내에는 발생 sludge와 회수 및 순환 재처리기능이 설계기준에 약간 부적합하다고 하여 배출수처리가 불가능한 것은 아니며 융통성이 크다. 다만 경제적으로 효율적인 처리를 위해서는 위의 표 기준에 적합해야 한다.

통계자료에 의하면 고탁도시 탈수 cake의 함수율이 70~80%에 달하며 2차농축조의 농축 sludge의 고형물 농도는 6.0%, 1차농축조의 농축 sludge 고형물 농도는 3.0% 내외이다. 각 농축조에서 농축 sludge는 대부분 pumping하여 이송하기 때문에 설계한 pump 용량 및 대수 운전에 따라 농축 sludge의 고형물 농도에 관계없이 sludge 인발 및 이송량은 일정하다. 각 형식에 대한 배출수 처리과정 및 성과를 검토 분석한 것은 다음과 같다. 조정시설은 설계기준에 적합한 것을 전제로 한 것이다.

1형식의 1차농축조 시설은 부적합하다.

표에서 보는 바와 같이 표면부하율은 2개 정수장이 기준을 넘고 2차농축조는 표면부하율이 매우 작은 것으로 볼 때 불균형을 이루고 있다.

각 정수장별로 1998, 1999년 2년간의 월별 탈수 cake의 이론적인 산정량과 실제 발생량의 변화추이를 보면 원수 저탁도시에는 실제 발생량이 크고, 이론적 산정량이 작으며 당월 미처리 sludge는 이어지는 원수 저탁도 발생월에서 처리하므로 원수 저탁도시의 월별 이론적인 sludge 산정량이 실제 sludge 생산량보다 작은 것이다.

Table 71. The capacity characteristics of thickeners of several plants

구 분	표면부하율(m^3/m^2/일)		비고
	1차농축조	2차농축조	
설계기준	15.6	20	
뚝도	148	2.3	
영등포	61.9	1.87	상호전환시 1차 20.9, 2차 5.6

Table 72. The capacity characteristics of several plants compared with 2ndary configuration

구 분	표면부하율(m^3/m^2/일)	
	1차농축조	2차농축조
시설기준	15.6	20
강북	9.2	7.5
광암	4.8	6.1
암사2공장	4.3	6.1
구의	14.3	1.3

강북의 농축조는 상징수의 흐름이 편류를 일으켜 sludge floc이 부상할 수 있으므로 유입 sludge 량을 조절하여 상징수류를 균등화해야 한다.

광암의 배sludge지를 운영할 때는 침전지 청소시 청소하는 지의 sludge만 유입시키고 나머지 지에 대해서는 배출을 일시적으로 중단한다. 배sludge지에 유입하는 양은 체류시간을 두지 않고 1차농축조로 이송·처리한다. 배출수지 침전 sludge량은 배sludge지로 배출하지 않고 직접 1차 농축조로 이송·처리한다.

홍수시 고탁도일 경우는 침전지에 sludge를 일부 체류시켰다가 처리한다.

또 배출수지 용량(2,000m^3)을 증설하여 운영해야 한다. 배출수지를 증설할 때까지는 체류시간을 단축 운영한다.

역세척 배출수를 적절히 조절한다. 과부하시는 무처리혼합방식으로 운영한다.

암사의 배sludge지를 운영할 때는 1, 2공장을 연계처리한다. 배sludge지의 체류시간을 두지 않고 1차농축조로 이송·처리한다. 침전지 청소시 청소하는 지의 sludge만 유입시키고 나머지 지에 대해서는 배출수량을 조절한다. 침전하지 않도록 교반기를 설치한다.

또 여과지 역세척의 지수 및 시기를 제어하는

자동제어 program을 수정하여 동시에 3지 이상 운전하지 않는다.

구의의 배sludge지를 운영할 때는 침전지 청소시 청소하는 지의 sludge만 유입시키고 나머지 지에 대해서는 배출수량을 조절한다. 배sludge지에 침전하지 않도록 교반기와 여과사 모래준설 drum screen을 설치·운영한다.

배출수지를 운영할 때는 여과지 역세척 주기를 조절한다. 정류벽을 설치하여 와류현상을 방지하고 모래의 퇴적을 방지하기 위해 모래준설 drum screen을 설치하여 주기적으로 제거한다.

1차농축조는 침전지 및 여과지 역세척수량을 시간대별로 적절히 조절한다.

차. 1차농축조 체류시간 연장방안의 검토결과

1차농축조 체류시간을 연장할 경우 용량이 대단히 커야만 한다. 그러나 각 정수장별로 설치할 부지가 없어 증설할 수 없지만 sludge 침전 특성상 체류시간 24시간 이후에는 자연농축이 거의 끝난다. 즉 농축 한계값에 도달하면 더 이상 농축하지 않는다.

각 정수장의 농축방식은 2단 농축방식이므로 1차농축조에서 농도를 1~3%로 유지한 후 2차농축조에 이송하여 약품처리와 함께 다시 농축시켜 소기의 고형물 농도를 확보하는 방식으로 처리하고 있으므로 체류시간 연장은 의미가 없고 방류수량도 변화는 없다.

그리고 실험결과 농축조의 표면적 부하가 15.6m^3/m^2/일이므로 체류시간 6시간 미만의 정수장은 1차농축조와 2차농축조의 기능을 전환하여 운영하면 충분하다.

본부에서는 수질65461-261(2003. 6. 20)에 따라 수질관리에 특별한 어려움이 발생하지 않는 한 배출수를 처리한 상징수는 정수장의 유효율을 제고하고 원가를 절감하는 차원에서 재활용하는 것을 원칙으로 배출수처리시설을 정밀진단하여 시설 및 운영상의 문제점을 도출하고 개선·정비하도록 지시하였다.

한편 이에 앞서 환경부에서는 수관65460-331(2003. 5. 22)에서 재활용 침전지 sludge, 여과지 역세척수에는 virus 등의 병원성 미생물이 농축할 가능성이 높으므로 배출수처리 상징수는 되도록 재활용하는 사례가 없도록 지시하였다.

그러나 본부에서는 원수비 지출에 따른 원가절감 및 유효율 제고 차원에서 재활용을 시행하였다. 2002년의 경우 8개 정수장 원수비는 446억원으로 팔당원수량은 151,059,370m^3(178원/m^3), 한강원수량은 1,256,810,442m^3(35.12원/m^3)이다.

FBRR(Filter Backwash Recycling Rule, 역세척수재활용규정, 2001)은 1996년 SDWA 수정안에 따라서 EPA가 정수장내 역세척수 순환에 관한 규제를 마련한 것이다. 규제대상은 역세척수, 농축조 상징수, 탈수한 물(회수전 침전)이다. 회수시설에 대한 주정부의 승인, 계속적인 data 기록 등을 규정하고 있고 기술지침은 마련중에 있다.

Table 73. The main contents of FBRR

목적	오염물질 특히 미생물학적인 오염에 대한 평가 및 회수수 관련 시설의 변경에 대한 공공위생의 안전성 향상
적용시설	· 지표수나 이의 영향을 받은 지하수를 사용하는 시설, · 기존 및 직접여과시설, 역세척수를 재활용하는 시설, 농축조 및 탈수조 등의 공공용수 system
위생학적 잇점	FBRR의 적용은 결과적으로 먹는물에서 병원균 특히, *Crytosporidium*에 의한 질병의 위험성을 감소시킴
회수수의 종류	· 역세척수(spent filter backwash water) · 농축조 상청수(thickener supernant) · 탈수조 상징수(liquids from dewatering processes)
승인서의 주요내용	· 배출수처리시설 공정, 회수수 이송방법 및 반송지점 · 회수율, 전년도에 관측한 최고 회수율 · 주에서 승인한 시설운영능력
재활용시 필요정보	· 재활용 승인서 및 주에 제출한 정보 사본 · 반송 회수수의 종류 및 빈도 · 평균 및 최대 역세척률, 평균 및 최대 역세척시간 · 전형적인 여과지속시간 및 여과방법 · 재활용을 위해 사용하는 시설의 종류 · 전형적인 최대 수리학적 부하율, 처리시 사용약품 종류, 평균 주입량, 사용빈도, 고형물 제거빈도
향후일정	· 각 주에 회수수 사용 통지서 제출(~2003. 12. 8) · 각 주에서 승인받은 공정을 통해 회수수 반송 및 정보를 수집하고 file에 기록(~2004. 6. 8) · 반송지점 재선정 등 모든 주요 향상조치 완수(~2006. 6. 8)

SWTR(Surface Water Treatment Rule, 지표수처리규정, 1993)에서는 공공법92-500(1972, 역세척수 방류 금지) 통과후 역세척수를 회수하도록 규정하고 있다. 회수전 반드시 응집, 침전, 살균처리해야 하며 그 수질은 원수의 수질보다 좋거나 같아야 한다. 또 회수지점은 여과지 유입부가 아니라 착수정이어야 한다.

Table 74. The several references introducing guidelines for treatment of recycle water

문 헌	저자	회수수 처리
Integrated Design of Water Treatme-nt Facilities	Susumu Kawamura (1990)	· 무처리 반송시 응집·침전공정 효율 향상 · 원수유입량의 10% 이하 회수 · 회수수 살균시 효과가 양호
Water Treatment Plant Design	ASCE, AWWA (1990)	· 역세척수 회수시 침전성 향상 및 여과지 손실수두 감소 · 응집제를 약간 추가 투입
Water Quality and Treatment	AWWA (1990)	· 여과지에서 *Giardia* 증가 · Shock load를 피하기 위한 조정조가 반드시 필요
Recommended Standards for Water Works	- (1992)	· 고형물을 일정수준까지 제거 · 원수유입량의 10% 이하 회수 · 원수에 조류가 많을 때, 여과수에 심미적인 문제가 있을 때, 배수관망내에 THMs가 허용값 이상일 때 회수 금지
Waste stream recycling : its effect on water quality	David A. Cornwell & Ramon G. Lee(1994)	· 24시간 연속적인 회수 · 원수유입량의 10% 이하 회수

문헌조사를 통해 회수수 회수시 침전 및 여과 공정의 효율을 향상시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 또 회수수 반송시 24시간 연속적인 그리고 신속한 회수를 통하여 정수공정의 효율을 향상시킬 수 있다.

그러나 심미적 문제, 조류 및 *Giardia* 유입 등이 발생할 때는 회수를 금지해야 한다.

혼합수의 ζ 전위의 절대값은 원수의 ζ 전위의 절대값보다 작아지는 경향을 나타내고 있다. 여기서 특이할 사항은 원수의 pH와 ζ 전위가 하루 중에도 연속적으로 변하며 계절별로도 변한다는 것이다. 회수수를 야간에만 유입시키는 것이 아니라 24시간 동안 연속으로 유입시킨다면 원수의 ζ 전위의 절대값이 작아져서 응집이 잘 이루어지는 ζ 전위 범위인 -10~+10mV, 특히 경제적인 관점에서 -10~0mV의 범위에 들기 위해 상대적으로 응집제 주입량을 절감해도 무방하다.

일반적으로 회수수는 생성후 착수정으로 유입하기까지 조정조와 집수정에서 약 2~12시간 가량 체류한다. (역세척수는) 침강성이 좋은 floc을 많이 함유하고 있으므로 신선한 회수수를 반송(침전시키지 않고 회수)하면 flocculation · 침전공정의 효율을 향상시킬 수 있으며 묵은 회수수는 오히려 응집공정이나 침전공정의 효율을 저감시킨다. 회수수에 원수보다 높은 농도의 잔류 Al이 존재하며, 이로부터 응집제주입량을 절감할 수 있다.

UV_{254}와 TOC, 잔류Al은 회수수가 원수에 비해 훨씬 높다.

배출수처리시설 운영관리 표준지침을 마련해야 한다. 배출수 순환은 취수비용(전력비, 원수비) 절감, 유효율 제고, 방류수 기준 충족, 또 설계목적(규모) 측면에서 선택사항이 아니다. 다만 미생물학적인 안정성을 확보하기 위하여 조류 다량 발생시(맛냄새 발생, 여과지 폐색)와 침전지 청소시에는 회수를 자제해야 한다.

Table 75. The real residence time of thickenenrs(hr)

구 분	설계기준	강북	광암	암사1	암사2	구의	뚝도	보광동	영등포
1차 농축조	6.0 이상	10	17	1.7	22	5.8	1.3	3.0	1.9
2차 농축조	6.0 이상	12.6	19.2	81	156	73	52	52	51

순환수의 대부분인 역세척수는 잔류염소가 많아 원수(침전수)의 pH를 다소 낮추고 잔류염소 농도를 높이므로 약품투입에 주의한다. 방류량은 2차농축조의 처리용량(pump용량 포함), 수질환경보전법(SS 30, BOD 30, COD 40mg/L)상 현재 운영값이 적정하다.

암사는 원수료 검침이 송수량 기준방식이므로 재활용에 따른 원수비 절감은 없으며 소액의 동력비를 절감할 수 있다. 2002년 재활용량은 11,131,000m^3/년(취수량 대비 2.7%)으로 동력비 절감액이 취수 87,000,000원 - 회수 47,744,372원으로 약 4천만원/년이었다.

현안 문제점으로는 배출수지의 경우 조류, 원생동물 다량 발생시, 또 1차농축조의 경우 침전지 청소시 및 원수 수질악화시 방류할 수 없다(방류시설이 없음, 용량이 부족함)는 것이다. 그러나 상징수는 배sludge지로 유입하도록 배관을 설치하였다.

암사는 자체 운영계획에 따라 평상시에는 1공장은 배sludge지, 2공장은 1차농축조 상징수 탁도가 15NTU(연평균 원수탁도의 1.5배) 이하일 때 재활용하고, 그 이상이면 1공장은 반복순환 처리(재활용 금지)하고 2공장은 방류수 수질기준 이내로 처리한 후 방류한다.

침전지 청소시 1차농축조는 1공장은 배sludge지의 농축상징수를 배출수지에 이송 · 반복순환 처리하여 재활용을 금지하고, 2공장은 방류수 수질기준 이내로 방류한다. 또 조류와 원생동물 다량 발생시 현재는 방류설비가 없어 역세척수 재활용 금지가 불가능하므로 관련시설 보강전까지는 현행과 같이 재활용하고, 향후에는 방류수 수질기준 이내로 방류시킬 수 있도록 배출수지내에 정류벽과 모래제거 침사벽, hoist 및 sludge 처리 배관과 후단에 방류수조와 유량계 등 관련시설을 설치할 것이다.

2002년 정수장별 회수수 순환 현황은 아래와 같다.

팔당원수 재활용량은 6,535,000m3×178원/m^3 = 1,163,000,000원이고 한강원수 재활용량은 48,183,000m3×35.12원/m^3 = 1,692,000,000원이다.

회수량은 거의 역세척수이다.

Al이 농축하고 THMs이 증가하여 순환수의 수질이 좀더 나빠졌다. 아래의 표3-4-31을 보면 Al이 농축하였는데 순환수의 Al은 응집효율을 높여준다. 또 관찰 결과 Al은 입자수에 비례하고 있다. THMs도 증가하고 있다. 표3-4-32를 보면 뚝도에서는 휘발한 것 같다. 참고로, 배출수지(회수조 겸용) 체류시간은 뚝도 1.6, 영등포 1.1시간이다.

응집제를 투입할 때는 원수뿐만 아니라 원수와 회수수의 혼합수의 잔류염소와 pH 그리고 Al을 고려해야 한다.

뚝도와 영등포의 탁도와 입자수는 각각 0.38, 0.82NTU, 2,354, 1,233개/mL이다. 순환수의 pH와 잔류염소가 착수정수의 pH와 잔류염소(정수처리공정)에 미치는 영향은 적었다.

영등포의 경우 순환수의 수질이 원수보다 좀더

낫다. 탁도와 입자수가 더 낮아서 위생적으로 좀 더 안전하다. 영등포의 방류수의 수질이 우수한 것은 탈수시간이 다른 곳의 8시간 미만보다 2배 이상으로 길기 때문이다. 전염소가 적고 착수정수 pH가 높아서 처리수의 응집·침전이 더 불량하기 때문일 수 있으나 고형물의 물질수지 관계상 그 가능성은 적다.

Table 76. The quality of recycle water in the 4th quarter of 2003

구 분		원수	착수정수	순환수	방류수	정수	비고(원수)	
강북1계열	pH	7.15	7.13	7.41	7.15	7.13	11.27, 흐림	
	탁도(NTU)	3.27	2.88	7.83	6.70	0.07	수온 10.20℃	
	입자수(#/mL)	11,785	8,255	12,739	18,640	39	Alkalinity 39	
	R-Cl(mg/L)	-	0.03	0.02	0.02	0.63	$KMnO_4$ 소비량	
	THMs(mg/L)	-	-	0.005	0.003	0.006	원수	4.55
	Al(mg/L)	0.06	-	3.22	0.44	0.02 미만	정수	1.21
암사1공장	pH	7.20	7.10	7.11	7.15	7.00	11.25, 맑음	
	탁도(NTU)	3.34	3.40	9.90	2.53	0.06	수온 9.30℃	
	입자수(#/mL)	11,348	17,876	21,765	9,351	63	Alkalinity 35	
	R-Cl(mg/L)	-	0.56	0.11	0.08	1.03	$KMnO_4$ 소비량	
	THMs(mg/L)	-	-	0.011	0.015	0.011	원수	4.00
	Al(mg/L)	0.05	-	5.33	2.45	0.02 미만	정수	1.03
구의4공장	pH	7.31	7.17	7.04	7.12	6.88	11.28, 흐림	
	탁도(NTU)	3.62	0.30	5.32	1.87	0.05	수온 15.0℃	
	입자수(#/mL)	13,324	12,056	12,758	7,511	92	Alkalinity 38	
	R-Cl(mg/L)	-	0.30	0.11	0.05	0.95	$KMnO_4$ 소비량	
	THMs(mg/L)	-	-	0.025	0.030	0.009	원수	4.85
	Al(mg/L)	0.04	-	0.66	0.14	0.02 미만	정수	0.91
뚝도2공장	pH	7.40	7.02	7.04	6.98	7.02	12.3, 맑음	
	탁도(NTU)	2.79	2.54	2.28	4.38	0.08	수온 11.00℃	
	입자수(#/mL)	12,223	10,487	10,120	16,756	44	Alkalinity 35	
	R-Cl(mg/L)	-	0.22	0.04	0.01	0.84	$KMnO_4$ 소비량	
	THMs(mg/L)	-	-	0.008	0.024	0.010	원수	4.90
	Al(mg/L)	0.04	-	0.35	0.36	0.02 미만	정수	1.36
보광동	pH	7.44	7.08	6.88	6.98	7.05	12.4, 맑음	
	탁도(NTU)	4.40	3.26	2.44	4.38	0.06	수온 9.00℃	
	입자수(#/mL)	14,074	12,632	13,981	16,756	47	Alkalinity 44	
	R-Cl(mg/L)	-	0.06	0.03	0.02	0.80	$KMnO_4$ 소비량	
	THMs(mg/L)	-	-	0.010	0.024	0.010	원수	4.85
	Al(mg/L)	0.04	-	0.60	0.40	0.02 미만	정수	1.21
영등포3공장	pH	7.58	7.35	7.12	7.14	7.04	12.2, 맑음	
	탁도(NTU)	3.21	2.96	2.97	1.38	0.08	수온 13.00℃	
	입자수(#/mL)	9,817	9,763	3,134	6,754	53	Alkalinity 39	
	R-Cl(mg/L)	-	0.16	0.05	0.08	0.86	$KMnO_4$ 소비량	
	THMs(mg/L)	-	-	0.030	0.026	0.013	원수	4.55
	Al(mg/L)	0.04	-	0.19	0.12	0.02	정수	1.21

Table 77. The dosage of chemicals and the quality of recycle process water

구 분		원수	전염소	착수정수	응집제	PAC	후염소	정수	순환수	방류수
뚝도1공장	pH	7.40	4.9	7.02	10.0	3	0.9	7.02	7.04	6.98
	탁도	2.79		2.54				0.08	2.28	4.38
	입자수	12,223		10,487				44	10,120	16,756
	R-Cl	-		0.22				0.84	0.04	0.01
	THMs	-		-				0.010	0.008	0.024
	Al	0.04		-				ND	0.35	0.36
영등포3공장	pH	7.58	1.1	7.35	12.0	5	0.9	7.04	7.12	7.14
	탁도	3.21		2.96				0.08	2.97	1.38
	입자수	9,817		9,763				53	3,134	6,754
	R-Cl	-		0.16				0.86	0.05	0.08
	THMs	-		-				0.013	0.030	0.026
	Al	0.04		-				0.02	0.19	0.12

(1) Units = NTU, #/mL, mg/L
(2) ND of Al = below 0.02mg/L

암사는 1차보다 2차농축조가 더 큰데, 순환수 탁도가 9.90NTU로 다소 높은 편이다. 영등포도 1차보다 2차농축조가 더 큰데 1차와 2차농축조를 바꿀 예정이다.

강북 배출수지에서 나오는 상징수는 24,000~25,000m^3이다. 배sludge지의 교반기는 침전지 농도를 일정하게 만들어서 1차로 넘긴다. 1차농축조는 2×8,000m^3으로 방류수 수질기준을 맞추기가 빠듯하고, 침전이 나쁘고 pump 용량도 부족하다.

2차 농축조가 상당히 적어 2×1,000m^3에 불과해 부하가 매우 크다. 또한 세척수만도 180~200m^3이나 들어간다. 4m에 3m만 채워도 sludge가 부상한다.

배sluge지는 3,136m^3(2지), 배출수지는 6,412m^3(4지), 회수조는 3,206m^3(2지), 1차농축조는 7,696m^3(2지)이다.

2차농축조는 2,035m^3(2지)인데 24시간 가동시 방류기준을 충족하고 회수량은 30,000m^3(용량 문제)이고 방류량은 400~500m^3이다.

Sludge 저류조는 502m^3, 세정수조는 302m^3, 탈수기는 390kgDS/hr-대(6대)이다.

강북에서는 2002년 회수수의 수질을 검사하여 정수처리 공정에서 그 적정성 여부을 판단하고 검토하여 안전성을 확인하였다.

2002년 회수수 월 회수량은 625,541~1,022,819m^3으로 취수량 대비 3.3~4.8%, 평균 3.9%이다. 회수비율은 계절에 관계없이 고르게 나타났으며, 월별로는 1월, 2월이 3.3%로 최소값을, 11월이 4.8%로 최고값을 기록했는데 이는 정수처리시 침전지 청소 및 수질변화에 따른 역세빈도, 유량의 변화 등에 따라 배출수 유량이 달라져 회수유량이 월별로 달랐다. 상수원관리규칙에 따라서 회수수의 수질을 검사하였는데 서울시 정수장의 경우 회수수 사용에 관한 구체적인 지침이 없이 각 정수장 실정에 맞게 회수수를 착수정으로 반송하여 사용하고 있다.

강북의 경우 착수정으로 반송하는 회수수는 정수장에 들어오는 원수 수질과 같거나 그 이상으로 정기적인 수질검사를 실시하여 비교·사용하고 있다. 현재 우리나라의 정수장에서 사용하고 있는 대부분의 응집제주입량 조절방식은 유입유량과 연계하여 응집제주입률을 일정하게 맞추는 방식으로 회수수의 유량 및 수질에 대한 영향을 고려하지 않아 오차를 발생시킬 수 있는 실정이다. 강북의 경우 회수유량에 비례하여 응집제를 주입하고 있다.

착수정의 수질 data를 전송하여 DAS에 대한 오차를 줄이기 위해 현재 실험실 에서 착수정수를 jar 시험하여 응집제 주입률을 비교·보정하고 있다.

일부 문헌에서는 고탁도의 회수수가 오히려 저탁도 원수의 유입시 seeding effects 및 회수수 자체의 Al 성분으로 인해 응집효율을 높여 주고 그 효과는 회수수의 저장시간에 따라 감소한다고 보고하고 있다. 그러나, 전력비를 절감하기 위하여 야간에만 집중적으로 보내거나 회수유량이 급증할 경우 수리학적 충격부하를 일으켜 수질 저하를 가져올 수 있다.

가장 중요한 지표항목의 하나인 탁도는 원수 2.4～260(평균 16.8)NTU, 회수수 1.6～4.6(평균 3.0)NTU로 나타났으며, 회수수는 자연침강 처리로 탁도가 원수에 비해 일률적으로 낮고 안정하였다.

pH는 원수 6.75～8.04, 회수수 6.70～7.68의 범위로 원수보다 회수수가 낮게 나타났으며, alkalinity와 NH_4^+-N도 각각 원수 15～56, 0.01～0.08, 회수수 13～53, 0.02～0.05mg/L의 범위로 나타나 비슷한 경향으로 나타났다.

정수처리 공정에서 유기물량의 제거를 파악할 수 있는 $KMnO_4$ 소비량은 원수 3.6～10.8(평균 5.2)mg/L, 회수수 3.0～7.4(평균 4.7)mg/L로 회수수가 원수보다 약 10% 정도 낮게 나타났으며, 이는 유기물량이 원수에 비해 낮은 정수를 사용하는 여과지 역세척수가 침전지가 배출원인 1차농축조 상징수보다 회수비율이 높고, 배출수처리시설의 처리효율이 양호하기 때문인 것 같다.

강북의 경우 착수정으로 반송하는 회수수중 polymer 처리를 하지 않은 1차 농축조 상징수의 회수 비율은 전체 취수량의 5% 이내로 나타났다.

일반세균 및 대장균군은 각각 원수 16～52CFU/mL, 13～130개체/100mL, 회수수 12～49CFU/mL, 22～1400개체/100mL 범위로 대부분 원수에 비해 회수수에서 낮게 나타났으나, 대장균군의 경우 회수수에서 원수에 비해 월등하게 높게 나타나는 경우가 있다. 이는 1차 농축조의 overflow 현상에 기인하는 것 같다.

조류는 원수 510～14,720(평균 4,388), 회수수 490～13,940(평균 3,920)cell/mL로 원수가 회수수에 비해 다소 높게 나타났으며 원수와 회수수의 조류 개체수가 비슷한 추세를 띠었다. 또한, 부영양화 물질인 총인과 총질소가 원수에 비해 높게 나타나기 때문에 1차농축조나 회수조에서 체류시간이 길 경우 조류가 증식할 수 있다.

원수와 회수수의 수질 비교 결과 물속에 녹아있는 유리산소량을 의미하는 DO는 원수 9.1～14.8, 회수수 9.6～15.4mg/L로 거의 비슷하였다.

물속 유기물량에 대한 간접지표인 BOD와 COD는 각각 원수 1.4～2.0, 3.0～4.1, 회수수 1.3～2.2, 2.5～3.8mg/L의 범위를 나타내었다.

SS는 원수 3.4～31, 회수수 2.0～64.8mg/L 범위로 원수의 수질변화 및 배출수 처리 정도에 따라 변화가 크게 나타났다.

수원에서 부영양화 물질에 해당하는 T-P는 원수 0.04～0.05, 회수수 0.05～0.17mg/L로 원수보다 회수수가 높게 나타났으며 T-N의 경우에도 회수수 순환과정을 통해 원수보다 회수수가 약간 높게 나타났다.

결론적으로, 정수장에서 매일 시험하는 1일수질시험항목 및 상수원관리규칙상의 원수의 수질검사항목의 경우 대부분 회수수가 원수 수질보다 양호하거나 대등하으로 원수 + 회수수의 혼합수의 수질이 정수처리 공정에 영향을 미치지 않을 것 같다.

회수수는 수자원의 재활용 관점에서 접근함이 바람직하지만, 정수처리시 위생학적 안전성을 지속적으로 고려하고 감시해야 할 것이다.

2002년 한시적으로 분석한 수질검사항목을 확대하기보다는 재선별하여 정수장에서 자체적으로 검사함이 바람직하며 회수수 수질의 지표항목인 탁도, SS, 미생물(일반세균), 유기물($KMnO_4$ 소비량), 조류(맛냄새) 및 중금속(Al) 등에 대하여 지속적으로 monitoring하고 감시해야 한다.

배출수처리시설에서 처리효율을 파악하기 위해 고형물(부유물질) 검사항목과 채수지점을 재선정하여 배출수 공정의 고형물 제거율을 파악해야 한다.

양질의 회수수를 유지하도록 매일 순찰일보에 회수수(1차농축조 상징수)를 확인하여 이상발생시 회수를 중지하며 연간 2회(상・하반기 청소시) 이상 flushing을 실시한다.

암사의 배출수는 100NTU 이상이고 방류량은 2,500m^3, 회수량은 30,000m^3이고 하루 많을 때는 70,000～80,000m^3에 이른다.

Table 78. The expasion of discharge facilities of Amsa plant

구 분	1공장 (1,000,000m^3/일)	2공장 (620,000m^3/일)
배sludge지	102 + 750 = 852	578
배출수지	750 + 1,500 = 2,250	726
1차농축조	845	6,595
2차농축조	6,430	1,160

구의 1차농축조 상징수는 원수 수준이다. 560,000m^3의 2% 이상 곧 30,000～40,000m^3을 재활용할 수 있다. 따라서 취수비용(전력비, 원수비)을 줄인다. 방류량은 2,500～3,500m^3/일이다. 도수관로에 같이 묶어 놓아 150m 위쪽 원수 line으로 반송한다.

TS가 여름철에는 7～8mg/L이지만, 겨울철에는 1～2mg/L로 농축이 잘 안 일어나서 탈수가 잘

안 일어나는데 sludge 저류조에 소석회를 타면 농축성과 탈수성을 개선시킬 수는 있지만 sludge 부피가 증가한다.

2차농축조 용량은 9,070m^3이다.

뚝도의 하루 방류량은 2,000m^3이고 회수량은 11,000m^3이며 2차농축조의 용량은 6,080m^3이다. 하루에 10,000m^3중 7,500m^3은 회수하고 2,500m^3은 방류한다.

1차농축조 용량은 1,400m^3이고 2차농축조 용량은 2,800m^3이다.

영등포에서는 3공장으로만 회수한다. 1차농축조에서 물이 나쁠 때는 상징수를 바로 빼낸다. 1차농축조 유입량은 회수량(20,000m^3)과 방류량(2,000m^3, 공사개량으로 1,000m^3으로 예정)을 합친 것이다. 또 농축조는 1차(600m^3)와 2차(4,750m^3)를 바꿀 예정이다. 한편 탈수기가 4대로 그 용량이 적지만 침전지 청소시나, 장마철 고탁도시 하루 15시간 이상 가동하여 함수율을 낮추고 있다.

2004. 7. 1부터는 *Giardia* 정수처리기준 시행, 전국분포실태조사 실시 등 원생동물 대책을 강화할 예정이다. *Giardia* 정수처리기준에 발맞추어 여과수 탁도 기준은 0.5에서 0.3NTU 이하로 강화한다.

Giardia 정수처리기준 시행대비 도류벽 보강 및 추가소독능 인증에 따른 불활성화비를 검토해 보았다. 현재 거의 모든 곳에서는 최악의 경우 *Giardia* 불활성화비가 2 이상으로 나타났다.

서울시에서는 *Giardia* 소독기준 달성을 위해 시설과 운영조건을 개선하고 기준을 불만족할 때는 신속한 대응이 곤란하므로 기준의 200% 달성을 목표로 준비하고 있다.

강북은 소독능을 추가인증 받았다. 겨울철 최악조건에서 정수지 자체 *Giardia* 불활성화비 목표인 2 이상을 만족하기가 어려운 실정으로 정수장에서 가장 가까운 지점에 있는 지금배수지(남양주시에 공급)까지 추가소독능을 인증 받아 안정적인 수돗물을 공급하고자 한다.

강북에서는 소독능 최악 시기인 겨울철의 소독능을 평가하여 운영개선 필요 여부를 검토하였다. 평가 기간은 2003년 1~2월, 평가 기준은 *Giardia* 포낭 제거 CT값 3log이다. 급속여과 과정에서 *Giardia* 포낭 CT값은 2.5log로 판정하고 소독에 의한 제거 CT값은 0.5log로 판정한다.

평가 결과 2개월간의 일별 소독능(*Giardia* 포낭 제거 CT값) 평가 결과 강북에서는 1, 2월 혹한기에도 불활성화 비율이 각각 3.13(1월), 2.90(2월)으로 1 이상을 충족하여 만족하는 것으로 나타났다.

정수 탁도는 2개월 평균 0.04NTU로 기준에 만족하여 여과과정에서 2.5log 제거하는 것으로 나타났다.

따라서 강북은 시설개량이나 운영개선이 필요한 사항은 없다.

향후 급수구역 증가 및 생산량 증가 등 여건변화에 따라 지속적으로 소독능을 분석하고 평가할 것이다.

체류시간을 충분히 유지하기 위해서는 정수지의 수위를 최대한 활용하고(현재 4.1 ± 0.1m 이내) 최악 조건에서도 생산량에 비례하여 정수지 체류시간을 최대화할 수 있도록 운영할 것이다.

또한 계절별 목표 잔류염소 농도를 상시 유지할 것이다.

암사에서는 정수에 대한 CT값 및 불활성화비 검토 결과 연중 소독능이 가장 낮은 겨울철 최악조건에서 virus의 경우 5 이상으로 정수처리기준을 만족하고 있으나, *Giardia*의 경우에는 1공장 0.91, 2공장 0.93으로 정수처리기준에 미달하였다.

따라서 자체적으로 도류벽을 설치하는 한편 본부에서는 추가소독능을 인증 받았다.

정수지에 도류벽을 추가 설치하여 소독제와 접촉하는 시간을 증대시켜 정수지의 장폭비 증대효과로 CT값 유효 산정계수 0.5를 0.75로 높였다.

2003년 상반기에 1공장 정수지 일부, 2공장 전체에 대하여 도류벽 공사를 1차로 완료하였고 정수처리기준 시행전인 2004년 상반기까지 전 정수지에 대해 도류벽 공사를 완료할 예정이다.

또한 소독제의 주입농도를 안정적으로 유지하고 있다. 정수지 잔류염소를 목표 기준값으로 안정하게 운영관리한다. 목표값은 겨울철(11~4월) 0.85 ± 0.1, 여름철(5~10월) 1.0 ± 0.1mg/L이다. 정수지 접촉시간을 증대시키기 위해 최저수위를 3.8m 이상으로 높고 안정하게 유지한다. 또 소독능이 낮아지는 겨울철에 불활성화비 목표값을 유지하기 위해 소독제 접촉시간을 증가시키기 위한 적정 생산량을 조정하여 운영한다.

한편 본부에서는 추가소독능 인증을 추진하였다. 관로 및 배수지에서 추가소독능 인증(한국상하수도협회)으로 불활성화비를 증대시켰다. 또한 2006. 6 길동배수지 완공전까지 강동 직수공급지역의 우면산 line을 정비하여 길동배수지 유입·유출관로를 이용한 우회급수를 추진하고 길동 배수지를 조기에 완공하고자 한다.

Table 79. The inactivation ratio of Amsa plant in the winter of the worst condition(2003. 1)

구 분		정수지 사용용량(m^3)	평균 생산량(m^3/일)	시간최대 평균유량(m^3/hr)	장폭비 환산계수	잔류 염소 (mg/L)	CT계산값 (mg/L ×min)	*Giardia* 불활성화비	*Giardia* 기준초과일수
1공장	1,2단계	27,000	433,000	19.5	0.5	0.75	31.2	0.8	18/31
	3,4단계	36,000	380,000	19.8	0.6	0.75	49.1	1.3	4/31
2공장		13,000	215,000	11.4	0.4	0.75	20.5	0.5	31/31

※ When the water temperature 0.4℃, pH 7.3, $CT_{requred}$ 38mg/L×min.

분석결과 전 공장이 기준을 만족하지 못하였다.

또 도류벽 공사완료 및 추가소독능 인증후 *Giardia*에 대한 CT값 및 불활성화비 검토 결과 연중 소독능이 가장 낮은 겨울철 최악조건에서 1공장 4.70, 2공장 3.33으로 정수처리기준 및 서울시 목표값 2 이상을 만족하였다.

겨울철 최악조건시(2003. 1, 수온 0.4℃, pH 7.3, $CT_{요구}$ 38) 전 공장이 기준을 불만족하였다.

정수지 도류벽을 1차 보강한 현재 장폭비 환산계수는 0.50～0.75이다.

Table 80. The inactivation ratio after installing additional horizontal baffles for the 1st time

구 분		정수지 사용용량(m^3)	시간최대 평균유량(m^3/hr)	장폭비 환산계수	잔류염소 (mg/L)	CT계산값 (mg/L ×min)	*Giardia* 불활성화비
1공장	1,2단계	27,000	22,350	0.50	0.75	27.2	0.66
	3,4단계	36,000	22,350	0.65	0.75	47.1	1.15
2공장		13,000	11,500	0.75	0.75	38.2	0.93

※ We supposed that it was the winter of the worst condition(January) or water temperature 0.4℃, pH 7.5, $CT_{required}$ 41mg/L×min.

시간당 최대유량은 청담배수지 급수체계 변경으로 120,000m^3 증가후 2003년 6월중 시간최대 유량값을 적용하였다.

잔류염소는 겨울철 목표값 0.85 ± 0.1에서 최소값인 0.75mg/L를 적용한다.

2004년 상반기에 완료하는 정수지 도류벽 2차 보강후에는 현재의 장폭비 환산계수가 0.50～0.75에서 0.75로 증가할 것이다.

Table 81. The inactivation ratio after installing additional horizontal baffles for the 2nd time

구 분		정수지 사용용량(m^3)	시간최대 평균유량(m^3/hr)	장폭비 환산계수	잔류염소 (mg/L)	CT계산값 (mg/L ×min)	*Giardia* 불활성화비
1공장	1,2단계	27,000	22,350	0.75	0.75	54.4	1.33
	3,4단계	36,000	22,350		0.75	47.1	1.15
2공장		13,000	11,500		0.75	38.2	0.93

(1) We supposed that it was the winter of the worst condition(January) or water temperature 0.4℃, pH 7.5, $CT_{required}$ 41mg/L×min.
(2) The maximum flow rate = 120,000m^3/hr
(3) The residual Cl = the minimum goal of the winter or 0.85 ± 0.1 = 0.75mg/L

Table 82. The inactivation ratio after the supplement of horizontal baffles and the certification of additional inactivation ratio of Amsa plant

구 분		추가소독능		비고
		인증전	인증후	
1공장	1, 2계열	1.00	1.00 + 1.80 = 2.80	추가소독능 인증후 목표값 달성
	3, 4계열	1.33	1.33 + 2.40(청담) = 3.73 6.20(노량진) = 7.53	
2공장		0.93	0.93 + 2.40 = 3.33	

본부에서 추진하는 추가소독능 인증에 따른 불활성화비 검토 결과는 위와 같다.

구의에서는 정수처리기준(2002년 7월) 제정에 따라 2002년 8월부터 virus 기준의 소독능(CT값)과 여과수 탁도는 매월 환경부에 보고하고 있으며 소독능 결과는 아래와 같다.

4공장의 경우는 겨울철에도 소독능을 만족하지만, 3공장의 경우 수온이 낮아지는 11월부터는 *Giardia*에 대한 소독능을 만족하지 못하고 있다.

3공장 전염소처리에 의한 추가소독능 확보에 대한 가능성을 검토해 보았다.

2003년 1월 겨울철 수질 및 공정 data를 이용하여 평가한 결과, 전염소에 의한 추가소독능(불활성화비)은 약 0.2로, 정수지의 0.5를 합쳐도 총 합계가 0.7이므로 불활성화비 1을 만족하지 못한다.

Table 83. The status of residual Cl and inactivation ratio of pumped water from Gueui plant(2002. 8～2003. 2)

구 분	수온 (℃)	3공장				4공장			
		잔류염소 (mg/L)	CT값 (mg/L ×min)	불활성화비 (virus)	불활성화비 (*Giardia*)	잔류염소 (mg/L)	CT값 (mg/L ×min)	불활성화비 (virus)	불활성화비 (*Giardia*)
8월	22.4	0.94	22.9	18.8	2.8	1.07	76.3	62.7	9.1
9월	20.8	0.96	23.6	17.5	2.5	1.05	77.0	56.5	7.8
10월	17.2	0.92	26.5	15.1	2.1	1.12	80.2	46.2	6.1
11월	8.6	0.86	14.9	4.71	0.7	1.09	69.2	22.2	3.3
12월	4.8	0.86	15.6	3.72	0.6	1.05	61.0	14.8	2.1
1월	2.1	0.84	17.2	3.39	0.5	0.92	63.9	12.9	1.9

또한 착수정에서 잔류염소가 불균일하며, 또는 나타나지 않는 경우도 있어 하루 최악의 수질기준으로 평가하는 정수처리기준에 적용하기 어렵다.

소독능을 향상시키기 위해서는 배수지와 송수관로의 소독능을 인정하고 3공장 직송 line을 폐쇄하고 도류벽을 설치해야 한다.

구의의 경우 면목배수지 설치(2002. 12월 완료, 현재 운영)로 3, 4공장 모두 대배수지 공급체계로 전환하였으며, 배수지까지 염소의 충분한 접촉시간을 확보하여 실제 수요가로 공급하는 수돗물에서는 소독능이 충분하다.

배수지까지 감안한 *Giardia* 기준 불활성화비는 다음과 같다.

Table 84. The improvement of inactivation ratio set by the reference for *Giardia*(in January)

구 분	정수지	배수지(아차산)	배수지(면목)
불활성화비 ($CT_{계산}/CT_{요구}$)	0.5	1.6	1.7

기존의 직송수계는 2계열(면목, 성북)로 이루어

져 있으며, 2002년 12월 면목배수지를 완공하면서 성북 line은 용마배수지와 이어지고, 면목 line은 본부 지시로 관로내의 물의 정체방지와 관의 보호 측면에서 매우 적은 양(약 17,000m^3/일)을 일부 지역에 공급하고 있는 실정이다.

2004년 대비 정수처리기준을 만족하기 위해서는 현재의 직송 line은 폐쇄하고 전량 배수지 공급체계로 전환해야 한다.

장기적으로 수계변동 등에 대비하여 정수장내에서 불활성화비 1.0 이상을 유지하기 위해 정수지내 도류벽을 설치(향후 실시할 3공장 시설정비와 연계하여 설치여부 검토)해야 한다.

특히 도류벽의 장폭비(L/W)를 현재의 4.6에서 60까지 증가시키고, 전단과 후단에는 유공정류벽을 설치해야 하며, 상기 system을 구비할 경우 정수지에서 불활성화비 1.0 이상을 만족할 수 있다.

광암의 맥동 system은 원수가 맥동침전지 하부에서 위로 흐르면서 중간층에 탁질 억류층(sludge blanket층)을 형성하고 응집물이 많아지면 sludge 수집조로 유출시켜 제거하지만(맥동 작용에 의하여) 현재 설계시 1,000,000m^3에 맞추어 하부 hume관을 설치(규격 450mm)하여 침전지 전체에 물이 골고루 퍼지지 못하고, 맥동파장이 잘 미치는 중앙부만 물이 상향류하여 가장자리에 사각지대가 발생하며 수온차나 흐름이 원활하지 못하므로 밀도류 및 대류현상이 발생하여 침전지내에 탁질이 부분적으로 부상하는 현상이 발생하고 있다.

맥동실에서 배열한 hume관의 78열 유입구에 유량조절판을 설치하고 맥동실의 자연수위가 침전지 수위보다 3~5cm 높게 유량조절판의 열림을 조절하여 강제배분하였다.

개선 결과 침전지에 전면적으로 맥동 파장이 미쳐서 밀도류 및 대류현상이 줄어들고 침전지가 전반적으로 안정해지고 부분적 탁질 부상현상이 줄어들어 상징수의 수질이 좋아졌다.

광암에서는 현재 중력식 여과방식으로 정수변을 개폐하여 정수위를 유지하도록 유출량을 자동조정하고 있으나 정수변을 약 15~20초 간격으로 수시 개폐하므로 개도시는 통과유속이 97m/일에서 폐쇄시는 8m/일로 유속변동이 심해서 여과지 통과유속의 수시 증가·감소에 따라 억류 탁질이 누출하였다.

2개의 여과지에 대하여 중앙제어실 조정 computer에 제어방법(parameter program 조정)을 변경하고, 정수변의 개폐율이 최소로 움직이도록 현장 조정하여 여과지의 통과유속이 최소로 변동하도록 개선하였다.

그 결과 여과수에 입자수 누출이 기존방식의 65개/mL 수준에서 30개/mL 수준으로 수질개선의 효과가 크게 나타났고 여과수 생산속도가 일정해져서 정수생산이 안정적이며, 지별 수질관리가 수월해졌다.

암사의 탈수 cake의 함수율은 sludge의 성상, 약품종류와 투입량, 여과포의 막힘 정도, 탈수기 운전방법 등에 따라서 달라질 수 있으며 sludge의 성상과 연계하여 약품투입이 자동으로 이루어져야 이상적이므로 암사의 배출수처리장의 처리시설중 약품(고분자응집제) 투입 자동장비를 갖추었으며 다음과 같은 요소를 활용하여 탈수기를 운영함으로써 함수율을 저감시켰다.

Table 85. The moisture content of sludge cake from Amsa plant

구 분	2000년	2001년	2002년	2003년 (목표값)
함수율(%)	74.8	74.0	72.9	71.0

약품자동조절장치를 설치하여 일정 sludge에 대한 약품비율을 설정함으로써 sludge와 약품의 혼합상태 및 응집상태를 파악하여 자동으로 약품투입량을 조정, 약품의 과소 및 과다투입을 방지하고 적정량을 혼합시켰다.

여과포 막힘현상을 방지하기 위하여 여과포 끝단에 세척 nozzle을 추가로 설치하였고 여과포 세척 nozzle을 항시 주기적으로 청소하였다. 또 기존 여과포 세척수 pump(30hp)를 다단 pump(50hp)로 교체 운전하였으며 작업 종료후에도 20분간 여과포 세척수 pump를 가동시켜 세척하였다.

탈수기 운전방법도 개선하였다. 탈수 cake의 생산에 지장이 없는 한 여과포 이동속도를 1.75m/분(감속비 0.4)에서 1.33m/분(감속비 0.3)으로 조정함과 동시에 최대한 저속으로 조정하여 운전함으로써 탈수기 roller에 여과포 접속시간을 증대시켰다.

또한 여과포의 압력을 0.3kg_f/cm^2에서 0.35~0.4kg_f/cm^2로 올려서 유지하였다.

2차농축조 sludge 인발을 원활하게 하고 sludge의 굳음현상을 방지하기 위해 주기적으로 수중 pump를 가동하여 sludge를 흩으러 주었다.

농축조 유입 sludge의 농도가 고농도시(장마철, 침전지 청소)에는 1차농축조 sludge를 바로 저류조로 유입시켜 탈수작업을 실시하였다.

또한 탈수기를 수분흡착형 고압식으로 개량하였다. 2003년 하반기에는 기존탈수기(10대)중 일부(4대)를 개량(고압탈수부 설치)하여 탈수하였다.

결 론

서울시 6개 정수사업소를 대상으로 실시한 2003년 1/4분기 정수처리 공정별 수처리 평가의 결론은 다음과 같다.

1. 정수탁도 조사 결과 모두 0.05~0.07NTU의 범위로 수질관리 상태가 매우 우수하였다.
2. 탁도의 제거효율은 침전공정까지 평균 90.0%, 여과공정에서는 평균 82.8%이었고 전체적인 제거효율은 평균 98.6%로 높게 나타났다.
3. $KMnO_4$ 소비량은 정수의 경우 1.41~1.91mg/L로 모두 수질기준 1/5 이하였다. 전체적인 제거효율은 평균 72.1%로 나타났다.
4. 정수 THMs 농도는 0.05~0.15(평균 0.10)mg/L로 2002년 4/4분기의 평균값과 일치하였고 2002년 1/4분기의 결과와도 비슷한 수준으로 나타났다.
5. 정수 Al 농도는 정수의 경우 0.04~0.07mg/L로 나타나서 정수장별로 큰 차이는 없었으며 수질기준값 0.2mg/L의 1/3 이하로 양호하였다. 또 침전수의 경우는 평균 0.34mg/L로 나타났다.
6. 입자수(크기 2~100㎛) 분석 결과 침전수의 경우는 mL당 평균 671개로 나타났고 정수는 mL당 평균 79개로 수질이 매우 우수하였다.
7. 정수사업소별로 여과모래 오염도 조사현황을 점검한 결과 주요 검사항목은 sludge 함량, 세척탁도이었고 sampling 지점은 대개 표층부터 깊이별로 나누었다. 그러나 정확한 지침이 없어서 정수장별로 검사항목과 방법 및 절차가 서로 달랐는데 구체적인 표준지침을 마련해야 한다.
8. 여과지에서 trough는 적정 높이를 유지해야 한다. 너무 낮으면 역세척시 여과사가 많이 넘어가고, 너무 높으면 역세척수가 원활하게 빠지지 않아서 역세척 효율이 떨어지므로 여과수 수질이 나빠진다. 모래층 표면부터 trough 위끝까지의 높이는 상수도시설기준에서 역세척속도, 여과층의 팽창률, 여재입도 등을 고려하여 40~70cm를 유지하도록 권고하고 있다. 조사기간 동안 정수장 여과지별로 모래층 표면부터 trough 위끝까지 높이를 측정한 결과 전 공장 모두 40~70(평균 55)cm로 모래층 높이를 잘 관리하고 있었다.

서울시 6개 정수사업소를 대상으로 실시한 2003년 2/4분기 정수처리 공정별 수처리 평가의 결론은 다음과 같다.

1. 모든 검사항목이 먹는물 수질기준 미만으로 양호한 수질을 유지하였다.
2. 정수탁도는 6개 정수사업소 모두 올해 정수장 관리목표인 0.08NTU 이하를 달성한 0.04~0.06NTU의 범위로 정수장별로 큰 차이 없이 수질관리 상태가 매우 우수하였다.
3. 탁도의 공정별 처리효율은 침전공정까지 뚝도1공장에서 97.5%, 여과효율은 영등포3공장에서 93.8%로 가장 높았다. 그리고 원수부터 정수까지 총제거율은 정수탁도가 0.04NTU로 최소였던 구의가 99.5%로 가장 높았다.
4. 정수 잔류염소의 농도는 0.68~0.97mg/L의 범위로 목표값 이내에서 다소 높게 나타났다. 미생물학적인 안전성을 확보하기 위하여 후염소 처리를 강화했기 때문이다.
5. $KMnO_4$ 소비량은 정수의 경우 전체 정수사업소에서 수질기준의 1/7~1/11 수준으로 양호하였고 전체 처리효율은 뚝도와 보광동이 80여%로 가장 높고 광암이 60.5%로 가장 낮았다.
6. 정수 THMs의 농도는 0.009~0.024(평균 0.015)mg/L로써 수질기준의 1/4~1/11 수준으로 매우 양호하였다. 2003년 1/4분기의 0.005~0.015(평균 0.010)mg/ L보다 50% 정도 증가하였고 2002년 2/4분기의 0.011~0.025(평균 0.016)mg/L와 비교하면 약간 감소하였다.
7. Al의 농도는 정수에서 0.04~0.09(평균 0.065)mg/L로써 수질기준의 1/2~1/5 수준으로 양호하였고 신월이 가장 높고 광암이 가장 낮았다. 침전수속 농도는 0.12~0.25mg/L로써 구의가 가장 높고 뚝도가 가장 낮았다.
8. 응집기 운영현황을 조사한 결과 대부분의 정수장에서는 수온별로 체계적인 G값 조견표를 만들어 응집기를 잘 운영하고 있었다.
9. Belt식으로 운전하는 응집기의 경우 G값이 서로 달라서 유지관리가 어렵고 이를 조절할 수 없으므로 inverter를 설치할 계획을 추진하고 있었다.
10. 2001년 폭우가 내린 7.15~16의 수질일보를 검토한 결과 원수의 탁도가 높고 pH가 낮은 강우초기에 침전수와 여과수 수질이 나빠졌다. 순간적인 고탁도 유입시 적기에 대처하지 못했기 때문이다.
11. 보광동에서는 2002년 장마초기 및 후기에 polyamine을 0.2~0.3mg/L로 소량 첨가하여 여과효율을 증가시킴으로써 정수의 탁도 및 잔류염소를 각각 평상시와 같은 0.1NTU 이하, 0.8~1.0mg/L로 유지시켰다.
12. 원수수질이 급변할 때는 조견표(탁도상승 및 하강시)에 따라 응집제 및 알칼리제를 즉각 투입하고 시간대별로 jar 시험을 실시하여 이를 보정해야 한다.
13. 알칼리제만 과량 주입하면 응집효율이 떨어지므로 침전수탁도 상승에 따라 알칼리제 투입량을 임의로 늘리지 말고 jar 시험에 의해서 증감해야 한다. 구의에서는 알칼리제 투입률 관리를 가장

중요한 운전인자로 인식하고 알칼리제 과소투입을 실시간대에 확인·감시할 수 있는 계측기 system을 설치·운영하고 있었다. 그 얼개는 알칼리제 투입 → pH 측정 → 응집제 투입 → pH 측정이다.
14. 침전수의 수질이 나빠지면 polyamine을 여과보조제로 사용하고 응집보조제 사용도 검토해야 한다.

서울시 6개 정수사업소를 대상으로 실시한 2003년 3/4분기 정수처리 공정별 수처리 평가의 결론은 다음과 같다.
1. 모든 검사항목이 먹는물 수질기준 미만으로 그 값이 매우 낮았다.
2. 정수탁도는 6개 정수사업소 모두 0.05~0.08NTU의 범위로 정수장별로 큰 차이 없이 올해 정수장 관리목표인 0.08NTU 이하를 달성하여 수질관리 상태가 매우 우수하였다.
3. 탁도의 공정별 처리효율은 침전공정까지 영등포3공장에서 97.0%, 여과효율은 보광동에서 97.2%로 가장 높았다. 그리고 원수부터 정수까지 총제거율은 모두 99.6% 이상으로 높았는데 원수 탁도가 17.3NTU 이상으로 모두 높았기 때문이다.
4. 정수 잔류염소의 농도는 0.78~1.00mg/L의 범위로 목표값 이내에서 다소 높게 나타났다. 미생물학적인 안전성을 확보하기 위하여 후염소 처리를 강화했기 때문이다.
5. $KMnO_4$ 소비량은 정수의 경우 전체 정수사업소에서 수질기준의 1/7~1/12 수준으로 양호하였고 전체 처리효율은 뚝도3공장이 82.5%로 가장 높고 보광동이 68.3%로 가장 낮았다.
6. 정수 THMs의 농도는 0.011~0.021(평균 0.014)mg/L로써 수질기준의 1/5~1/9 수준으로 매우 양호하였다. 2003년 1/4분기의 0.005~0.015(평균 0.010)mg/ L보다 50% 정도 증가하였고 2003년 2/4분기의 0.009~0.024(평균 0.015)mg/L와 비슷한 수준을 유지하였다.
7. Al의 농도는 정수에서 0.02~0.05(평균 0.03)mg/L로써 수질기준의 1/4~1/10 수준으로 양호하였다. 강북과 영등포가 0.05mg/L로 가장 높았고 나머지는 모두 0.02mg/L이었다. 침전수 속 농도는 0.13~0.40mg/L로써 영등포가 가장 높고 암사가 가장 낮았다.
8. 혼화기 운영현황을 조사한 결과 일부 정수장에서는 원수 조건(수온)에 따라 G값을 변경시키지 않고 고정시켜서 운전하고 있었다. 그러나 응집기 뿐만 아니라 혼화기의 경우도 GT 또는 GCT 값을 관리하기 위하여 교반기를 변경운영하고 자료를 축적해야 한다.
9. G, GT 또는 GCT값은 수온뿐만 아니라 수질, 유량, ALT비 등으로 변경 기준을 다원화하여 검토하고 조정해야 한다.
10. 입자가 미세한 장마 후기에는 혼화기의 G값을 상향 조정하여 약품혼화 효율을 높여야 한다.
11. 전염소를 적정하게 투입하여 과량투입을 방지함으로써 THMs 생성을 억제하고 염소 사용량도 절감해야 한다.
12. 향후 취수장의 전염소 자동주입에 대비하여 전염소 주입률, 착수정 잔류염소, 후염소 주입률, 정수지 잔류염소 등의 자료를 축적해야 한다.
13. 장마철 pH와 alkalinity가 낮고 NH_4^+-N 농도가 낮을 때 한시적으로 전염소를 줄이고 중간염소(0.1~1.0mg/L)로 대처하면 흙냄새와 소독부산물을 감소시킬 수 있다. 중간염소는 특히 남조류가 발생할 때는 반드시 활용해야 한다.
14. 보광동에서는 전염소와 중간염소를 병행처리함으로써 pH를 조절하여 응집·침전 효율을 개선하고 잔류Al의 용해도도 감소시켰다.

서울시 6개 정수사업소를 대상으로 실시한 2003년 4/4분기 정수처리 공정별 수처리 평가의 결론은 다음과 같다.
1. 모든 검사항목이 먹는물 수질기준 미만으로 그 값이 매우 낮았다.
2. 정수탁도는 6개 정수사업소 모두 0.05~0.08NTU의 범위로 정수장별로 큰 차이 없이 올해 정수장 관리목표인 0.08NTU 이하를 달성하여 수질관리 상태가 매우 우수하였다.
3. 탁도의 공정별 처리효율은 침전공정까지 뚝도3공장에서 88.5%, 여과효율은 영등포3공장에서 93.8%로 가장 높았다. 그리고 원수부터 정수까지 총제거율은 원수 탁도가 가장 높은 보광동이 98.6%로 가장 높았다.
4. 정수 잔류염소의 농도는 0.72~1.03mg/L의 범위로 목표값 이내에서 다소 높게 나타났다. 미생물학적인 안전성을 확보하기 위하여 후염소 처리를 강화했기 때문이다.
5. $KMnO_4$ 소비량은 정수의 경우 전체 정수사업소에서 범위 0.91~1.39, 평균 1.14mg/L로써 수질기준의 1/7~1/11 수준으로 양호하였고 전체 처리효율은 구의4공장이 81.2%로 가장 높고 광암이 우면산 정수지와 청담 정수지에 대하여 각각 67.3과 71.5%로 가장 낮았다.
6. 정수 THMs의 농도는 0.006~0.011(평균 0.010)mg/L로써 수질기준의 1/9~1/17 수준으로 매우 양호하였다. 2003년 1/4분기의 0.005~0.015(평균 0.010)mg/ L와 비슷하였고 2003년 2/4분기의 0.009~0.024(평균 0.015)mg/L, 2003년 3/4분기의 0.011~0.021(평균 0.014)mg/L보다 50% 정도 감소하였다.
7. Al의 농도는 정수에서 ND~0.04mg/L로써 수질기준의 1/5~1/10 이하 수준으로 양호하였다.

영등포가 0.04mg/L로 가장 높았고 나머지는 모두 ND나 0.02mg/L이었다. 침전수속 농도는 0.16~0.31mg/L로써 영등포가 가장 높고 뚝도가 가장 낮았다.

8. 배출수처리시설 운영관리 표준지침을 마련해야 한다. 배출수 순환은 취수비용(전력비, 원수비) 절감, 유효율 제고, 방류수 기준 충족, 또 설계목적(규모) 측면에서 선택사항이 아니다.

9. 다만 미생물학적 안정성을 확보하기 위하여 남조류, 규조류가 다량 발생할 때는 맛냄새 발생과 여과지 폐색을 억제하기 위하여 배출수지 및 1차 농축조 상징수는 하천에 방류한다. 또 침전지 청소시에도 회수를 자제해야 한다.

10. 침전지 sludge는 역세척 배출수지로 방출하지 말고 직접 방류하는 것이 좋다. Sludge가 묽어지고, 유독한 물질이나 맛냄새 유발물질 등이 처리수를 오염시킬 수 있기 때문이다.

11. 앞으로 배출수처리 공정을 정비할 때는 혼합처리와 무처리방식의 문제점을 해결할 수 있는 응집·침전 처리방식을 채택해야 한다.

12. 제1형식은 1차농축조 표면부하율이 커서 처리효율이 떨어지므로 상징수 탁도가 높다. 따라서 sludge의 계내 축적기간을 단축하도록 제2형식으로 1, 2차 농축조의 기능을 전환시켜야 한다.

13. 배sludge지는 sludge 저류시설이 아니고 중계시설이므로 sludge가 침전·축적하지 않도록 지내에 느린 혼화기를 설치하고 빨리 이송한다.

14. 1차농축조 상징수를 반송할 때는 회수조를 가급적 별도 설치하거나 배출수지에 일정 구역을 설정하여 침전구역과 완전히 분리시킨다.

15. 역세척 배출수 처리량을 적절히 조절한다. 과부하시는 무처리혼합방식으로 운영한다.

16. 분말활성탄을 많이 투입할 때는 - ion으로 대전하는 floc이 많아 - ion계 polymer는 농축효율이 떨어지므로 + ion계를 사용한다.

17. 응집제 주입량의 logic에는 원수뿐만 아니라 회수수의 양과 질도 고려해야 한다.

국 문 요 약

본 조사는 2003년 서울시 정수장의 단위 공정별 수질특성과 운영실태를 조사하였다. 침전수 탁도는 대부분 1NTU 이하로 나타났고 여과수 및 정수 탁도는 목표값인 0.1NTU 미만이었다. 침전수 및 정수의 $KMnO_4$ 소비량은 각각 5mg/L, 2.5mg/L 이하 곧 수질기준의 1/2 이하이었으며 정수의 THMs 농도는 모두 30㎍/L 이하로 기온이 높은 여름철 더 높게 나타났다.

여과사 오염도 조사현황, 혼화기와 응집기의 운전실태, 순환공정의 유지관리 등, 단위 공정의 운영은 주의깊고 지속적인 개선 노력에 의하여 무난하게 이루어지고 있었다.

참 고 문 헌

1. 상수처리, 유명진 역, 동화기술, 1995

2. 상수도시설기준, 환경부, 1997

3. 정수처리기술진단세미나, 대한상하수도학회 수도연구회, 1998

4. 오염물질 유입시의 정수처리기법 연구, 환경부, 1995

5. 기존정수장효율향상기술, 한국수자원공사, 1997

6. 배출수처리설비 운영개선 기술자문보고서, 서울시상수도사업본부, 2000

7. Assessing treatment plant performance, Willia-m D.Bellamy, John L.Cleasby, Gary S.Logsdon, and Martin J.Allen, J.AWWA, Dec. 1993

8. Filter backwash and start up strategies for en-hanced particulate removal, Jason F.Colton, Pet-er Hillis and Caroline S.B., Water Research Vol.30 No.10, pp2502-2507, 1996

9. Filtration, Frederick W. Pontius, Water qualit

-y and treatment 4th Ed., AWWA, pp516-553
10. Maintaining optimum filter rerformance through a continul assesment program, John J.Muldowney, Jerry Kuziw, and etc., Proceeding -s of AWWA Annual Conference, pp 353-371 (1996)
11. Minimizing post backwash filter effluent turbidity spikes to meet partnership for safe water goals, John Muldowney, Joanne Anovick, Kate Guest, Donna Schwartz, Philadelphia water department
12. Modifying a backwash trough to reduce me -dia loss, Susuma Kawamura, Issam N.Najm, an -d Karl Gramith, J.AWWA, December 1997
13. Optimizing your plants's performance, Pizzi, Nick, AWWA Opflow, May 1996
14. Pennsylvania's filtration evaluation program, Phil J.Consonery, Donald N.Greenfield and Jose -ph J.Lee, AWWA, August 1997
15. 生物起因の 異臭味水對策の 指針, 日本水道協會, 1999