

취수원수 수질동향 고찰(2004년 주간조사)

수질연구부 수질조사과

박창민, 정중순, 이준호, 이규석, 조덕현, 오세중

Raw Water Quality in Seoul(Weekly Investigation)

Water Quality Examination Division

Chang-Min Park, Jong-Soon Jung, Jun-Ho Lee, Kue-Suk Lee
Duc-Hyun Cho and Sea-Jong Oh

ABSTRACT - This study was performed, from January to December in 2004, to investigate on the characteristics of water quality at the resources in the Han river. Annual concentrations of BOD were allowed with environmental water quality grade II which is criteria applied and managed for water resources. The average BOD was 1.7 mg/L with a range of 1.5 ~ 2.0 mg/L. One main peak, in spring, was observed by change of the season. It is considered that peak in spring was due to drought and algal blooms.

Key words : water quality, the Han River, water resources, raw water

서론

취수원수 수질조사는 수도법(상수원관리규칙)의 규정에 따라, 서울시 6개 정수사업소 취수장의 취수구 유입 전 단계에서 원수에 대해 실시하는 수질조사이다. 원수에 대한 상시적인 모니터링은 수질현황과 변동추세를 파악하고, 수질변화를 예측하여 정수처리 공정에서 적절한 대응을 가능토록하며, 상수원 수질에 대한 기초 자료를 제공하여 상수원 보호에 기여함을 목적으로 하고 있다.

서울시는 6개 취수장의 취수원수에 대해 총 111개 수질항목(법정항목: 23개 항목)을 분석하고 있으며, 주요 수질오염지표 14개 항목에 대해서는 주간단위로 주기를 강화하여 실시하고 있다. 본 조사보고서는 주간단위로 실시된 조사결과만을 대상으로 하고 있다.

조사내용 및 방법

1. 조사지점

취수원수 수질조사지점은 팔당댐에서 잠실수중보간 서울시 5개 취수장과 수자원공사 광역상수도 1-2단계 취수장(광암)의 총 6개 지점을 대상으로 하며, 조사지점 위치는 표 1.과 그림 1.에 나타내었다.

표 1. 채수지점의 행정구역

지점명	행정구역
광암	경기도 하남시 배알미동 수자원공사 광역1-2단계 취수장
강북	경기도 남양주시 외부읍 도곡리 강북취수장
암사	서울특별시 강동구 암사동 암사취수장
구의	서울특별시 광진구 광장동 구의취수장
자양	서울특별시 광진구 자양동 자양취수장
풍납	서울특별시 송파구 풍납동 풍납취수장



그림 1. 채수지점 현황도

2. 조사방법

1) 조사주기

6개 지점에 대해 주 1회의 주기로 조사를 실시하였으며 조사일시는 가능한 한 매주 수요일을 원칙으로 하여 실시하였다. 시간대별 수질에 급변의 우려가 있는 집중 강우시를 제외하면, 기상상황보다는 채수일간의 간격을 일정하게 유지하는데 우선하여 채수를 실시하였다.

2) 수질분석 항목

환경정책기본법 시행령 제2조 별표1의 수질환경기준에 규정되어 있는 하천수 및 호소수 수질

기준, 상수원관리규칙의 상수원수 수질검사항목의 9개 항목과 정수처리 참고 항목으로 5개 항목을 선정하여 총 14개 항목을 대상으로 주간검사를 실시하였고, 별도로 총대장균군의 경우는 매월 2회 분석을 실시하였다.

각 항목의 분석은 수질오염공정시험법과 먹는물시험법에 준하였으며, 기타 일본상수시험법(2001년)과 미국의 Standard Method(20th)를 참고하여 분석하였다. pH, 수온, 용존산소, 전기전도도의 4개 항목은 현장에서 측정하였다.

표 2. 수질분석 항목

법적근거	항 목
수질환경기준 및 상수원관리규칙	pH, BOD, COD, SS, DO, NH ₃ -N, NO ₃ -N, T-N, T-P
정수처리	수온, 전기전도도, TOC,
참고항목	조류개체수, 클로로필-a

※ 총대장균군 : 월 2회 분석

조사대상 현황

한강은 강원도 태백시 금대산 북쪽계곡에서 발원하여 경기도 김포군 월곶면 유도에서 서해와 합류하는 유로연장 497.5 Km의 대하천으로 직할 하천 15개소, 지방하천 12개소, 준용하천 678개소를 거느리고 있으며 유역면적은 26,219Km²으로 전국토의 26%를 차지하고 있다. 한강수계의 유역 중 서울시 취수장이 위치한 팔당댐에서 잠실수중보간 유역면적은 435Km², 유하거리 25.2Km이며 갈수기 평균유속은 0.1m/sec. 정도이다.

결과 및 고찰

1. 강수 및 수문현황

2004년 서울지역의 강수량은 1,499 mm로 평년 수준(1,346 mm)을 근소하게 초과하고 있다. 특이적인 사항은 강우가 집중되는 7, 8월중 7월은 평년 수준을 크게 상회하는 반면, 8월은 평년 수준에 크게 못 미쳐 연강수량의 34%가 7월 한 달에 집중되고 있다.

강수량과 상수원의 유량을 반영하는 팔당댐 방류량도 7월을 중심으로한 6, 7, 8월에 풍수량을, 1, 2, 3, 4월에 월평균 200 m³/sec. 이하의 갈수량을 나타내고 있다.

표 3. 2004년 취수장별 취수량 단위 : 10,000m³

월	광암 (팔당)	강북	암사	구의	자양	풍납	계
1월	24.7	68.2	104.5	56.9	55.7	43.4	353.4
2월	25.5	68.0	106.1	57.3	55.5	44.2	356.6
3월	25.0	68.3	105.5	56.8	54.8	44.0	354.5
4월	26.4	70.0	105.0	57.1	53.5	44.4	356.2
5월	27.4	72.7	105.4	56.4	52.9	45.1	359.9
6월	27.7	75.5	112.7	60.0	55.0	47.3	378.3
7월	26.6	75.6	114.2	60.0	55.8	48.1	380.4
8월	26.4	76.1	115.5	60.5	55.2	48.0	381.8
9월	24.2	75.9	111.9	57.2	53.4	46.5	369.1
10월	24.4	73.8	108.8	55.3	53.9	44.8	361.1
11월	23.6	73.6	108.6	55.1	52.3	45.3	358.6
12월	23.3	70.4	103.7	53.1	52.1	42.2	344.8
평균	25.4	72.4	108.5	57.1	54.2	45.3	362.9

표 4. 강수량 및 팔당댐 방류량

월	강수량(서울, mm)			팔당댐방류량 (m ³ /sec.)	
	2004년	2003년	평년	2004년	2003년
1월	19.8	14.1	21.7	196	138
2월	54.6	39.6	25.8	192	160
3월	27.6	26.8	45.9	194	187
4월	74.1	139.6	77.1	178	382
5월	168.5	106.0	102.4	376	955
6월	138.1	156.0	133.1	1,116	559
7월	510.7	469.8	327.6	2,635	1,480
8월	193.3	684.2	348.1	1,215	2,101
9월	198.7	258.2	137.4	562	2,496
10월	6.5	41.5	49.1	248	284
11월	80.0	69.3	53.1	247	206
12월	27.2	6.9	24.6	217	222
누계- 평균	1,499.1	2,012.0	1,345.9	615	756

2. 항목별 수질

조사대상 14개 항목을, 반영하는 대상별로 구분하여 지점별, 시기별 변동 특성에 대하여 고찰하였다.

1) 수온, pH, 용존산소, 전기전도도

연중 취수원수의 수온은 1.3~27.2 °C 범위에 분포하고 있으며 연평균 14.0°C로 지점간 특징적인 차이는 나타나지 않았으나, 자양취수장의 경우 수심이 얇은 관계로 다른 지점에 비해 채수시 기온이나, 태양열 등에 보다 민감하므로 다소 높게 나타나는 경향이 있었다.

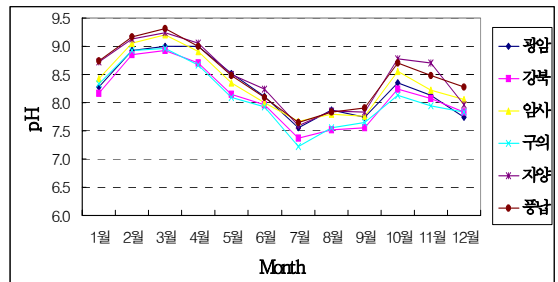


그림 2. pH의 월별 변동 추세

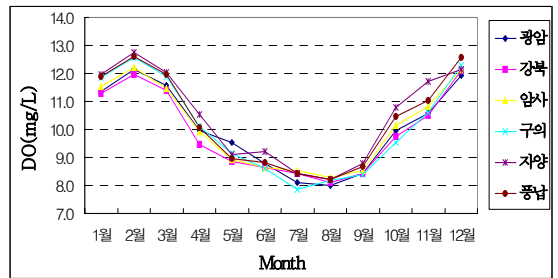


그림 3. 용존산소(DO)의 월별 변동 추세

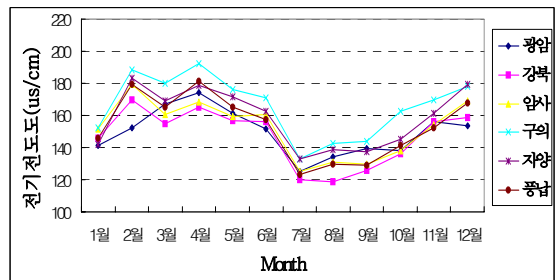


그림 4. 전기전도도의 월별 변동 추세

pH는 6.8~9.4의 범위로 알칼리성에 치우쳐 나타나고 있으며, 상대적으로 정체성이 강하고, 조류증식이 많았던 하류지역에서 다소 높게 나타나는 경향을 보이고 있다.

시기적으로는 유량이 작고, 조류개체수가 급증하는 강우기 전후의 갈수기에 상승하고 강우가 집중된 7월에 가장 낮게 관찰되어 강우의 영향과 조류증식의 영향을 공통적으로 반영하고 있다.

용존산소는 연중 6.6~13.6mg/L범위를 나타내어 여름철 일부시기를 제외하면, 연중 과포화 경향이 지속되고 있다. 수중 용존산소의 영향인자는 수온과 조류의 증식으로 수온이 낮고 조류증식이 심한 겨울철 및 3, 4월에 높은 경향을 보여주며, 2004년의 경우 특이적으로 2003년에 비해 수온이 소폭 높고, 용존산소가 소폭 감소하는 경향을 보여주고 있다.

전기전도도는 수중 용존이온량을 반영하는 지표로 연중 92~224 $\mu\text{s/cm}$ 를 나타내고 있다. 강우 및 하천유하량의 직접적인 영향으로, 강수량이 적었던 2004년은 2003년과 대비하여 연평균 145 $\mu\text{s/cm}$ 에서 254 $\mu\text{s/cm}$ 로 증가하고 있다.

2) BOD, COD, TOC

생화학적산소요구량으로 하천의 가장 대표적인 수질지표인 BOD는 규모가 작고 오염도가 높은 하천에서는 하폐수의 유입 등, 유역 오염물질의 유입상황만을 주로 반영하지만, 한강상수원과 같은 대하천에서는 유역 오염물질만이 아니라, 하천의 내부생산(조류증식)과 하천내 생물들의 활동, 하천유하량 등 보다 다양한 인자들이 매우 복잡한 작용을 하여 나타나게 된다.

최근 10년간 6개 지점 평균 BOD는 1.6~2.2 mg/L의 범위로 90년대 중반 이후, 소폭 개선되는 추세를 나타내고 있으나, 매년 강수량과 조류증식 상황 등의 BOD 영향요소에 큰 차이가 존재

표 5. 연도별 취수원수의 BOD 변동 현황
(단위 : mg/L)

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
광암	1.6	1.8	1.8	1.7	1.7	1.5	1.6	1.7	1.4	1.5
강북		1.8	1.8	1.6	1.7	1.5	1.5	1.6	1.4	1.5
암사	1.8	2.3	2.0	1.9	1.8	1.6	1.8	1.9	1.6	1.7
구의	2.0	2.6	2.5	2.1	1.9	1.7	2.0	2.1	1.9	1.8
자양	2.1	2.5	2.2	2.0	2.0	1.7	2.1	2.1	1.8	2.0
풍납	2.2	2.5	2.2	2.0	1.9	1.7	2.2	2.2	1.8	1.9
평균	1.9	2.2	2.1	1.9	1.8	1.6	1.9	1.9	1.6	1.7

표 6. 지점별 BOD, COD, TOC 현황

		광암	강북	암사	구의	자양	풍납	평균
BOD (mg/L)	평균	1.5	1.5	1.7	1.8	2.0	1.9	1.7
	최대	2.8	2.7	3.3	3.4	3.4	3.5	3.1
	최소	0.8	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9
COD (mg/L)	평균	2.7	2.7	2.8	3.0	3.1	3.0	2.9
	최대	4.0	5.2	4.6	5.0	4.6	4.7	4.4
	최소	1.5	1.5	1.7	1.8	2.0	2.0	1.8
TOC (mg/L)	평균	2.2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.3	2.2
	최대	3.0	3.0	3.1	3.3	3.4	3.3	3.1
	최소	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6

하여 왔으므로, 전반적인 수질이 개선되는 것으로 확신할 수는 없다.

2004년 연평균 BOD는 1.7 mg/L로 2003년과 대비하여 0.1 mg/L 상승하였지만, 2003년이 연중 높은 저수율과 강수량으로 수문조건이 매우 양호하였다는 점을 감안하면, 2003년이 특이적인 상황이었다고 판단되며, 2004년 수질도 예년보다는 양호한 수준이었던 것으로 여겨진다.

2004년중 3월을 중심으로한 봄철 갈수기 BOD 3.0 mg/L를 초과한 시기는 상류 광암과 강북취수장의 경우 1회도 없는 반면에, 암사 2회, 구의 3회, 자양-풍납 각 5회로 예년과 마찬가지로 하류 지점으로 갈수록 그 발생횟수가 증가하고 있다. 이는 왕숙천으로 대별되는 유역의 오염물질 유입과 하류지역에서 하천 체류시간 증가에 따른 조류증식이 주 요인인 것으로 판단된다. 발생횟수나 강도에 있어 연평균 수질이 가장 양호했던 2003년도 하류지역에서는 2달 가량이 지속되고 농도도 4.0 mg/L를 초과하는 시기도 발생했던 반면에 2004년의 경우는 봄철갈수기 수질악화 현상이 상대적으로 개선된 모습을 보여주고 있다.

월별변동 추세를 보면, 3월을 정점으로 감소하다 예년보다 낮은 하천유하량의 영향으로 5월 재증가, 집중 강우의 영향으로 6월 들어 급감하는 경향을 나타내고 있다.

COD와 TOC의 경우도 BOD와 마찬가지로 연중 3월에 가장 높은 정점을 보이고 있어, 다양한 계절적 요인으로 봄철 갈수기가 원수중 유기물이 가장 고농도로 존재하는 시기임을 명백하게 나타내고 있다. 특히, 수중 총유기물량을 나타내는 TOC는 일상적인 정수처리 과정에서 제거율이 그리 높지 않으므로, 원수의 수준이 정수수질에 상당 부분 반영되어, 정수에 있어서도 봄철 갈수기는 유기물농도가 가장 높은 시기인 것으로 판단된다.

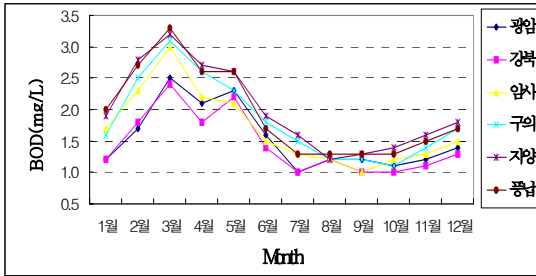


그림 5. BOD의 월별 변동 추세

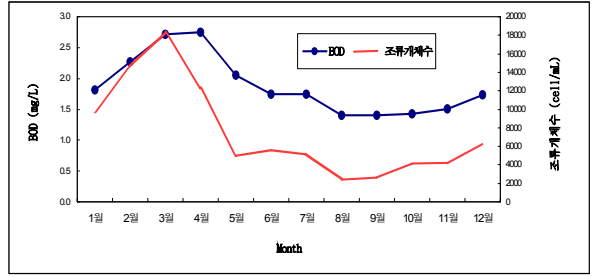


그림 9. 10개년 평균 BOD와 조류개체수의 월별 변동 추세

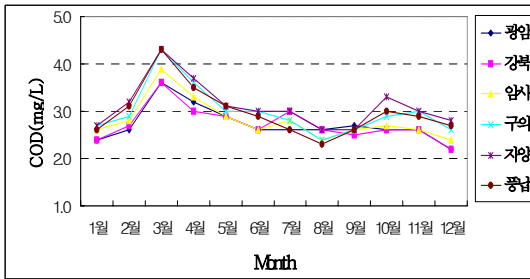


그림 6. COD 월별 변동 추세

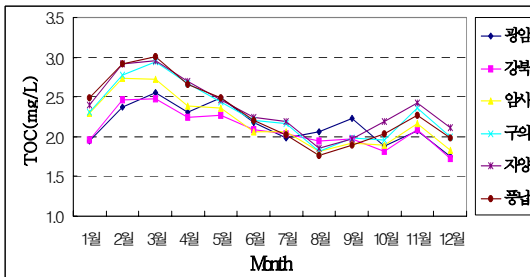


그림 7. TOC의 월별 변동 추세

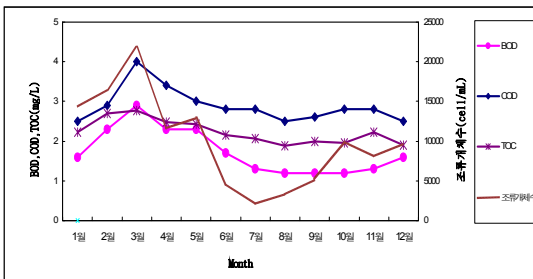


그림 8. 유기물지표 및 조류개체수의 월별 변동 추세(6개지점 평균)

그림 8, 9 는 BOD에 영향을 미치는 조류증식의 영향을 간접적으로 보여주고 있다. 2004년중 BOD 변동추세와 가장 유사한 경향을 보여주는 것이 조류개체수의 변동추세로 조류의 증식형태가 BOD에 상당한 영향을 미치고있는 것으로 판단된다. 1995년부터 2004년까지 10개년 평균 BOD와 조류의 월별변동은 서로 유사한 경향으로 BOD에 비해 조류증식이 선행하는 경향을 보여주며 조류는 대량 증식 후 급격히 감소하는 반면 BOD는 상대적으로 완만한 감소경향을 나타내어 단순한 조류의 개체수만이 아니라 증식형태고 관련되어 조류증식 후기가 BOD증가에 보다 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

봄철 갈수기 원수중 유기물농도의 증가는 수리적인 하천유하량 감소의 영향 외에도, 하천 내부 생산 인자인 조류세포 자체와 조류의 분비물 등 보다 복합적인 요인에 의해 이루어진다고 판단된다.

3) 총질소, 질산성질소, 암모니아성질소, 총인

수중 질소와 인은 유역 점오염원만이 아니라, 강우시 비점오염원에서도 다량 유입되는 물질로, 갈수가 심해 수질오탁이 심해지는 시기나 집중강우기에도 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 그림 10.에서 보여지듯 한강분류 상수원에서 연평균 값에는 큰 변동 없이 일정한 수준이 지속되고 있다.

2004년중 총질소는 1.52~3.35 mg/L 범위에 있으며 연평균 2.21 mg/L, 질산성질소는 1.35~2.71 mg/L 범위로 연평균 1.89 mg/L를 나타내어, 한강 원수중의 질소는 질산성질소 형태가 86% 수준으로 대부분을 차지하고 있다. 암모니아성질소는 연중 0.00~0.66mg/L 범위로 질소 형태중 시기별로 가장 큰 변동폭을 나타내고 있다.

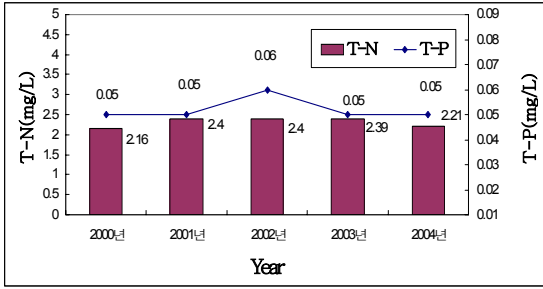


그림 10. 연도별 총질소와 총인의 변동추세

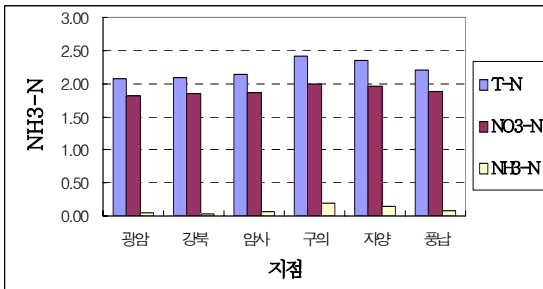


그림 11. 지점별 수중 질소의 존재 형태

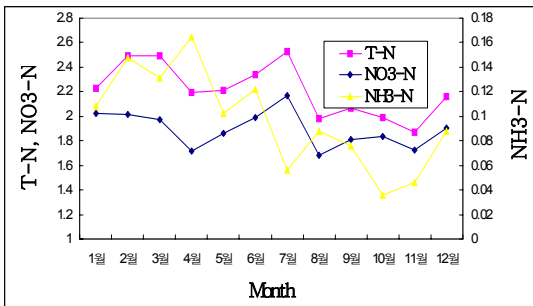


그림 12. 월별 6개지점 평균 질소의 변동 추세

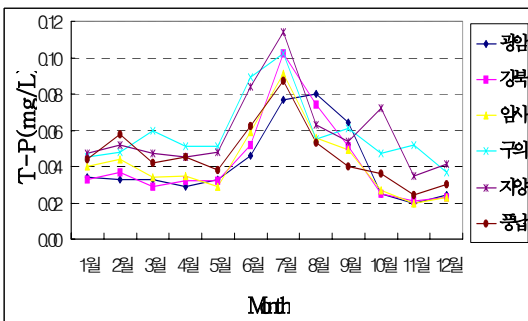


그림 13. 총인의 월별 변동 추세

총질소중 암모니아성질소가 차지하는 비율은 상류의 강북취수장이 1.9%인 반면에 구의취수장은 9.3%로 상대적 구성비율이 높아 유역오염원의 영향을 많이 받는 지점이 질소중 암모니아성 질소의 구성비율이 큼을 보여주고 있다.

월별 질소의 변동추세를 보면, 총질소와 질산성 질소는 유사한 변동추세로 유량이 작은 겨울 및 봄철 갈수기와 집중강우기에 증가하는 경향을 나타내는 반면, 암모니아성질소는 수온이 낮은 겨울철과 전반적인 오염도가 높은 봄철 갈수기에 증가하는 경향을 보여 강수보다는 수온 및 하천유하량과 보다 밀접한 관련성을 보여주고 있다.

총인은 겨울철 이후 5월까지 상대적으로 안정된 농도를 유지하다. 집중강수와 더불어 급격히 증가하고 이후 농도에 변동폭이 큰, 전형적인 비점오염원 기인 특성을 나타내고 있다.

4) 부유물질

2004년중 부유물질은 시기별로 2.6~137 mg/L의 범위를 나타낸 반면, 지점별 연평균값은 11.7~15.1 mg/L의 범위로, 시기별로는 큰 변동추세를 보이지만 지점별로는 유의할 만한 차이를 나타내지 않아 상수원수에 대한 오염지표로는 그 효용성이 낮은 것으로 판단된다.

한강원수중 부유물질의 주 근원은 강우시 유입되는 토사로 채수시기가 비교적 수질이 안정된 시기에 이루어지므로 큰 강우 직후에는 표 8.에 나타낸 수치를 상당수준 초과하는 경우도 짧은 기간동안 발생하는 것으로 여겨진다. 한강원수에서 부유물질은 수질오염지표로서는 그 활용도가 낮지만, 탁도를 보조하여 정수처리 운용에 필수적인 항목으로 활용되고 있다. 평수기 부유물질의 농도범위는 10mg/L 이하의 수준을 유지하고 있으며, 1,2월의 겨울철이 5mg/L 이하로 가장 낮은 수준을 보여주는 시기이다.

Table 7. 지점별 부유물질

	광암	강북	암사	구의	자양	풍납	평균
SS	11.7	15.1	13.5	13.0	13.8	13.8	13.5
최대 (mg/L)	80	137	101	96	88	76	92
최소	2.6	3.0	3.6	3.8	4.0	4.8	4.0

결론

5) 총대장균군

2004년 6개 취수장의 연기하평균 총대장균군은 656 cfu이며, 광암이 69 cfu, 구의가 3,770 cfu로 지점간 큰 편차를 나타내고 있다.

최소값과 최대값의 범위에 있어서는 광암의 2 cfu에서 구의의 180,000 cfu에 이르기 까지 지점별, 시기별로 매우 큰 편차를 나타내고 있다. 이는 왕숙천과 같은 한강본류상에 위치한 유역의 상시오염원이 구의취수장과 같은 하류지역의 취수장에 직접적으로 큰 영향을 미치고 있고, 그림 15.에서 보여지 듯, 집중 강수기에 유역 비점오염원에서 유출되는 오염물질의 영향이 크게 반영되기 때문이다.

특이적으로, 한강원수의 유기물질오염도가 가장 높은 3,4월의 봄철갈수기가 총대장균군의 경우는 가장 양호하고 안정된 수준을 나타내고 있다. 이는 원수중 총대장균군의 농도가 단순한 유입량 증감의 영향만이 아니고, 수온 등 외부적인 환경요인이 총대장균의 존재량에 큰 영향을 미치고 있음을 반영한다.

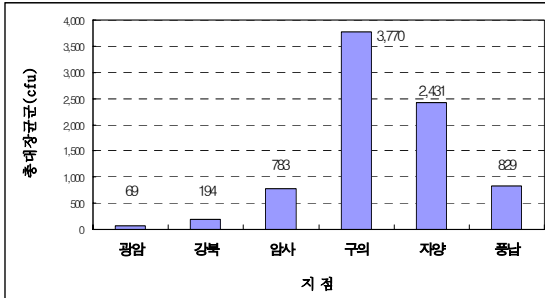


그림 14. 지점별 총대장균군의 연기하평균

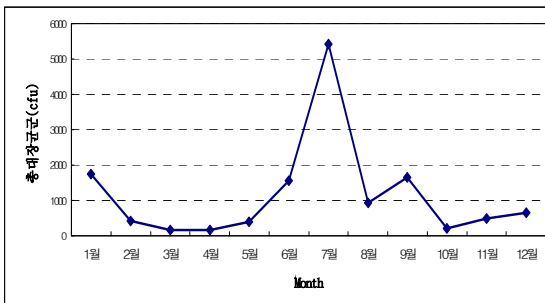


그림 15. 6개지점 기하평균 총대장균군의 월별 변동 추세

- 2004년 한강상수원의 6개 지점 평균 BOD는 1.7 mg/L로 상수원수 2급수 수준이 지속되고 있으며, 강수 및 수문조건이 특이적으로 유리했던 2003년보다는 증가하였지만 예년보다는 상대적으로 개선된 수질을 나타내었다.
- BOD, COD, TOC, 조류개체수 등의 유기물관련지표는 공통적으로 연중 3월의 봄철갈수기에 가장 높은 경향을 나타내고 있으며, 이는 하천유하량의 감소만이 아니라, 조류 증식 등의 하천내부 생산 요인이 계절적으로 봄철갈수기에 매우 큰 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다.
- 한강원수중 총질소와 총인의 농도는 각각 6개 지점평균 2.21 mg/L, 0.05 mg/L로 연도별로 큰 변동없이 일정한 수준의 고농도가 지속되고 있으며, 암모니아성질소는 왕숙천의 영향으로 하류에 위치한 취수장에서 봄철갈수기중 0.65 mg/L까지 상승하고 있어 겨울철부터 봄철까지 전염소처리에 어려움을 주고 있다.
- 2004년 2월부터 왕숙천 수계에 진건하수처리장이 시운전을 시작하여, 왕숙천 직하류에 위치한 구의 취수장의 경우, 전년과 대비하여 연평균 BOD가 0.1 mg/L 감소하고 있으며, 특히 총대장균군은 2003년 19,432 cfu에서 2004년 3,770 cfu로 뚜렷한 개선효과를 나타내고 있으나,
- 질소중 암모니아성질소가 차지하는 비율이 상류의 강북취수장에서는 1.9 % 수준인 반면, 구의취수장에서는 8.3 % 수준으로 그 비율이 높아, 암모니아성질소의 경우는 여전히 왕숙천의 영향을 강하게 반영하고 있다.

국 문 요 약

본 보고서는 2004년 1월부터 12월까지 1년 동안 한강 취수원수의 수질특성을 파악하기 위해 수행된 취수장 6개 지점에 대한 수질조사 결과를 고찰한 것이다.

2004년중 취수원수의 평균 BOD는 1.7 mg/L로 강수 및 수문조건이 특이적으로 유리했던 2003년보다는 다소 증가했지만 예년보다는 낮은 수치를 나타내고 있다. 3월의 봄철 갈수기를 중심으로 BOD, COD, TOC 등의 유기물 지표가 가장 높은 경향을 나타내는데 이는 조류의 증식과 같이 하천 내부의 유기물생산이 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 2004년 7월 진건하수처리장의 완공으로 왕숙천 수질이 대폭 개선되어 하류의 구의 취수장에서는 총대장균군을 중심으로 수질이 개선되는 경향을 나타내고 있으나, 암모니아성질소는 여전히 높은 수준이 지속되고 있다.

참고문헌

1. 서울시상수도연구소, 2003 수질조사분석보고서, 2004.
2. 서울시수도기술연구소, 2002 수질조사분석보고서 I, 2003.
3. 대한환경공학회, 호수의 수질관리, 풍남, 1999
4. 경기개발연구원, 팔당상수원 수질개선 방안에 관한 연구, 1997
5. 竹歳健治외, 利根川水系における総合的な水質保全対策の必要性, 제35회 일본수환경학회연회강연집, 일본수환경학회, 2001
6. 天野耕二, 琵琶湖・淀川流域における河川水質データの時系列解析, 제35회 일본수환경학회연회강연집, 일본수환경학회, 2001
7. 신재기, 조경재, 도시근교하천 조만강의 수질 부영양화, Korean J. Limnol.32(1), 1999
8. 室田 明, 하천공학, 기보당, 1997
9. 福島武修, 호소내 영양염류 및 유기물의 동태, 하천호소의 수질보전과 유역 관리에 관한 한일 공동 세미나, 국립환경연구원, 1997. 10.
10. 박창민, 한강 상수원의 갈수기 수질특성 및 전망, 2002년 한국상하수도협회 제1회 워크샵, 한국상하수도협회, 2002. 5.
11. 일본수도협회, 상수시험방법 해설편, 일본수도협회, 1993