

# 상수도 계통에서의 무기이온류 항목 고찰 (2003)

수질연구부 수질분석과  
홍주희, 정의선, 정관조, 박현, 오세종

## Survey on the Inorganic Ions in Drinking Water System

*Water Quality Research Division*

Ju Hee Hong, Eui Sun Jung, Gwan Jo Cheong, Hyeon Park, Sea Jong Oh

**ABSTRACT** - Water quality analysis was carried out for raw water, finished water and tap water of Seoul City in 2003. Analytical substances were the ions of Fluoride( $F^-$ ), Nitrate-Nitrogen( $NO_3^-$ -N), Chloride( $Cl^-$ ) and Sulfate( $SO_4^{2-}$ ) that listed in the National Drinking Water Quality Standards;  $F^-$  and  $NO_3^-$ -N included in health hazard inorganics; Chloride and Sulfate listed in aesthetic parameters. The results were as follows;  $F^-$  was detected in the all samples below Minimum Detected Level(MDL).  $NO_3^-$ -N was detected 1.1 ~ 2.2 mg/L(mean 1.7 mg/L) and  $Cl^-$  was detected 2 ~ 17 mg/L(mean 9 mg/L) in the raw water and 5 ~ 23 mg/L(mean 13 mg/L) in both of the finished water and the tap water. And  $SO_4^{2-}$  was detected 6 ~ 18 mg/L(mean 11 mg/L) in the whole system constantly.

Key words ; Water Quality Analysis, Inorganic Ions, Fluoride, Nitrate-Nitrogen, Chloride, Sulfate

### 서 론

인체의 70%를 차지하는 물은 인간의 생존에 없어서는 안되는 구성요소이다. 과거에는 하천수나 지하수, 우물물 등을 별도의 처리 없이 음용하였으나 인구의 증가와 산업화 등으로 원수가 오염되고 수인성 전염병의 우려로 정수시설의 설치가 필요해졌다. 서울시는 1908년 뚝도정수장의 개설을 시초로 수도물의 생산, 공급을 시작하여 현재는 6개 정수사업소에서 깨끗하고 안전한 물의 생산, 공급을 위해 만전을 기하고 있다. 그러나 시민의 수도물에 대한 지식과 요구도가 점차 높아짐에 따라 배급수 계통에서의 관리 뿐만 아니라 심미적으로 맛있는 물을 공급하여야 하는 시점에 이르렀다. 이에 우리 연구소에서는 원수 수질 모니터링을 통한 양질의 원수 공급 체계 구축 및 깨끗하고 안전한 수도물이 생산되는지를 감시하고 수요자에게 안전하게 공급되고 있는지 최종적으로 확인하는 다양한 수질 검사를 실시하고 있다.

먹는물수질기준 중 무기이온류는 유해영양무기물질로 분류되어 있는 불소이온, 질산성질소와 심미적영양물질로 분류되어 있는 염소이온, 황산이온이 포함되어 있다. 이 물질들은 지질의 특성에 따라 자연수 중에 미량 함유되어 있는 성분으로서 가정하수, 축산폐수 및 공장폐수 등의 혼입이 증가의 원인이며, 원수에서의 농도변화는 수질오염상태를 예측할 수 있는 지표항목으로서 의미를 갖는다.

본 보고서는 2003년 1월부터 12월까지 실시한 월간 원·정수 수질검사, 수질평가위원회 수질검사, 노후관 수도꼭지 수질검사, 시민 참여 수질검사 및 민원 수질검사 등의 과제로 수행되어온 서울시의 취수원수, 정수 및 수도꼭지수에 대한 수질검사 결과를 무기이온의 항목별로 정리, 분석하였다.

### 검사내용 및 방법

## 1. 검사대상

본 수질검사는 월간 원·정수 수질검사, 수질평가위원회 수질검사, 노후관 수질검사, 시민참여 수질검사, 민원 수질검사 등의 시료를 대상으로 하였으며 표 1의 검사대상현황에서 보는 바와 같이 연중 주기적인 검사를 실시하고 있으며 연간 1,088점의 시료에 대한 검사를 실시하였다.

Table 1. Current status of sample

Unit : Ea

Month Classification	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Raw&finished Water	22	22	22	22	22	22	22	21	21	20	20	20	256
Water Quality Evaluation Committee	12	12	8	12	12	8	12	12	8	12	8	8	124
Aged Tap water	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	360
Customer participation	7	14	24	59	7	36	37	22	17	6	22	10	211
Research	2	16	2	4	2	8	2	8	18	-	23		87
<b>Total</b>	<b>73</b>	<b>94</b>	<b>86</b>	<b>12</b>	<b>75</b>	<b>98</b>	<b>109</b>	<b>87</b>	<b>84</b>	<b>86</b>	<b>80</b>	<b>91</b>	<b>1,088</b>

## 2. 검사항목

먹는물수질기준 55항목 중 이온크로마토그래피를 이용하여 실험하고 있는 무기이온류인 불소이온, 질산성질소이온, 염소이온, 황산이온의 4항목을 대상으로 하였으며 수질기준 현황을 표 2에 나타내었다.

Table 2. Inorganic ions in the drinking water quality standard

unit : mg/L

Classification	Contaminants	Seoul	WHO	USEPA	Tokyo
Health hazard Inorganic Ions	Fluoride	1.5	1.5	4.0 (2.0*)	0.8
	Nitrate (as N)	10	-	10	-
	Nitrate (as NO <sub>3</sub> )	-	50	-	-
	Nitrite (as N)	1(M)	-	1	-
	Nitrite (as NO <sub>2</sub> )	-	3	-	0.05 (M)
	Nitrate+Nitrite (as N)	-	-	-	10
Aesthetic parameters	Chloride	250	250	250*	200
	Sulfate	200	250	250*	-

\* : Secondary standard, (M) : Monitoring item

## 3. 분석방법

음이온류의 수질분석방법은 수질오염공정시험법의 이온크로마토그래피법에 준하여 실시하였고, 기타 먹는물공정시험법과 Standard Method, US EPA Method 300.1 등을 참고하여 선정된 방법에 의하여 검사하였다.

분석에 이용된 이온크로마토그래프의 분석조건은 다음과 같다.

- 측정 기기 : Dionex 社의 DX-300  
Waters 社의 626 System

Table 3. Instruments condition

	DX-300	Waters 626
Column	AG9-HC Guard Column + AS9-HC Analytical Column	AG14 Guard Column + AS14 Analytical Column
Eluent	9.0 mM Carbonate Solution	3.5 mM Carbonate + 1.0 mM Bicarbonate Solution
Injection Volume	50 $\mu$ L	50 $\mu$ L
Suppressor	ASRS (Anion Self-Regenerating Suppressor)	ASRS (Anion Self-Regenerating Suppressor)

## 수질검사 결과 및 고찰

### 1. 불소이온(F)

불소는 지구 지각에 0.3 g/kg 정도 함유되어 있는 원소로서 많은 광물에 자연적으로 함유되어 있는 원소이다. 자연수 중에도 지질의 특성에 따라 미량 존재하며 오·폐수의 오염에 의해 그 농도가 증가할 수 있다.

무기불소를 함유하고 있는 광물은 알루미늄 생산공장을 비롯하여 산업용으로 광범위하게 사용되며, 특히 인 비료를 생산하기 위하여 사용하는 인함유 광물이 많이 사용된다.

불소에 대한 인체의 노출량은 거주지역에 따라 달라진다. 대부분의 지역에서 불소는 음식을 통하여 섭취되는 경우가 대부분이며 먹는물이나 치약 등으로부터의 섭취는 미량 수준이다. 그러나 지하수를 식수로 사용하는 일부 지역에서는 먹는물을 통한 섭취가 음식물로부터의 섭취보다 많은 경우도 있다.

저농도의 불소는 충치예방에 효과적이라고 알려져 있어 수돗물에 미량의 불소를 첨가시켜 공

급하는 불소화 사업을 추진중인 자치단체 및 정수장도 있다. 국내외의 연구결과에 따르면 저농도의 불소는 치아부식을 방지하는 효과가 있으며, 이 효과는 치아형성기의 어린이들에게 더욱 높은 것으로 나타났다. 이러한 효과를 얻을 수 있는 불소의 농도는 0.5 ~ 2 mg/L의 범위로 알려져 있다.

그러나 국내·외에서 먹는물을 통한 불소의 장기적인 섭취로 인한 부작용들에 대한 많은 병리학적인 연구들이 수행되어왔다. 그 결과 불소가 뼈조직(뼈와 치아)에 주로 영향을 미친다는 것이 밝혀졌다. 고농도의 불소에 노출된 많은 지역에서, 불소는 질병을 일으키는 주요한 원인으로 작용한 것으로 드러났다. 또한 음식물이나 음용수 섭취 형태에 따라서는 음용수 내 0.9 ~ 1.2 mg/L의 저농도의 불소 함유시에도 서서히 치아의 불소화를 일으켜 반상치(斑狀齒, mottled teeth)를 유발하는 등의 부작용을 나타낼 수도 있는 것으로 나타났다. 불소의 섭취량이 증가되면 뼈조직에 심각한 영향을 끼칠 수도 있다. US EPA에서는 하루 총 섭취량이 14 mg 이상일 경우 뼈의 손상이 일어나며, 하루 6 mg 이상 섭취시 뼈조직에 손상을 일으킬 확률이 높은 것으로 드러났다.

우리나라 먹는물수질기준은 1.5 mg/L 이하로 규정하고 있으며, 건강상 유해영향무기물질군으로 분류하고 있다.

2003년의 경우 불소이온은 민원을 제외한 서울시 취수원수, 정수, 수도꼭지수 등 모든 시료에서 수질분석의 정량한계인 0.15 mg/L 이하로 불검출되어 불소로 인한 오염은 없는 것으로 나타났다. 민원시료의 경우 전체 시료 중 먹는샘물 5점, 불명수 2점, 지하수 2점에서 검출되었고, 그 중 지하수 2점에서 수질기준을 초과하였다. 그 값은 먹는샘물 시료의 경우 0.3 mg/L 내외의 농도를 나타내었고 지하수와 불명수의 경우 최대 10.3 mg/L의 농도로 나타났다.

이는 지하수의 경우 지반의 특성을 반영하므로 지질상의 특징에 기인한 것으로 판단된다.

## 2. 질산성질소이온(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)

질산성질소는 자연계의 질소순환의 과정으로써 존재하며, 무기비료로 주로 이용되기도 한다. 지하수나 지표수중의 질산성질소의 농도는 일반적으로 1.0 ~ 2.0 mg/L로써 낮으나 농경지로부터 유출되거나 인축의 배설물에 의하여 오염된 경우, 높은 농도를 나타내기도 한다.

질산성질소와 관련된 건강상 가장 큰 위해는 “블루베이비 현상”이라 불리는 메트헤모글로빈증이다. 질산성질소는 3개월 미만의 영아의 소화기 내에서 아질산성질소로 환원되고 아질산성질소는 혈중 헤모글로빈과 결합하여 메트헤모글로빈(Methaemoglobin, metHb)을 형성하여 체내로의 산소전달을 감소시킨다. 메트헤모글로빈의 농도가 정상적인 헤모글로빈 농도의 10 % 이상이 될 경우 의학적으로 메트헤모글로빈증(Methaemoglobinaemia)이라 불리는 호흡곤란을 유발하게 되고 더 높은 농도에서는 질식을 일으켜 죽음에 이르게 할 수도 있다. 3개월 미만의 영아에게 정상적인 메트헤모글로빈의 농도는 3 % 미만이다. US EPA에서는 이러한 청색증을 방지하기 위해서 질산성질소의 농도가 50 mg/L 이하가 되어야 한다는 연구결과를 발표한 바 있다.

2003년의 원·정수 및 수도꼭지수의 질산성질소의 농도는 그림 1과 2에서 보듯이 1.1 ~ 2.2 mg/L의 범위로 나타났으며 평균값은 1.7 mg/L로서 수질기준의 1/5 수준으로 검출되었다.

질산성질소의 경우 그림 1과 2에서와 같이 배급수계통에서의 변화가 거의 없는 것으로 나타났으며 월별 정수농도의 비교에서도 특이사항이 관찰되지는 않았다. 또한 그림 3에서 보듯이 원수내의 질산성질소 농도는 취수장별로 차이가 있었으나 그 차이는 미미하였고 년도별로 비교하여 보면 2001년 이후 증가추세를 보이다가 2003년은 감소추세로 나타났다.

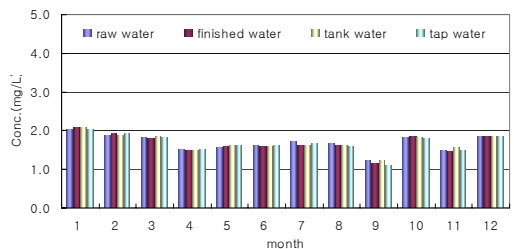


Fig 1. Annual trend of nitrate in raw, finished and tap water

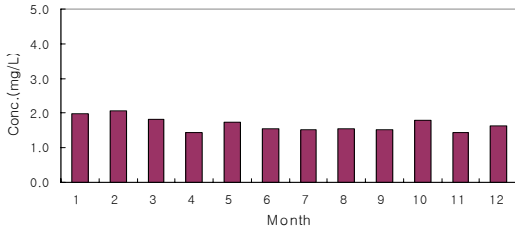


Fig 2. Variation of nitrate in aged tap water

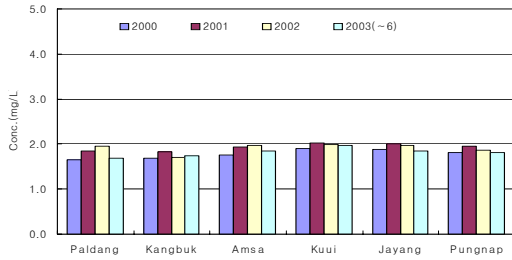


Fig 3. Variation of nitrate in raw water

시료 종류별로 그 농도를 비교하여 보면 그림 4과 같이 정수기와 수도물의 경우는 1.0 ~ 3.0 mg/L의 범위 내에 존재하였고, 지하수와 불명수의 경우 그 농도가 다양했으나 대체로 높게 나타났다. 2003년 민원시료 분석결과, 수질기준을 초과한 경우가 지하수 시료 1건에서 나타났으며 그 농도는 17 mg/L 수준이었다. 또한 수질기준의 1/2 수준을 초과한 경우가 4건 있었으며 이 중 3건의 시료가 지하수, 나머지 1건이 불명수로서 지하수의 경우 질산성질소로 오염된 경우가 존재하였다.

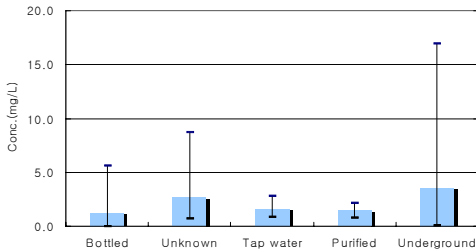


Fig 4. Nitrate concentration comparison according to the sample origin

### 3. 염소이온(Cl)

염소이온은 자연수 중에도 10 mg/L내외로 존재하는 원소로서 오수나 폐수, 도시 유출수 등의 혼입으로 그 농도가 증가할 수 있다. 인체의 경우, 식품으로부터의 섭취량이 대부분을 차지하고 있고, 먹는물로부터의 섭취는 미미한 부분을 차지하고 있다.

염소이온의 인체독성은 알려진 바 없다. 그러나 수중의 염소이온이 증가할 경우, 배급수 계통에서 관의 부식을 유발하여 금속이온의 농도를 증가시킬 수 있다. 또한, 250 mg/L 이상의 염소이온을 함유한 물은 불쾌한 맛을 유발시킬 수 있어, 먹는물수질기준에서는 심미적영양물질로 분류하여 그 기준을 250 mg/L로 정하고 있다.

2003년 염소이온의 농도는, 서울시 취수장 원수의 경우, 연중 2 mg/L ~ 17 mg/L의 범위로 평균 9 mg/L로 나타났다. 정수와 수도꼭지수 중의 농도는 5 mg/L에서 23 mg/L로서, 평균 13 mg/L로 나타나 원수보다 증가되는 경향을 보였다. 그림 5에서 보는 것과 같이 원수보다 정수에서의 농도가 높게 나타나는 이유는 정수처리 공정 중 응집제로 사용하는 PAC(Poly Aluminium Chloride) 등 정수약품내의 염소이온의 영향인 것으로 판단된다. 그림 6은 매월 분석한 정수장의 처리를 거친 월간정수시료의 결과를 나타내었다.

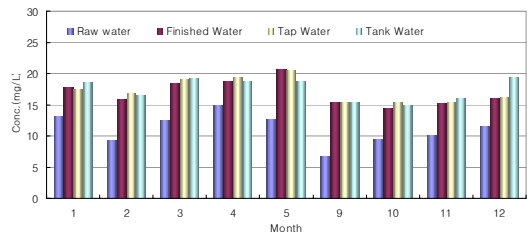


Fig 5. Annual trend of chloride in raw, finished and tap water

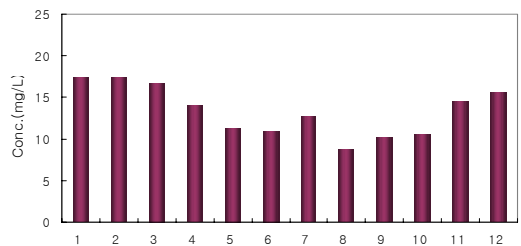


Fig 6. Variation of chloride in finished water

민원인이 의뢰한 시료를 지하수, 정수기, 수도물, 불명수로 분류하여 그림 7에서와 같이 그 농도를 비교한 결과 수도물과 정수기는 비슷한 수준이었고, 지하수와 불명수의 경우에는 높은 농도를 나타내는 경우가 많았으며, 최대 135 mg/L까지 검출된 예도 있었으며 이들 시료의 경우, 오피세수로부터 오염된 지하수인 것으로 판단된다.

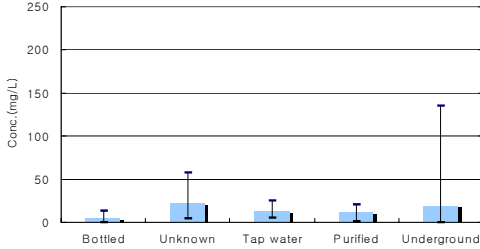


Fig 7. Chloride concentration comparison according to the sample origin

#### 4. 황산이온(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

황산이온은 광범위한 광물로부터 자연적으로 발생되고 주로 화학산업 등에서 상업적으로도 사용된다. 황산이온은 산업폐수로부터 방출되거나 대기로부터의 축적에 의해 자연수 중에 존재하게 된다. 일반적으로 음식물이 황산이온의 가장 큰 섭취원이나 황산이온의 농도가 높은 지역에서는 먹는물로부터의 섭취가 음식물로의 섭취량보다 많은 경우도 있다.

황산이온은 가장 독성이 적은 음이온 중의 하나이다. 그러나 고농도로 섭취시 설사, 탈수, 위경련 등의 현상이 관찰되었다. 황산염은 배변제(하제)의 주요 성분으로써 이용되기도 한다.

황산이온에 대한 수질기준 설정에 있어서 건강위해성을 기초로 한 값이 설정되지는 않으나, 고농도의 황산이온을 함유하는 물을 섭취하는 위장 장애를 유발할 수 있으므로 500 mg/L를 넘지 않을 것이 권장된다. 음용수내의 황산이온의 존재는 불쾌한 맛을 유발할 수 있으며, 배급수계통에서의 관의 부식을 유발할 수 있다. 우리나라 환경부에서는 심미적 영향물질로 분류하여 그 기준을 200 mg/L로 정하여 규제하고 있다.

그림 8은 수질평가위원회시료의 분석결과를 나타내며 월간정수의 분석결과를 그림 9에 나타내었다.

검사결과, 그림 8과 그림 9에서 보는 바와 같이 황산이온은 연중 6 ~ 18 mg/L의 범위로 나타났으며 평균값은 11 mg/L로서 수질기준의 1/10 이하 수준으로 검출되었다.

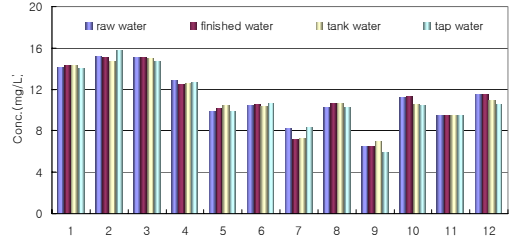


Fig 8. Annual trend of sulfate in raw, finished and tap water

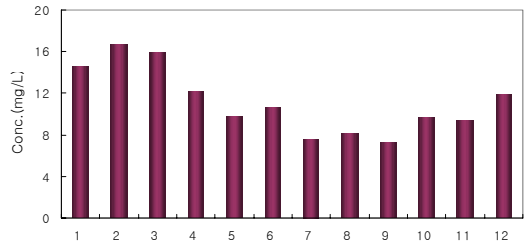


Fig 9. Variation of sulfate in finished water

민원시료를 수도물, 정수기, 지하수와 불명수로 구분하여 비교한 결과 그림 10과 같이 지하수와 불명수에서 높은 농도를 나타내는 것으로 나타났다. 지하수에서는 최대 197 mg/L까지 검출된 예도 있었다. 이는 지하수 내의 황화합물이 함유된 경우이거나 유기물질, 화학물질 또는 공장폐수의 오염 때문일 가능성이 높다고 사료된다.

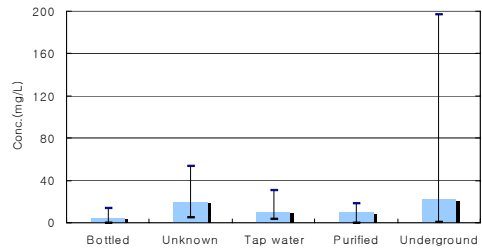


Fig 10. Sulfate concentration comparison according to the sample origin

## 결 론

2003년 1월부터 12월까지 실시한 서울시의 원·정수, 수도꼭지수 등에 대하여 불소이온, 질산성질소, 염소이온, 황산이온의 4항목에 대하여 수질검사를 실시한 결과는 다음과 같다.

1. 건강상 유해영향무기물질인 불소이온은 일부 오염된 지하수를 제외한 원·정수 및 수도꼭지수에서 모두 불검출되어 서울시 원·정수, 수도꼭지수에서의 불소로 인한 오염은 없는 것으로 나타났다.
2. 건강상 유해영향무기물질로 분류되고 있는 질산성질소는 1.1 ~ 2.2 mg/L의 범위에서 평균 1.7 mg/L로서 수질기준의 1/5 수준으로 검출되었다.
3. 심미적 영향물질로 분류되는 염소이온은 원수에서는 2 ~ 17 mg/L의 범위에서 평균 9 mg/L, 정수의 경우에는 5 ~ 23 mg/L의 범위에서 평균 13 mg/L로 나타나 수질기준의 1/10 이하 수준으로 검출되었다.
4. 심미적 영향물질로 분류되는 황산이온은 원수 및 정수 모두에서 연중 6 ~ 18 mg/L의 범위로 나타났으며 평균 11 mg/L로서 수질기준의 1/10 이하 수준으로 검출되었다.

## 참고문헌

1. 수도기술연구소. 2000. 1999년 원·정수 수질검사, 1999년도 수질조사 분석 보고서 I. 서울특별시 수도기술연구소
2. 수도기술연구소. 2001. 2000년 원·정수 수질검사, 2000년도 수질조사 분석 보고서 I. 서울특별시 수도기술연구소
3. 수도기술연구소. 2002. 2001년 원·정수 수질검사, 2001년도 수질조사 분석 보고서 I. 서울특별시 수도기술연구소
4. 상수도연구소. 2003. 2002년 원·정수 수질검사, 2002년도 수질조사 분석 보고서 I. 서울특별시 상수도연구소
5. 환경부. 2001. 먹는물 수질감시항목 운영지침 및 시험방법
6. 환경부. 2002. 2002년도 먹는물 수질관리지침
7. WHO. 2003. guidelines for drinking-water quality
8. US EPA. 2003. Current drinking water standards
9. 환경부. 1998. 세계보건기구(WHO) 먹는물 수질관리 지침서
10. 환경부. 2002. 먹는물 관리법, 먹는물 수질공정시험방법
11. 환경부. 2002. 수질오염공정시험방법
12. Marcel Dekker. James G. Tarter. 1987. Ion chromatography
13. Joachim Weiss. Handbook of ion chromatography

## 국 문 요 약

2003년 1년간 서울시 원·정수 및 수도꼭지수 등에 대하여 먹는물수질기준 55개 항목 중 무기이온물질인 불소이온, 질산성질소이온, 염소이온, 황산이온의 분석을 실시하였다.

건강상 유해영향물질인 불소이온은 일부 오염된 지하수 및 불명수를 제외한 모든 시료에서 불검출되었고, 질산성질소는 1.1 ~ 2.2 mg/L의 범위에서 평균 1.7 mg/L로서 수질기준의 1/5 수준으로 검출되었다. 또한 심미적 영향물질로 분류되는 염소이온은 원수에서는 2 ~ 17 mg/L의 범위에서 평균 9 mg/L, 정수의 경우에는 5 ~ 23 mg/L의 범위에서 평균 13 mg/L로 나타나 수질기준의 1/10 이하 수준으로 검출되었다. 마지막으로 황산이온은 원수 및 정수 모두에서 연중 6 ~ 18 mg/L의 범위로 나타났으며 평균 11 mg/L로서 수질기준의 1/10 이하 수준으로 검출되었다.

이와 같이 서울시 수돗물은 무기이온류에 대하여 불검출 내지는 수질기준의 1/5이하 수준으로 검출되어 안전한 물로 판명되었다.