2004년 상수도계통에서의 무기금속류 항목고찰

수질연구부 수질분석과
정의선, 정관조, 김현숙, 박현, 오세종

A Study on the Inorganic metals in Seoul Water Supply System

Water Quality Research Division

Eui Sun Jeong, Gwan Jo Cheong, Hyun Suk Kim, Hyeon Park, Sea Jong Oh

ABSTRACT - Water Quality Analysis was conducted to monitor and evaluate inorganic metal contents in raw-, finished-, and tap waters of the Seoul City on a monthly basis. The analytical substances were health hazard inorganic metals regulated by the National Drinking Water Quality Standards (NDWQS) such as Lead, Arsenic, Selenium, Mercury, Cadmium, and Boron, and aesthetic parameters such as Copper, Zinc, Iron, Manganese, and Aluminum. The results were as follows: Lead, Arsenic, Selenium, Mercury, and Cadmium were not detected in all samples. Boron was detected in the level of 1/30 of the DWQS (0.3 mg/L). The annual average of Copper, Zinc, Iron, Manganese and Aluminum ranged 0.002, 0.003, 0.01, 0.001, and 0.04 mg/L, respectively and complied to the DWQS.

Keywords ; metals, raw and finished water, tap water, inorganic substances, the National Drinking Water Quality Standards, aesthetic parameters.

서 론

상수도는 자연수계에서 취수한 물을 사용하기에 적정하도록 처리하여 사용자에게 공급하는 체제 전반을 말한다. 산업화와 도시화로 인해 인구의 도시집중화가 두드러지면서 안정적인 물의 공급이 필연적으로 대두되었으며, 물 문제의 해결을 위해 도입된 것이 상수도시설이다. 유럽에서 산업혁명이 일어났을 때, 수많은 농부들이 도시로 몰려들었으며 위생시설이 거의 없는 상태로 방치되어 질병이 만연했던 상황은 적절한 수처리공정의 개발이 미비한 상태에서 오염된 물이 처리없이 공급된 결과이다. 19세기 후반 공공용수에 대한 살균이 처음 시도된 이래 각 국은 수질관리의 중요성에 관심을 갖게 되었고, 서울특별시 역시 1908년 뚝도 정수장이 개설되어 수돗물을 공급한 이래 현재까지 깨끗하고 안전한 수돗물의 생산뿐만 아니라, 배급수 계통을 통해 시민에게 직접적으로 공급되는 수돗물의 질 즉, 위생적으로 안전하고 심미적으로 맛있는 물에 대한 시민들의 만족도를 높이는 단계에까지 이르렀다.

이러한 사회적 요구에 따라 서울특별시 상수도연구소에서는 취수원수 및 정수 수질 모니터링을 통한 양질의 원수 관리 체계의 구축에 심혈을 기울이고 있으며 깨끗하고 안전한 수돗물의 공급과 아울러 시민이 의뢰하는 각종 수도꼭지수에 대하여 엄격한 수질검사의 실시로 보다 높은 만족도 향상에 목표를 설정하고 있다.

본 보고서는 2004년 1월부터 12월까지 연간 실시한 월간 원·정수 수질검사, 수질평가위원회 수질검사, 노후관 수도꼭지 수질검사, 모니터링 수도꼭지 수질검사, 상수원·지류천 수질검사, 시민신청 및 기타 연구과제 관련 등의 수질검사에 대한 검사결과를 먹는물 수질기준 항목 중 무기금속류 중심으로 정리 분석하였다.

검사내용 및 방법

1. 검사대상

본 수질검사는 월간 원·정수 수질검사, 수질평가위원회 수질검사, 노후관 수도꼭지 수질검사, 모니터링 수도꼭지 수질검사, 상수원·지류천 수질검사, 시민신청 및 기타 연구과제 관련 수질검사를 대상으로 하였으며 검사대상 현황을 다음 표 1에 나타내었다.

Table 1. Classification of Sample

(unit : number)

sample \ month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Raw-, Finished-water	19	19	19	19	19	19	19	18	18	18	18	18	**223**
Water Quality Evaluation Committe	-	8	8	12	8	8	8	8	-	12	12	-	**84**
Aged-pipe tap water	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	**360**
Monitoring tap water	-	45	-	-	45	-	-	45	-	-	45	-	**180**
Source Water · Tributary Streams	-	-	30	-	-	30	-	-	30	-	-	30	**120**
Customer application	9	11	5	11	5	14	2	8	6	2	-	11	**84**
Research	77	78	-	61	-	79	64	40	54	82	24	51	**610**
Total	**136**	**193**	**95**	**137**	**112**	**186**	**130**	**157**	**147**	**154**	**140**	**152**	**1,739**

2. 검사항목 및 특성

1962년 건강진단 및 위생에 관한 규정이 제정된 이래 산업의 발전과 더불어 발생되는 오염물질의 증가에 따라 수질기준항목도 변화하여 '84년 카드뮴, '91년 7월 세레늄이 건강상 유해영향 무기물질로 포함되는 등 종래의 검사항목이 확대되었다. 또한 '94년 4월 심미적영향물질로 알루미늄 추가, 동년 7월 납기준 강화(0.1→0.05 mg/L이하), 2000년 7월 보론 추가 및 2003년 7월 카드뮴 기준강화(0.01→0.005 mg/L이하) 등의 과정을 거쳐하면서, 현재 건강상 유해영향 무기금속류 6항목, 심미적 영향 무기금속류 5항목 등 총 11개 항목이 먹는물 수질기준 55항목에 포함되어 수질에 대한 엄격한 검사가 실시되고있다.

본 보고서는 상수원 관리규칙 항목 및 먹는물 수질기준 항목 중 건강상 유해영향 무기금속류에 속하는 납, 비소, 세레늄, 수은, 카드뮴, 보론 등 6항목과 상수원의 정수처리 참고항목 및 먹는물 수질기준 항목 중 심미적 영향 무기금속류에 속하는 동, 아연, 철, 망간, 알루미늄 등 5항목을 대상으로 하였고, 각 항목에 대한 수질기준 현황, 항목별 특성 및 항목별 검사대상시료 현황을 표 2에 나타내었다.

Table 2. Drinking Water Quality Standards(DWQS) of Inorganic metal

(unit : mg/L)

no.	item	DWQS	result desc.	Quantity Limit	Other Country's DWQS		
					WHO	US	Japen
1	Lead	0.05	0.00	0.04	0.01	TT (AL0.015)	0.01
2	Arsenic	0.05	0.000	0.005	0.01(p)	0.010	0.01
3	Selenium	0.01	0.000	0.005	0.01	0.05	0.01
4	Mercury	0.001	0.000	0.001	0.001 (total)	0.002 (inorganic)	0.0005
5	Cadmium	0.005	0.000	0.002	0.003	0.005	0.01
6	Boron	0.3	0.00	0.01	0.5(p)	-	1(감)
7	Copper	1	0.000	0.008	1	1	-
8	Zinc	1	0.000	0.002	3	5	1
9	Iron	0.3	0.00	0.05	0.3	0.3	0.3
10	Manganese	0.3	0.000	0.005	0.1	0.05	0.01(쾌)
11	Aluminum	0.2	0.00	0.02	0.2	0.05~0.2	0.2(쾌)

3. 분석방법

각 항목의 수질분석방법은 수질오염공정시험법, 먹는물 공정시험방법에 준하여 실시하였고, 기타 전처리과정, 기기의 검출한계 및 감도 등 시험방법이 개선된 항목에 대해서는 일본상수시험법, Standard Method(STDmethod), USEPA Method(EPAmethod) 등을 참고하여 분석하였으며 항목별 분석방법 채택현황, 분석조건 및 정량조건은 표 3 및 그림 1, 2, 3, 4, 5, 6과 같다.

Table 3. Analytical Conditions

Analytical Instruments	Analytical Conditions	Analytical Frequency(nm)
ICP/AES	Manufacture company : Jobin Yvon Model : JY Ultima RF frequency : 40.68 MHz RF Power : 0.7~1.2KW(1.0~1.5) Carrier Gas : Ar - 99.999% ↑ Gas flow rate : - Coolunt gas - 12 L/min - Auxilliary gas - 0 L/min - Sheath gas - 0.5 L/min - Nebulizer gas - 0.47 L/min Nebulizer : Ultrasonic nebulizer (U-5000AT^{+}, Cetac) Spectrometer : 2400gr/mm double order master holographic grating Torch : Fully demountable torch Detector : PMT	Lead : 220.353 Cadmium : 214.438 228.802 Boron : 249.678 249.773 Copper : 224.700 324.754 Zinc : 213.856 202.548 Iron : 259.940 238.204 Manganese : 257.610 259.373 Aluminum : 396.152 309.271
AAS	Manufacture company : Varian Model : SpectrAA 300 plus Carrier Gas : Ar - 99.999 % ↑ Fuel Gas : Air & C_2H_2 - 99.5 % ↑ Accessary : VGA Gas flow rate : Ar - 50 mL/min Air - 3.5 mL/min C_2H_2 - 1.5 mL/min Oxidizing agents : HCl 6 M(1 mL/min) Reducing agents - $NaBH_4$ 0.5 g + NaOH 0.5 g + KI 10 g(As^{5+}→As^{3+}) + Pure Water = 100 mL(1 mL/min) Light Sources : Hollow Cathode Lamps Detector : PMT	Arsenic : 193.7 Selenium : 196.0 Mercury : 253.7

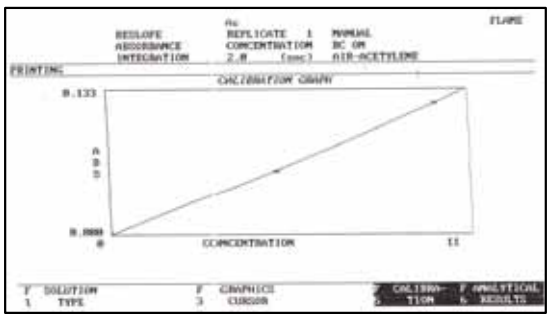

Figure 1. Calibration curve - Arsenic

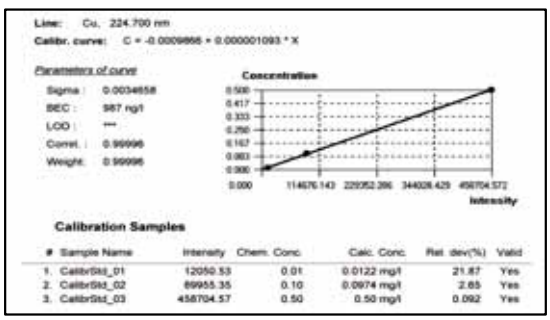

Figure 2. Calibration curve - Copper

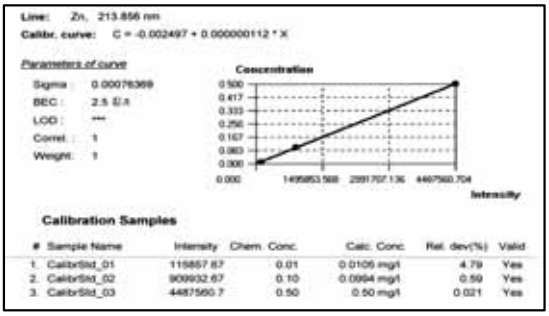

Figure 3. Calibration curve - Zinc

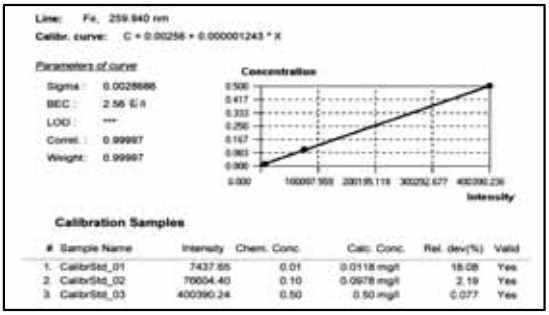

Figure 4. Calibration curve - Iron

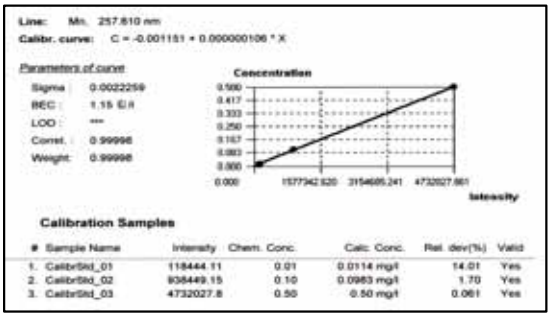

Figure 5. Calibration curve - Manganese

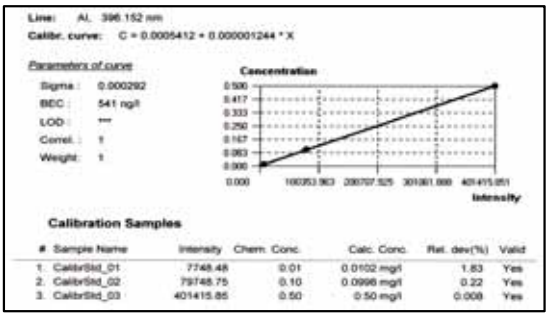

Figure 6. Calibration curve - Aluminum

검사결과 및 고찰

1. 납(Pb, Lead)

납의 용출은 수질에 따라 다르며 일반적으로 휴민질을 함유한 물 및 중탄산염을 함유치 않은 높은 경수 등에서 용출되기 쉽고 안료, 도료제조 등의 공장폐수나 광산배수의 혼입이 주 오염원이다.

2004년 검사 대상 시료는 상수원수 120점, 취수원수 45점, 정수 71점, 수도꼭지수 176점 및 기타 47점 등 총 459점이었고 모든 시료에서 정량한계 0.04 mg/L이하로 불검출되어 공장폐수나 광산배수가 한강수계에 혼입되지 않는 것으로 판단되며 상수원에서 배급수계통을 거쳐 수요가의 수도꼭지까지 안전한 수질을 나타냈다.

2. 비소(As, Arsenic)

비소는 자연계의 철, 납, 니켈 등의 광물과 공존하여 자연수에 용출된다. 비소화합물은 독성이 있으므로 미량이라도 인체에 유해하다. 특히 AS_2O_3는 세포내 SH기와의 결합에 의하여 효소계를 저해하는 것으로 알려져 있으며 비소산이나 비산염은 아비산 또는 아비산염으로 환원되어 독성을 나타낸다.

2004년 검사 대상 시료는 상수원수 120점, 취수원수 45점, 정수 71점, 수도꼭지수 174점 등 총 410점이었으며 모든 시료에서 정량한계 0.005 mg/L 이하로 불검출되어 한강수계에서의 비소 성분의 용출은 발생하지 않는 것으로 나타났다.

3. 셀레늄(Se, Selenium)

셀레늄은 비소와 동일하게 금속과 비금속의 중간적 성질을 갖는 아금속으로 천연물과 유화물에 상당량이 존재하며, 황을 포함한 광물에 공존하기도 한다. 산화수에 따라 -2, 0, +4, +6의 형태로 존재하며 산과 환원성 조건에서 무기 아셀렌산염을 원소의 셀레늄으로 환원시킨다.

2004년 검사 대상 시료는 취수원수 45점, 정수 71점, 수도꼭지수 174점 등 총 290점이었고 모든 시료에서 정량한계 0.005 mg/L 이하로 불검출되어 한강수계 광물에서의 용출은 나타나지 않으며 정수처리 과정을 거쳐 수요가의 수도꼭지수까지 수돗물이 안전하게 공급되고 있음이 확인되었다.

4. 수은(Hg, Mercury)

수은은 자연수 중 그 존재량이 희박하며 수은광을 생산하는 지역의 지하수, 광천수 등에서 제한적으로 검출된다. $HgCl_2$의 경우 0.1~0.5 g의 경구투여로 급성중독을 일으키며 신장장해를 발생시키고 미나마타병으로 사망에 이르도록 하는 맹독성물질이다.

2004년 검사 대상 시료는 상수원수 120점, 취수원수 45점, 정수 71점, 수도꼭지수 176점 등 총 412점이었으나 모든 시료에서 정량한계 0.001 mg/L 이하로 불검출되어 수돗물이 한강수계에서 수처리공정을 거쳐 수요가의 수도꼭지에 이르기까지 안전하게 공급되고 있음을 나타냈다.

5. 카드뮴(Cd, Cadmium)

카드뮴은 자연수 중 그 존재량이 희박하며 공장폐수 및 선박, 크리닝 기계등의 방청제 혼입등으로 검출될 수 있다. 유기 카드뮴 형태로서 아세트산 카드뮴, 스테아린산 카드뮴 등이 도자기 제조 및 염화비닐수지 안정제로 사용된다. 골연화증(이따이이따이병)을 발생시키며 폐암을 발생시킬 가능성이 있는 유독성물질이다.

2004년 검사 대상 시료는 상수원수 120점, 취수원수 45점, 정수 71점, 수도꼭지수 174점 및 기타 47점 등 총 457점이었고 모든 시료에서 정량한계 0.002 mg/L 이하로 불검출되어 공장폐수 및 기타 오염물질의 혼입에 의한 영향이 없는 것으로 판단되며 수돗물의 안전한 공급이 이루어지고 있음을 나타냈다.

6. 보론(B, Boron)

보론은 자연수 중에서 지하수, 온천수에 미량 함유되어 있으며, 유리공업, 목재와 피혁의 방부제, 화염완화제, 원자력설비에서 중성자흡수제로 사용된다. 자연계에서 보론의 화학적형태는 보론산(boric acid)과 tetraborate 등으로 존재하며 borax는 세척제, borates는 비료로 사용된다. 급성중독시 경련과 쇼크를 유발하며, 만성중독시 피부홍반을 일으키는 것으로 알려져 있다. 또한 고농도로 인체에 흡수되었을 경우 생식계통에 장애를 초래한다.

2004년 검사 대상 시료는 취수원수 93점, 정수 172점, 수도꼭지수 174점 등 총 439점이었고, 취수원수에서부터 정수처리공정을 거쳐 수도꼭지수까지

전 범위에 걸쳐 불검출~0.01 mg/L(평균 : 0.01 mg/L 이하)범위로 나타나 수처리과정에서 제거되지 않지만 수질기준이 0.3 mg/L 인 점을 감안하면 보통의 자연수에 존재하는 수치로 그 존재량이 극히 미미하여 안전한 수질을 나타내고 있다.

7. 동(Cu, Copper)

동은 자연계에 널리 분포하는 인체 필수원소(2 mg/day 필요)로서 열·전기 양도체이다. 수중에서 Cu^{+2}, $Cu(OH)_2$등으로 존재하며, 특히 Cu^{+2}는 황산동, 염화동의 형태로 수생식물에 강한 독성을 나타내어 살조제(조류제거제)로 이용된다. 수중에 5 mg/L 이상 존재할 경우 떫은 맛을 나타내며, 1 mg/L 이상 존재할 경우 흰 세탁물에 착색되고 아연도금강관, 철제품, 알루미늄 기구 등의 부식을 촉진시킨다. 인체의 축적성은 알려지지 않았으며, 만성중독의 위험은 없다.

월간 취수원수 72점 및 정수처리 계통별 시료 중 취수원수 21점에서는 불검출~0.071 mg/L(평균 : 0.012 mg/L)범위로, 정수 151점 및 정수처리 계통별 정수 21점에서는 불검출~0.015 mg/L(평균 : 0.008 mg/L이하)범위로 나타났으며, 정수처리 계통별 시료 중 직수 21점과 탱크수 21점에서는 각각 불검출~0.015 mg/L(평균 : 0.008 mg/L 이하), 불검출~0.026 mg/L(평균 : 0.009 mg/L)범위로 나타나 취수원수 중에 존재하는 동이 수처리공정을 거치면서 제거되어 안전한 수돗물 공급이 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

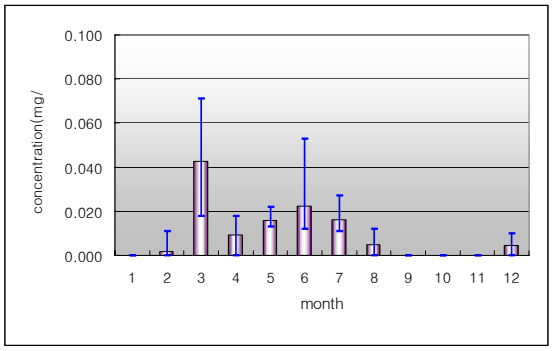

Figure 7. Distribution of Copper concentration in Raw water

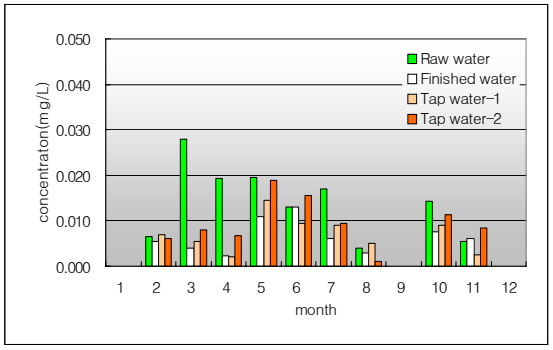

Figure 8. Distribution of Copper Concentration in Raw-, Finished- and Tap water

노후관 수도꼭지 수질검사 시료는 총 360점이었고, 연중 최대 0.032 mg/L까지 검출되었으나 모든 시료에서 수질기준을 크게 밑도는 수치로 나타났으며, 연평균이 0.008 mg/L이하인 점과 수질기준이 1 mg/L이하인 점을 고려하면 수돗물이 수요가의 수도꼭지까지 안전하게 공급되고 있음을 나타낸다.

모니터링 수도꼭지 시료에서도 일부 검출되고 있으나 모두 수질기준에 크게 못 미치는 낮은 농도범위를 나타내고 있다.

시민신청 수도꼭지 수질검사 시료의 경우 총 84점이었고 수돗물, 정수기물, 지하수, 불명수로 분류하였으며 각각의 검출범위는 불검출~0.109 mg/L, 불검출~0.008 mg/L, 불검출~0.060 mg/L 및 불검출로 나타났으나 연평균은 각각 불검출, 불검출, 0.030 mg/L, 불검출로 수질기준 대비 1/50이하의 낮은 수준을 보여 수돗물이 일반 수요가의 수도꼭지까지 안전하게 공급되고 있음을 나타냈다.

8. 아연(Zn, Zinc)

아연은 자연수 중에 거의 존재하지 않으며 오염원의 대부분은 공장폐수 및 광산배수의 혼입과 수도급수관(아연도금강관)의 부식에 의한 금속성분의 용출이다. 수질에 따라서는 1 mg/L 이상 존재할 경우 떫은 맛이 나타나고, 5~8 mg/L의 농도에서는 백탁현상을 일으키는 것으로 알려져 있다.

월간 취수원수 72점 및 정수처리 계통별 시료 중 취수원수 21점에서는 불검출~0.596 mg/L(평균 : 0.015 mg/L)범위로, 정수 151점과 정수처리 계통별 시료 중 정수 21점에서는 불검출~0.056 mg/L(평균 : 0.004 mg/L)범위로 나타나 연간 안

정적인 수질을 보이고 있었으며, 정수처리 계통별 시료 중 직수 21점과 탱크수 21점에서는 각각 불검출~0.049 mg/L(평균 : 0.011 mg/L), 불검출~0.127 mg/L(평균 : 0.032 mg/L)범위로 나타나 취수원수로부터 수요가의 수도꼭지까지 배관성분의 용출이 미미하며 안전한 수돗물 공급이 이루어지고 있음을 나타냈다.

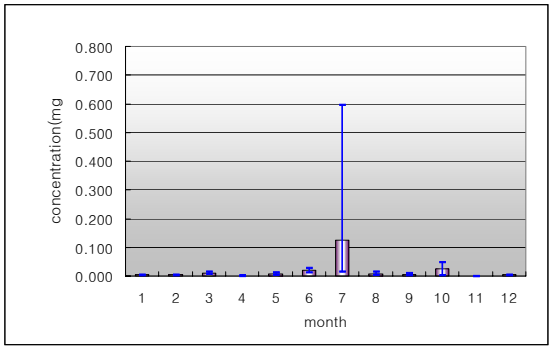

Figure 9. Distribution of Zinc Concentration in Raw water

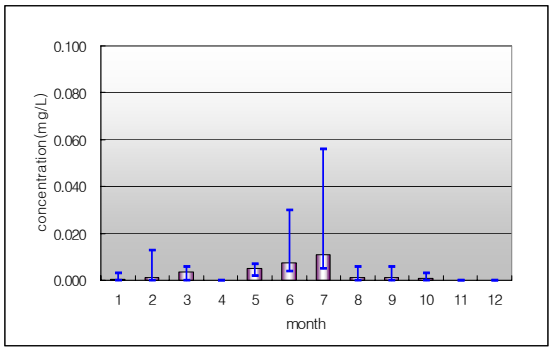

Figure 10. Distribution of Zinc Concentration in Finished water

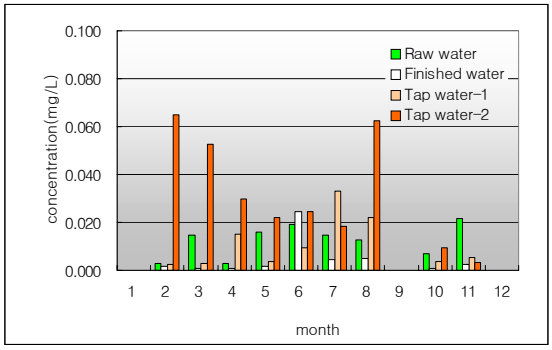

Figure 11. Distribution of Zinc Concentration in Raw-, Finished- and Tap water

노후관 수도꼭지 수질검사 시료는 총 360점이었고 모든 시료에서 수질기준을 크게 밑도는 수치로 나타났으며, 연중 최대 0.096 mg/L까지 검출된 경우도 있었으나 이것은 연평균이 0.009 mg/L인 점과 수질기준이 1 mg/L이하인 점을 고려할 때 안전한 수돗물 공급이 이루어지고 있음을 나타낸다.

모니터링 수도꼭지 수질검사시료에서도 일부 검출되고 있으나 모두 수질기준에 크게 못 미치는 낮은 농도범위를 나타내고 있다.

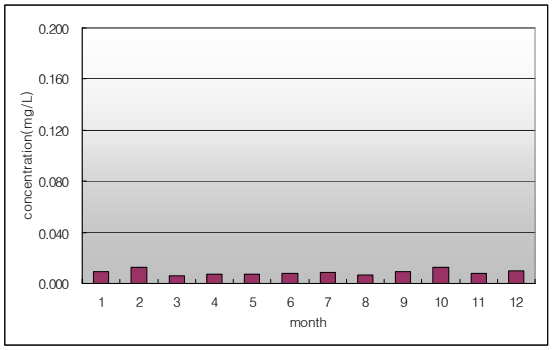

Figure 12. Distribution of Zinc Concentration in Aged-pipe Tap water

시민신청 수도꼭지 수질검사시료의 경우 총 84점이었고, 수돗물 66점에서는 불검출~0.192 mg/L, 정수기물 11점에서는 0.002~0.034 mg/L, 지하수 2점에서는 불검출~0.122 mg/L, 불명수 5점에서는 불검출~0.025 mg/L범위로 각각 나타났으며, 연평균은 각각 0.025 mg/L, 0.017 mg/L, 0.061 mg/L, 0.007 mg/L로 수돗물이 일반 수요가의 수도꼭지까지 안전하게 공급되고 있음을 알 수 있다.

9. 철(Fe, Iron)

철은 자연수 중 지표수에는 0~15 mg/L(평균 0.2 mg/L), 지하수의 심층수에는 20 mg/L를 함유하는 경우도 있다. 용해성으로는 +2가와 +3가 철이온으로, 불용해성으로는 $Fe(OH)_3$, Fe_2O_3, 유기물이나 규산과 결합한 화합물 등의 형태를 띠며 암석 또는 토양에서 유래되어 magnetite(자철광, Fe_3O_4), pyrite(황철광, FeS_2), Hematite(적철광, Fe_2O_3), Limonite(갈철광, $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$), siderite(능철광, $FeCO_3$) 등이 환원되어 용출된다. 배급수 계통에서의 Fe는 원수중에서 유래되는 경우 외에도 급수배

관에서 용출되기도 하는데 pH, 알칼리도가 낮은물, CO_2가 많은 물 등에서 특히 용출되기 쉽다. 철이 많은 물은 혼탁 및 적수의 원인이 되며 철 박테리아의 번식을 초래하고 관 내면에 부착되어 물의 흐름을 방해한다. 철은 인체의 Hemoglobin 합성과 관련하여 인체 필수 원소로 성인은 체내에 약 4.5g정도를 유지하고 있으며 1일 10 mg정도를 섭취하여야 한다.

월간 취수원수 72점 및 정수처리 계통별 시료 중 취수원수 21점에서는 0.06~3.21 mg/L(평균 : 0.41 mg/L)범위로, 정수 151점 및 정수처리 계통별 시료 중 21점에서는 불검출~0.10 mg/L(평균 : 정량한계 0.05 mg/L이하)범위로 나타났으며, 정수처리 계통별 시료 중 직수 21점과 탱크수 21점에서는 각각 불검출~0.11 mg/L(평균 : 정량한계 0.05 mg/L이하), 불검출~0.10 mg/L(평균 : 정량한계 0.05 mg/L이하)범위로 나타나 취수원수에 존재하는 상당양이 수처리공정을 거치면서 대부분 제거되고 일부 배급수계통에서 용출되는 양은 극히 미량으로 수돗물이 안전하게 공급되고 있음을 알 수 있다.

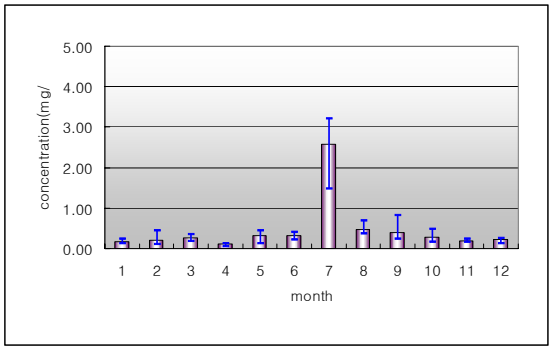

Figure 13. Distribution of Iron Concentration in Raw water

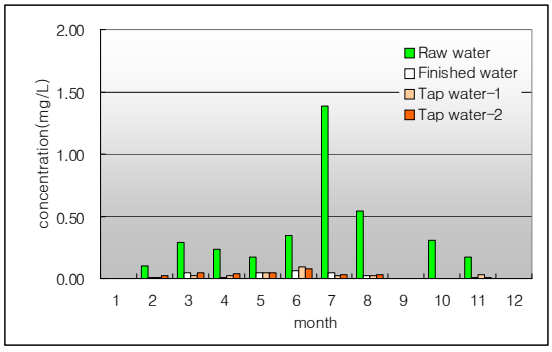

Figure 14. Distribution of Iron Concentration in Raw-, Finished- and Tap water

노후관 수도꼭지 수질검사 시료는 총 360점으로, 최대 0.16 mg/L까지 검출된 경우도 있었으나 연평균이 정량한계 0.05 mg/L 이하로 불검출되었고 대부분의 시료에서 수질기준을 크게 밑도는 수치로 나타나 취수원수부터 수요가의 수도꼭지까지 안전한 수돗물 공급이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

모니터링 수도꼭지 수질검사시료에서도 일부 검출되고 있으나 모두 수질기준에 크게 못 미치는 낮은 농도범위를 나타내고 있다.

시민신청 수도꼭지 수질검사시료의 경우 총 84점이었고 수돗물 66점에서는 불검출~0.14 mg/L, 정수기물 11점에서는 불검출, 지하수 2점에서는 불검출, 불명수 5점에서는 불검출~0.19 mg/L범위로 나타났으며 연평균은 각각 불검출, 불검출, 불검출, 0.05 mg/L로 수질기준 0.3 mg/L이하를 고려하면 약 1/10정도의 수준이므로 수돗물이 안전하게 공급되고 있음을 알 수 있다.

10. 망간(Mn, Manganese)

자연수에서의 망간은 주로 지질에서 기인하고 제철, 제강, 전지제조, 시약제조 등의 공장폐수 혼입이 주 오염원이다. 또한 호소, 저수지, 하천에서 저층수의 용존산소가 부족하면 저부에서 용출되는 경우도 있다. 수돗물에서 망간은 그 존재량이 미량일지도 색도가 증가하며, 배급수관 내에 산화축적되어 흑수의 원인이 되기도 한다. 정수처리 공정에서 망간제거를 위해 망간여재를 사용하는 경우 염소주입량이 부족하면 여재중의 망간이 용출되는 경우도 있다.

월간 취수원수 72점 및 정수처리 계통별 시료 중 취수원수 21점에서는 불검출~0.083 mg/L(평균 : 0.024 mg/L)범위로, 정수 151점 및 정수처리 계통별 시료 중 정수 21점에서는 불검출~0.014 mg/L(평균 : 정량한계 0.005 mg/L이하)범위로 나타났으며, 정수처리 계통별 시료 중 직수 21점과 탱크수 21점에서는 각각 불검출~0.007 mg/L(평균 : 정량한계 0.005 mg/L이하), 불검출~0.011 mg/L(평균 : 정량한계 0.005 mg/L이하)범위로 나타나 취수원수 중에 존재하는 양 대부분이 수처리공정을 거치면서 제거되고 배급수계통에서도 안정적인 수준을 유지하여 수돗물이 수요가의 수도꼭지까지 안전하게 공급되고 있음을 알 수 있다.

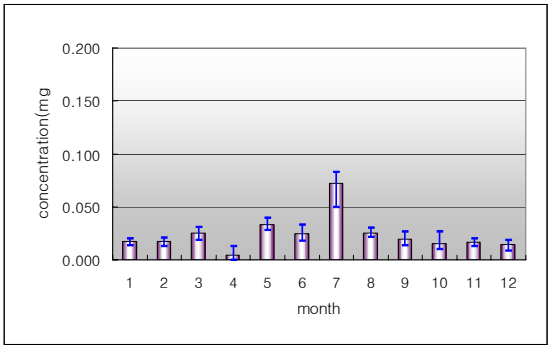

Figure 15. Distribution of Manganese Concentration in Raw water

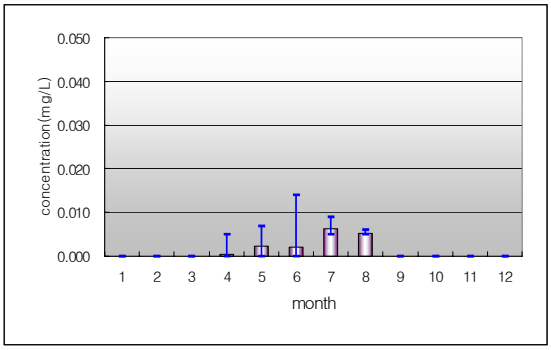

Figure 16. Distribution of Manganese Concentration in Finished water

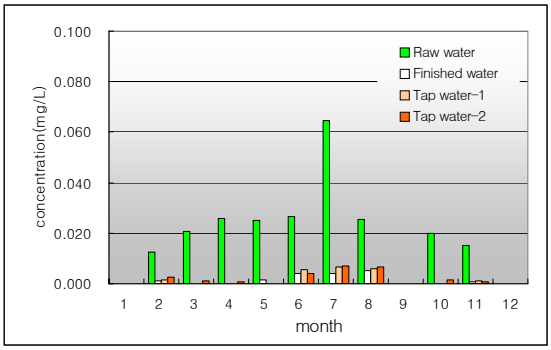

Figure 17. Distribution of Manganese Concentration in Raw-, Finished- and Tap water

노후관 수도꼭지 수질검사시료는 총 360점이었으며 불검출~0.012 mg/L, 연평균 0.005 mg/L이하로 수질기준 0.3 mg/L이하의 약 2 % 수준인 극히 낮은 값을 나타내 배급수계통 전체에서 안정적인 수질을 나타냈다.

모니터링 수도꼭지 수질검사시료에서도 일부 검출되고 있으나 모두 수질기준에 크게 못 미치는 낮은 농도범위를 나타내어 수돗물이 안전하게 공급되고 있음을 알 수 있다.

시민신청 수도꼭지 수질검사시료 중 수돗물은 총 66점이었고 모든 시료에서 불검출~0.008 mg/L범위로 나타나 수돗물이 배급수계통을 거치면서 외부환경에 의해 오염되지 않고 안전하게 공급되고 있음을 알 수 있다.

11. 알루미늄(Al, Aluminum)

알루미늄은 지각에 존재하는 원소 중 3번째로 많은 원소로서 토양과 암석으로부터 침출되어 자연수에 상당량이 존재한다. 수처리 과정에서 쓰이는 응집제로부터 검출되며, 인체에 흡수되어 신경질환, 근육통 및 알츠하이머(노인성치매) 질병을 유발시킨다. 또한 소독 처리된 먹는물에서 반응성이 강한 비교적 작은 분자로 존재하며, 자연수에서 미립자들로 이루어진 물질이나 비교적 높은 분자량을 갖는 유기물질과 결합한다.

월간 취수원수 72점 및 정수처리 계통별 시료 중 취수원수 21점에서는 0.09~5.99 mg/L(평균 : 0.62 mg/L)범위로 나타났으며, 정수 151점 및 정수처리 계통별 시료 중 정수 21점에서는 불검출~0.12 mg/L(평균 : 0.03 mg/L)범위로 나타났으며, 정수처리 계통별 시료 중 직수 21점과 탱크수 21점에서는 각각 불검출~0.07 mg/L(평균 : 0.04 mg/L), 불검출~0.07 mg/L(평균 : 0.03 mg/L)범위로 나타나, 토양이나 암석으로부터 용출되는 상당량이 취수원수에 존재하나 수처리공정 중 응집제인 PAC(Polyaluminium Chloride)와 결합하여 대부분이 제거되고 수질기준 0.2 mg/L이하의 약 1/6 내외의 안정적인 수준을 나타내 수돗물이 안전하게 공급되고 있음을 알 수 있다.

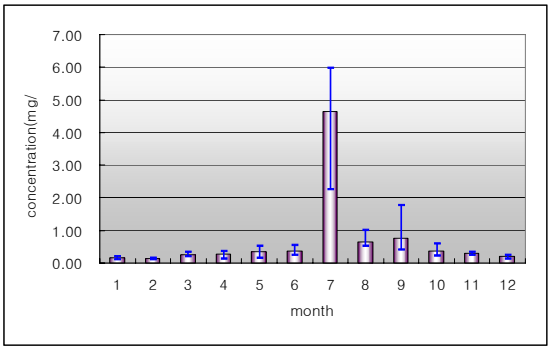

Figure 18. Distribution of Aluminum Concentration in Raw water

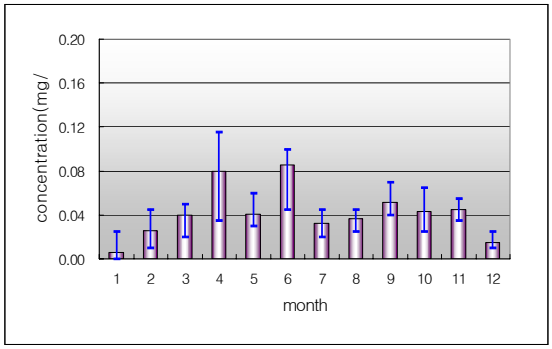

Figure 19. Distribution of Aluminum Concentration in Finished water

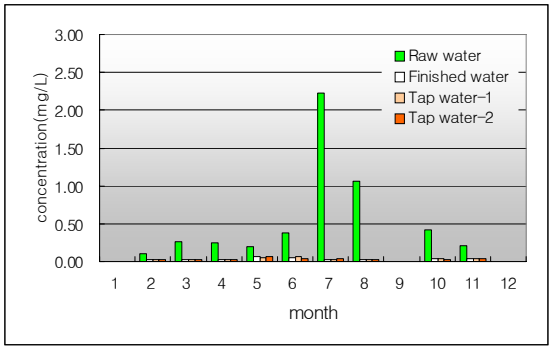

Figure 20. Distibution of Aluminum Concentration in Raw-, Finished-, and Tap water

노후관 수도꼭지 수질검사시료에서도 검출되고 있으나 그 수준이 정수의 수준과 거의 동일하게 나타나 배급수계통에서의 오염가능성은 없으며 따라서 안전한 수돗물 공급이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

시민신청 수도꼭지 수질검사시료는 총 84점이었고, 수돗물 66점에서는 불검출~0.14 mg/L, 정수기물 11점에서는 불검출~0.11 mg/L, 지하수 2점에서는 불검출, 불명수 5점에서는 불검출~0.47 mg/L범위로 나타났으며 연평균은 각각 0.04 mg/L, 0.03 mg/L, 불검출, 0.11 mg/L로 수질기준 0.2 mg/L의 약 1/6 이하이므로 취수원수로부터 배급수계통을 거쳐 수요가의 수도꼭지까지 수돗물이 안전하게 공급되고 있음을 알 수 있다.

결 론

2004년도 1월부터 12월까지 1년간 서울특별시 취수장 6개 원수, 6개 정수장 정수 15점 및 수도꼭지수 등을 대상으로 먹는물 수질기준 항목 중 건강상 유해영향 무기금속류에 속하는 납, 비소, 세레늄, 수은, 카드뮴, 보론과 심미적 영향 무기금속류에 속하는 동, 아연, 철, 망간, 알루미늄 등 총 11개 항목에 대하여 수질검사를 실시한 결과 다음과 같이 나타났다.

1. 건강상 유해영향 무기금속류에 속하는 납, 비소, 세레늄, 수은, 카드뮴은 분석대상 시료 전체에서 불검출 되어 수돗물이 안전하게 공급되고 있음을 나타내었다.
2. 건강상 유해영향 무기금속류에 속하는 항목 중 보론은 취수원수 단계에서부터 배급수계통 전 범위에 걸쳐 그 최대값이 0.01 mg/L로 수질기준 0.3 mg/L이하의 1/30 이하 수준을 나타내었다.
3. 취수원수 93점에 대한 검사결과, 동 불검출~0.071 mg/L(평균 : 0.010 mg/L), 아연 불검출~0.596 mg/L(평균 : 0.018 mg/L), 철 0.06~3.21 mg/L(평균 : 0.46 mg/L), 망간 불검출~0.083 mg/L(평균 : 0.024 mg/L), 알루미늄 0.11~5.99 mg/L(평균 : 0.71 mg/L)범위로 검출되었다.
4. 정수 172점에 대한 결과, 동 불검출~0.015 mg/L(평균 : 정량한계 0.008 mg/L 이하), 아연 불검출~0.056 mg/L(평균 : 0.003 mg/L), 철 불검출~0.10 mg/L(평균 : 정량한계 0.05 mg/L 이하), 망간 불검출~0.014 mg/L(평균 : 정량한계 0.005 mg/L이하), 알루미늄 불검출~0.12 mg/L(평균 : 0.04 mg/L)범위로 검출되었으며, 수질기준 대비 평균 검출수준은 1/333~1/5 이하로 나타나 수처리가 적합하게 이루어지고 있었다.
5. 노후관 수도꼭지 및 모니터링 수도꼭지 수질검사 시료 535점에 대한 검사결과, 동 연평균 0.008 mg/L이하로 불검출, 아연 0.009 mg/L, 철 0.05 mg/L이하로 불검출, 망간 0.005 mg/L이하로 수질기준 대비 극히 낮은 값을 나타내 배급수계통 전체에서 안정적인 수질을 나타냈다.
6. 시민신청 수도꼭지 수질검사 시료 84점 중 수돗물은 66점으로, 동 불검출~0.109 mg/L, 아연 불검출~0.192 mg/L, 철 불검출~0.14 mg/L, 망간 불검출~0.008 mg/L, 알루미늄 불검출~0.14 mg/L범위를 나타냈다. 각각의 연평균은 0.008 mg/L 이하, 0.025 mg/L, 0.05 mg/L 이하, 0.005 mg/L 이하, 0.04 mg/L로 수질기준 대비 최대 1/5의 수준을 보여 배급수계통을 거쳐 수요가의 수도꼭지까지 수돗물이 안전하게 공급되고 있음을 알 수 있었다.

국 문 요 약

서울특별시 원·정수 및 수도꼭지수 등을 대상으로 2004년 한해동안 실시된 수질검사 결과를 분석하였다. 분석항목은 먹는물 수질기준항목 중 건강상유해영향 무기금속류에 속하는 납, 비소, 세레늄, 수은, 카드뮴, 보론과 심미적영향 무기금속류에 속하는 동, 아연, 철, 망간, 알루미늄 등 총 11개 항목이었으며 납, 비소, 세레늄, 수은, 카드뮴은 모든 시료에서 검출되지 않았다.

또한 일부 시료에서 검출된 보론은 최대값이 0.01mg/L로 수질기준대비 1/30 수준이었으며 동, 아연, 철, 망간, 알루미늄의 검출수준 또한 수질기준에 비해 현저히 낮아 취수원수로부터 정수처리 공정을 거쳐 배급수계통 및 수요가의 수도꼭지에 이르기까지 수돗물이 외부오염인자에 의한 영향을 받지 않음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 서울시 상수도연구소, 2003년도 수질조사 분석 보고서.
2. 환경부 상하수도국, 2003, 2003년도 먹는물 수질관리지침.
3. 서울시 상수도연구소, 2002년도 수질조사 분석 보고서.
4. 서울시 수도기술연구소, 2001, 2000, 1999년도 수질조사 분석 보고서.
5. 박중현, 1993, 상수도공학, 동명사.
6. 김남천 외 1, 1993, 상수시험방법, 동화기술.
7. 유명진 외 1, 1998, 환경화학, 동화기술.
8. 환경처·환경공무원교육원, 1994, 음용수관리.
9. 김무식 외 3, 1995, 수질오염공정시험법주해, 동화기술.
10. 문희정 외 1, 환경화학, 1996, 한국경제신문사.
11. 서울특별시 상수도사업본부, 1999, 상수도 실무용어 해설
12. 환경부, 1998, 세계보건기구 먹는물 수질관리지침서.
13. 박석기 외 2, 1996, 먹는물의 수질관리, 동화기술.
14. WHO, 1996, Guidelines for Drinking-Water Quality 2nd ed.
15. Herwalt, Barbara L. Michael H. Kramer, Gunther F. Craun, Rebecca L. Calderon, Dennis D. Juranek. 1996. Waterborne disease : 1993 and 1994. J. AWWA, 3:66~79.
16. Gichsel, Y.;von Gunten, U. Environ. Sci. Technol. 2000. 2784~2791.
17. Salhi, E.;von Gunten, U. Water Res. 1999. 33, 3239~3244.
18. Letterman, R. D., Amirthirajah, A. & O' Melia, C. R., "Coagulation and Flocculation", Water Quality and Treatment, 5th edn(1999), Cha. 6.