

서울시 일원의 약수터 수질 특성 및 위해성 평가 -부적합 항목 중심으로-

음용용수팀

유동구 · 하광태 · 이 진 · 전명진 · 고한성 · 이동식
김익수 · 김홍제 · 이민환 · 신정식 · 김명희

The Study of Water Quality and Risk Assessment on Spring Water in Seoul

Drinking & Groundwater Team

**Dong-koo Ryu, Kwang-tae Ha, Jin Lee, Myung-jin Jun,
Han-sung Koh, Dong-sik Lee, Ick-soo Kim, Hong-je Kim,
Min-hwan Lee, Jung-sik Shin and Myung-hee Kim**

Abstract

The result of spring water analysis was that 102 of the total 325 samples, this means 31.5% of total, were not proper for drinking. In the hazard materials for health, 2 samples in Fluoride, 2 in Selenium, and 4 in Nitrate were not proper for drinking. F- and Se weren't detected mostly, but NO₃-N was detected in almost all sample. The average concentration of NO₃-N in Gangnam Area was 2.3 mg/l and that of Gangbuk Area was 3.3 mg/l, then Gangbuk was a little higher than Gangnam. The Fluoride, the Selenium and the Nitrate are all non-carcinogenic toxic materials. With risk assessment result the HQ(hazard quotient) of the Fluoride appeared with 1.75, 1.77 and there is a risk. The HQ of the Selenium and the Nitrate is 1 under and there isn't a risk. In order to reduce the risk of the Fluoride shortening in duration of water quality analyzation and intercepting a hazard material approach with reinforcement of Fluorine standard are necessary.

Key words : spring water, risk assessment, hazard quotient

서 론

오늘날 산업활동의 고도화와 생활양식의 변화는 새로운 오염물질의 발생 및 오염물질의 증가를 가

져왔다. 또한 예전부터 진행되어진 호소 등의 부영양화, 유기염소계 화학물질의 발생, 각종 농약의 하천 및 지하수 오염발생 빈도의 증가로 인체에 유해한 물질이 우리가 먹는 상수원에 유입될 가능

성이 높아졌으며, 그 종류는 수백 종이 넘을 것으로 보인다. 미국의 경우 먹는물 수질기준 항목은 1종 83항목, 2종 15항목이며, 일본의 경우도 법정 항목 46, 감시항목 27, 쾌적항목 13항목으로 우리나라의 먹는물 기준항목인 55항목(소독부산물 포함)에 비하여 다소 많은 항목을 기준으로 정하여 놓고 있다.

최근에 양질의 음용수에 대한 국민적 욕구가 증대됨에 따라 먹는물에 대한 관심이 고조되고 있으며, 이러한 물의 질은 인간의 건강을 유지하는데 중요한 요소로 작용한다. 건강유지에 대한 국민들의 관심이 커지면서 물을 찾아 도시근교의 사찰, 등산로, 유원지등에 위치한 샘터를 이용하는 인구가 해마다 급속히 증가하고 있으나, 약수터의 경우 대장균군, 일반세균, 여시니아균에 의한 미생물학적 오염과 인체에 위해성을 주는 건강상 유해영향 무기물질인 질산성질소, 불소, 셀레늄 등이 부적합 요인으로 나타나고 있다(1).

본 연구에서는 서울시에 위치한 약수터를 대상으로 약수터 수질의 특성과 부적합 항목이 인체에 미치는 위해성을 평가하여 시민이 안심하고 마실 수 있는 약수를 공급하여 시민의 건강에 기여하고자 한다.

연구대상 및 방법

1. 조사대상

본 조사연구 자료는 2004년도 서울시내 약수터 중 각 자치구에서 우리 연구원에 수질분석 의뢰된 325개 약수터를 대상으로 하였으며, 부적합에 의한 재검사 자료는 본 연구에 포함되지 않았다.

2. 검사항목 및 시험방법

- 1) 미생물(4항목) : 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군, 여시니아균.
- 2) 건강상 유해영향 무기물질(11항목) : 납, 불소, 비소, 셀레늄, 수은, 시안, 6가크롬, 암모니아성질소, 질산성질소, 카드뮴, 보론.
- 3) 건강상 유해영향 유기물질(16항목) : 페놀,

다이아지논, 파라티온, 페니트로티온, 카바틸, 1,1,1-트리클로로에탄, 테트라클로로에틸렌, 트리클로로에틸렌, 디클로로에탄, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌, 1,1-디클로로에틸렌, 사염화탄소, 1,2-디브로모-3-클로로프로판.

- 4) 심미적 영향물질(16항목) : 경도, 과망간산칼륨소비량, 냄새, 맛, 동, 색도, 세제(계면활성제), 수소이온농도, 아연, 염소이온, 중발산류물, 철, 망간, 탁도, 황산이온, 알루미늄
- 5) 미생물 4항목 등 47개 수질항목에 대하여 먹는물 관리법에 의한 먹는물공정시험방법에 따라 분석하였다(4).

3. 위해성 평가

Risk Assessment Guidance for Superfund (USEPA), Human Health Evaluation Manual Part A(USEPA)에 근거하여 위해성 평가를 하였다(9~10).

결과 및 고찰

1. 지역별 부적현황

2004년도 조사 지역인 25개 자치구에서 의뢰된 전체 시료는 325건이었고, 그 중 31.4%인 102건이 부적합으로 나타났으며, 부적합 시료의 항목수는 166 항목이었다. 부적합 항목 중 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군, 여시니아균 등 미생물에 관한 항목의 부적합 건수가 전체 부적합 항목의 88.6%를 차지하여 주된 부적합 원인으로 나타났으며, 건강상 유해영향 항목으로는 불소, 셀레늄, 질산성질소 항목이 전체 부적합 항목의 4.8%로 나타났다. 인체에 유해 영향보다는 심미적인 영향을 주는 항목으로 수소이온농도, 색도, 아연, 중발산류물, 황산이온, 경도가 6.6%를 차지하였다.

지역별로 표 1은 2004년도 서울시 약수터의 부적합 내용이다. 강북이 165개소, 강남이 160개소로 약수터의 숫자는 거의 비슷하였고, 부적합은 강북이 70개소로 42.4%, 강남은 96개소로 60.0%를

나타내어, 강남지역의 부적합률이 강북보다 다소 높았다.

2. 항목별 부적요인

1) 불소

불소는 암석이나 토양 중에 200~500 ppm 정도

로 함유되어 널리 분포하고 있기 때문에 자연수 중에 검출되기 쉽다. 불소화합물의 독성 작용은 CaF 형성에 의한 Ca 제거가 주된 작용이지만, 불소화합물에 중독된 쥐의 경우 신장의 지방산 산화효소 활성이 현저하게 감소하고, 또한 간장의 질소 및 지방 함량이 감소하는 것을 발견하였으며, 불소 중독에서는 탄수화물의 대사장해도 보였다.

Table 1. The unsuitable items of spring water in Seoul at 2004

Test no.	Suitable no.	Unsuitable no.	Sum of unsuitable item	Unsuitable Item															
				Total colony	Coli forms	Fecal coli forms	Yersinia	pH	Color	Zn	NO ₃ -N	Se	F-	R.S.	SO ₄ ²⁻	Hardness			
Gangnam	27	23	4	5		3	1	1											
Gangdong	12	8	4	6		3	1			1			1						
Gangbuk	6	4	2	3		1	1										1		
Gangseo	8	6	2	2	2														
Gwanak	31	17	14	35	4	15	13	1								2			
Gwangjin	7	5	2	2		2													
Guro	5	2	3	5		3	2												
Geumcheon	25	15	10	16	1	8	3			1							1	1	1
Nowon	51	40	11	20		7	7	5						1					
Dobong	11	8	3	6	2	2	1					1							
Dongdaemum	3	3	0	0															
Dongjak	9	7	2	2		2													
Mapo	2	2	0	0															
Seodaemun	33	22	11	13		10	2	1											
Seocho	30	17	13	16		5	3	8											
Seongdong	1	0	1	1								1							
Seongbuk	2	2	0	0															
Songpa	1	0	1	2		1	1												
Yangcheon	12	8	3	7	1	3	2					1							
Eunpyoung	15	13	2	3		2	1												
Jongro	17	9	8	12	1	5	2		1		1	1					1		
Jungrang	17	11	6	10	1	4	2	1			2								
Total	308	211	96	156	11	72	40	16	1	2	3	4	2	2	3	1	1		

음료수 등에서 불소를 장기간 과량으로 섭취한 경우 불소 농도 2 mg/L 이상에서 반상치가 생기고, 8 mg/L 이상에서 골의 통증과 유연증을 일으키는 골질환이 나타난다. 먹는물 기준은 미국이 4.0 mg/L, 일본이 0.8 mg/L, 한국은 1.5 mg/L로 미국보다는 엄격하지만, 일본보다는 다소 완화된 기준을 가지고 있다. 본 조사에서 불소 항목의 부적합은 2건이며, 농도는 관악구 제2광장 지점이 5.04 mg/L, 관악구 성주암 지점이 5.12 mg/L로 기준치인 1.5 mg/L의 3.4배 초과하였다.

2) 세레늄

세레늄은 유황과 동족인 비금속원소로 지각 중에 상당량이 포함되어 있다. 사람에게 대한 세레늄의 독성은 정련이나 사용공장에서 세레늄이 피부에 접촉하여 홍반 또는 수포를 동반한 화상, 피부염을 일으키는 것 외에 눈에 안검부종, 결막염 등의 장애를 일으킨다. 또한 세레늄화합물의 고농도 흡입폭로에 의해 기침, 흉부통, 호흡곤란, 육지기, 신경과민, 피로, 위장장애(설사, 복통) 등의 급속중독증상을 나타낸다. 공장 주변에 사는 주민들에서는 흙색의 얼굴, 손톱의 파열, 고도의 빈혈, 저혈압 등의 증상을 나타내는 사례가 보고되어 있다(2). 전체 조사 대상인 325건 중에서 세레늄이 검출된 건수는 7건으로 대부분 지점이 불검출로 나타났다. 먹는물 중에 세레늄 기준은 미국이 0.05 mg/L, 일본과 한국은 0.01 mg/L로 같다. 검출된 7건 중 부적합은 2건이며, 강동구 둔촌1호 지점이 0.023 mg/L, 노원구 불암약수 지점이 0.050 mg/L로 검출되어 기준 초과로 나타났다.

3) 질산성질소

음용수에 존재하는 질산성질소 성분은 동물이나 사람에게 여러 가지 형태로써 위해성을 가한다. 질산성 독성은 미생물에 의해서 질산성질소가 아질산성질소로 환원됨으로써 초래되며, 환원된 아질산성질소는 혈류내로 흡수되어 헤모글로빈과 반응하여 혈액의 산소전달계 기능을 부분적으로 상실시킨다. 이러한 작용은 특히 6개월 이하 영아에게 치명적이어서 영아가 청색으로 보이고 호흡이 짧아지는 Blue-baby 증후군을 유발한다. 미국,

일본과 더불어 한국에서 음용수에 대한 질산성질소의 허용 기준치는 10 ppm으로 정하고 있다(2~4). 질산성 질소는 지하수 중에서 주로 검출되는 항목으로 본 조사 대상인 약수터에서도 94.5%인 307건에서 질산성 질소가 검출되었으며, 그 중 4건이 부적합으로 나타났다. 부적합 지점은 강남 지역이 1건, 강북 지역이 3건으로 나타났으며, 기준치인 10.0 mg/L를 1.3~2.0배 초과하였다. 그림 1은 지역별 질산성질소 농도 변화로 강남지역의 평균농도는 2.3 mg/L, 강북지역은 3.3 mg/L로 강북이 강남에 비해 높았으며, 최고 농도는 강남이 14.1 mg/L, 강북이 20.0 mg/L로 강북 지역이 다소 높은 농도를 보였다.

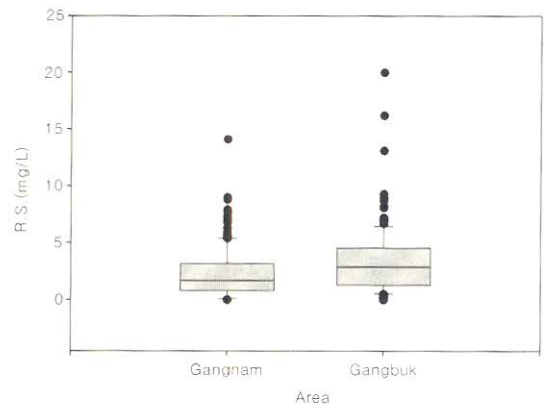


Fig. 1. Comparison of NO₃-N concentration in Gangnam and Gangbuk Area.

4) 증발잔류물

증발잔류물의 주성분은 주로 Ca, Mg, Si, Na, K 등이며, 건강상 위해는 확실하지 않지만, 증발잔류물을 형성하는 용해물질에는 위생상 문제점이 있을 수가 있으며, 또 다량 함유한다면, 맛에 대한 변화를 가져올 수 있기 때문에 심미적 영향물질로 분류되어지고 있다. 그림 2는 증발잔류물의 지역별 농도 분포를 나타내고 있다. 본 조사에서는 전체 시료 중 3건이 기준치 초과로 인해 부적합으로 나타났으며, 강남 지역의 평균이 129 mg/L, 강북 지역이 142 mg/L로 강북의 평균이 다소 높았다. 부적합 지점은 강북 지역이 668 mg/L로 1건, 강남 지역이 643 mg/L, 676 mg/L로 2건으로 나타났다.

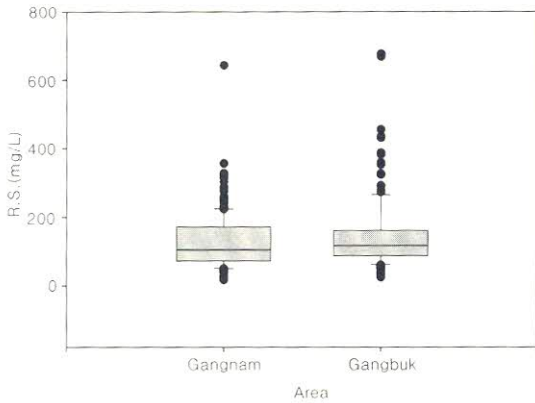


Fig. 2. Comparison of R.S. concentration in Gangnam and Gangbuk Area.

3. 부적합 항목의 위해성 평가

화학물질에 기인되는 건강영향이란 통상적으로 발암, 생식세포 돌연변이, 발생독성, 기관·조직 독성의 4가지의 부류로 나누어진다(5). 화학물질 중에는 발암성과 독성을 동시에 가지고 있거나 비발암성이면서 독성을 가지고 있는 물질들이 있다. 또한 이러한 독성은 다양한 경로에 의해 동물이나 식물, 인간의 몸에 누적되어 생명에 영향을 주거나, 성장에 장애를 줄 수 있다(6, 7).

본 연구는 약수터를 식수로 사용하는 성인 남성 에 대하여 부적합 단일 항목에 대한 위해도 평가이다. 평가 대상 물질은 건강상 유해영향 물질인 불소, 셀레늄, 질산성 질소이며, 이들 물질은 모두 비발암성 물질로 분류되어져 있다(8). 표 2에서 BW(body weight)는 US-EPA(U.S. Environmental Protection Agency)에 따른 성인을 기준으로 하였으며, ED(exposure duration)는 본 연구원 수질 검사 기간인 년 1회를 기준으로 하였다. GI(gastrointestinal absorption) factor는 불소가 0.97, 셀레늄이 0.44, 질산성 질소가 0.5이며, 이는 IRIS(Integrated Risk Information System)의 수치를 이용하였다.

표 3은 각 항목의 Oral RfD이며, 표 4는 각 지점의 ING(Ingestion intake)를 나타내었다(9). 불소 항목이 부적합으로 나타난 S1, S2 지점의 HQ(hazard quotient)가 각각 12.2, 12.4로 나타

나 위해도가 있는 것으로 조사되었으며, 셀레늄이 부적합인 S2, S3 지점과 질산성 질소가 부적합인 S4~S8 지점은 HQ가 1미만으로 위해도가 없는 것으로 나타났다.

Table 2. Requisite parameters for calculating ING(ingestion intake)

Parameter	Aggregate resident
Body weight (BW)[kg]	70 ¹⁾
Exposure frequency (EF) [days/year]	365
Exposure duration (ED) [years]	70 ²⁾
Average water ingestion rate (WIR) [L/day]	1.5 ³⁾
Everage time (AT) [days]	365 ⁴⁾
Fraction ingested from contaminated source (FI) [unitless]	0.1*
GI absorption factor (ABS)[%]	0.97 ⁵⁾ , 0.44 ⁶⁾ , 0.5 ⁷⁾

¹⁾ ²⁾ US-EPA

³⁾ water ingestion - 1.5 L/day (US-EPA)

⁴⁾ for non-cancer effects

⁵⁾ Fluoride, ⁶⁾ Selenium, ⁷⁾ Nitrate from IRIS

* assumed

Table 3. RfD(Reference dose)

Items	Oral RfD[mg/kg/day]
Fluoride	0.061 ¹⁾
Selenium	0.005 ²⁾
Nitrate	1.6 ³⁾

¹⁾ ²⁾ ³⁾ IRIS(Integrated Risk Information System) database in USA.

Table 4. Ingestion intake and hazard quotient for non-carcinogenic risk

Items	Sites	Concentration in spring water(mg/L)	ING ⁹⁾ (mg/kg/day)	Oral risk ¹⁰⁾ (HQ)
Fluoride	S1 ¹⁾	5.04	7.33E-01	1.22E+01
	S2 ²⁾	5.12	7.45E-01	1.24E+01
Selenium	S3 ³⁾	0.023	1.52E-03	3.04E-01
	S4 ⁴⁾	0.050	3.30E-03	6.60E-01
	S5 ⁵⁾	16.2	1.22E+00	7.59E-01
Nitrate	S6 ⁶⁾	14.1	1.06E+00	6.61E-01
	S7 ⁷⁾	13.1	9.83E-01	6.14E-01
	S8 ⁸⁾	20.0	1.50E+00	9.38E-01

¹⁾ S1 : 관악구 제2광장

²⁾ S2 : 관악구 성주암

³⁾ S3 : 강동구 둔촌1호

⁴⁾ S4 : 노원고 불암약수터

⁵⁾ S5 : 성동구 매봉약수터

⁶⁾ S6 : 양천구 지양산

⁷⁾ S7 : 종로구 무악동

⁸⁾ S8 : 도봉구 초안산공원

$$ING = \frac{Cw \times WR \times FI \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

Cw=chemical concentration in drinking water(mg/L)

$$HQ = \frac{ING}{OralRID}$$

결론

2004년 서울지역 약수터 수질 조사결과 약수터 수질 특성 및 이를 장기간 음용하였을 경우 인체에 미치는 영향은 아래와 같다.

1. 약수터 수질조사 결과 총 325건의 시료 중에서 102건이 먹는물 수질기준에 부적합으로 나타나 총 시료의 31.5%가 음용에 부적당한 것으로

조사되었다.

2. 건강상 유해영향 물질인 불소의 경우 2건, 세레늄이 2건, 질산성 질소가 4건이 부적합으로 나타났다으며, 불소나 세레늄은 불검출이 많았으나 질산성 질소는 거의 전 지역에서 검출되었다. 질산성 질소의 지역적 특성을 보면 강남지역의 평균농도는 2.3 mg/L, 강북지역의 평균농도는 3.3 mg/L로 강북지역이 다소 높게 나타났다.
3. 불소나 세레늄, 질산성 질소의 경우 모두 비발암성 독성 물질로 본 위해도 평가 결과 불소의 경우 HQ가 12.2, 12.4로 나타나 위해도가 있는 것으로 판명되었고, 세레늄과 질산성 질소는 HQ가 1미만으로 위해도가 없는 것으로 판명되었다.
4. 불소의 위해도를 줄이기 위해서는 년 1회 수질 검사 기간의 단축이나, 불소 기준의 강화를 통하여 인체에 대한 유해물질의 접근차단이 필요할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 김익수, 이상수, 김홍제, 한규문, 권승미, 이지영, 이순희, 신덕영, 박재우, 김주형 : 서울시 일원의 약수터 수질특성에 관한 연구, 서울특별시보건환경연구원보, 37:349~360, 2001.
2. 박석기, 안승구, 엄석원 : 먹는물의 수질관리, 동화출판사, p71~96, 1996.
3. Gabriel B and Charles PG: Groundwater Pollution Microbiology, John Wiley & Sons, Inc., 156~165, 1984.
4. 환경부 홈페이지 (www.me.go.kr/user/known/).
5. 김오식 : 환경화학물질의 위해성 평가, 신광문화사, p46~56, 1993.
6. 정은혜 : Arsenic and Heavy Metal Contamination and Human Health Risk Assessment around the Abandoned Dongjeong Au-Ag-Cu Mine, 서울대학교 석사학위 논문, 2004.
7. 박은진 : 음용수의 위해성 평가에 관한 연구.

- 서울대학교 석사학위논문, 1992.
8. www.epa.gov/iris/.
9. Williams PL, James RC and Roberts SM :
Principle of Toxicology - Environmental
and Industrial Applications. 2nd, ed. Wiley-
interscience, New York, p437~477. 2000.
10. Michael DL, Phillip LB and Jeffrey CE :
Hazardous Waste Management, 2nd. ed.
McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDI-
TION. 242~330, 2001.