

국내 먹는샘물의 특정 수질 항목에 대한 고찰

Speculation on the Water Quality for the Natural Mineral Water

조 병 옥(Byong Wook Cho)	한국지질자원연구원 환경지질연구부
이 병 대(Byeong Dae Lee)	한국지질자원연구원 환경지질연구부
이 인 호(In Ho Lee)	한국지질자원연구원 환경지질연구부
추 창 오(Chang Oh Choo)	경북대학교 지질학과

요약 / ABSTRACT

국내 먹는샘물의 수질기준치를 초과할 가능성이 있는 수질 항목에 대해 취수정의 심도와 지질을 연관시켜 고찰하였다. 5년 간(1998~2002)의 수질분석 결과에 의한 질산성질소의 평균 함량 범위는 0.8~1.09 mg/L, 불소의 평균 함량은 0.37~0.45 mg/L, 수소이온농도의 평균은 7.30~7.59이다. 이는 비슷한 심도의 일반 지하수와 유사한 값을 보여서 천부 지하수의 유입 가능성을 지시한다. 전반적으로 이들 수질항목과 취수정의 심도, 지질과는 뚜렷한 관련성을 보이지 않는다. 먹는샘물의 평균 비소함량은 1999년의 0.0024 mg/L에서 2002년의 0.0066 mg/L으로, 비소 함량이 0.001 mg/L 이상인 먹는샘물 제조업체의 비율도 1999년에 20.1%에서 2002년에 64.9%로 증가하고 있다. 2002년 현재, 향후 USEPA의 음용수 중 비소함량 기준으로 예상되는 0.01 mg/L을 초과하는 먹는샘물 제조업체 수는 57개소 중 11개소이다.

주요어 : 지하수, 먹는샘물, 질산성질소, 수소이온농도, 불소, 비소

Contents of the specific components in the natural mineral water was discussed in relation to the well depth and geology. According to water quality data during the last five years(1998~2002), the nitrate and fluoride concentrations, and pH averaged 0.89~1.09 mg/L, 0.37~0.45 mg/L, and 7.30~7.59, respectively. These values are the similar range to those of generalized groundwater having same well depths, implying that shallow groundwaters flow into the production wells. In general, no clear relationships between the water quality, well depth, and geology were found. The average arsenic concentration of the natural mineral water increased from 0.0024 mg/L in 1999 to 0.0066 mg/L in 2002. The percentage of production well with arsenic level higher than 0.001 mg/L also increased from 20.1% in 1999 to 64.9% in 2002. In 2002, 11 out of 57 production wells exceed 0.01 mg/L which will be announced as a new arsenic standard for drinking water by USEPA.

Key Words : groundwater, natural mineral water, nitrate, pH, fluoride, arsenic

서론

최근 지표수 자원의 오염 증가로 인해서 지하수에 대한 음용수로서의 의존도는 점점 높아지고 있다. 먹는샘물의 정의는 'The natural mineral water'로서 지하 암반층에서 산출되는 지하수를 말한다. 먹는샘물은 국민의 건강과 직결되어 있다는 점과 한 개의 먹는샘물 제조업체를 운영하기 위해서는 보통 수십 억 원 이상이 소요된다는 점을 고려한다면, 수질과 수량의 적절한 관리가 요구된다. 국내 먹는샘물 제조업체 수는 90년대 중반부터 급격히 늘어나기 시작하여, 현재 허가된 업소는 약 80개에 이르고 있다. 이들 허가된 업소 중 일부는 휴, 폐업 상태이어서 실제 먹는샘물을 생산하고 있는 곳은 약 60개 내외이다. 먹는샘물의 총 생산량은 1996년의 893,000 m³/y부터 지속적으로 증가하여 2001년 현재 생산량은 1,851,000 m³/y이다. 먹는샘물의 생산량은 매년 계속 증가할 것으로 예상된다.

이 같은 단기간에 걸친 먹는샘물 생산량의 증가는 먹는샘물의 수량고갈과 특정 수질 항목의 기준치 초과 등의 문제를 일으킬 수 있다. 예를 들면 일부 먹는샘물 제조업체에서는 허가 취수량보다 훨씬 적은 수량을 양수함에도 불구하고, 취수정의 수위강하가 100 m를 넘어서서 양적으로 고갈에 직면한 업체도 수 개소나 되며, 불소, 비소 등의 함량이 기준치를 상회하는 먹는샘물도 발생하고 있다.

본 연구의 목적은 최근 5년 동안 축적된 먹는샘물 수질 자료 중에서 수질기준 초과 가능성에 있는 pH, 불소, 비소 함량을 취수정의 심도, 지질학적 요인과의 관계를 고찰하여, 향후 먹는샘물의 수질관리에 기여함에 있다.

먹는샘물 제조업체의 분포 및 지질

지하수의 수질은 일차적으로 지표로 스며든 강우가 지하로 이동하면서 발생하는 물-암석반응의 결과에 지배되기 때문에 지하수의 수질에 있어서 지질은 중요한 변수이다. Fig. 1은 2000년도에 수질분석이 이루어진 57개 먹는샘물 제조업체의 위

치를 나타낸 것으로서, 본 논문에서 해석되지 않은 제주도의 2개소와 중생대 퇴적암류에 위치한 1개소는 제외되었다. 그림에서 보는 바와 같이 연구대상 먹는샘물 제조업체가 위치하는 지역의 지질은 선캄브리아기 변성암류, 옥천계 변성암류, 쥐라기와 백악기의 화강암류로 3대분 할 수 있다. 대부분의 먹는샘물 제조업체는 선캄브리아기 변성암류와 화강암지역에 분포하고 있다.

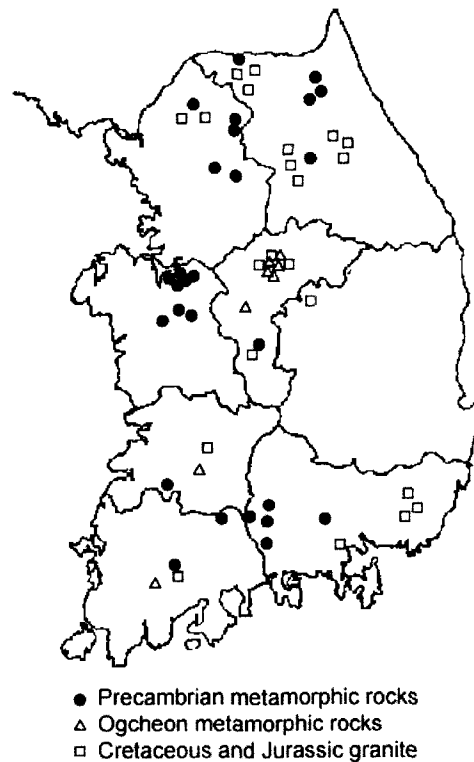


Fig. 1. A location map showing 57 natural mineral water companies for the study.

수질분석

5회에 걸친 먹는샘물의 수질분석을 위한 시료 채취는 1차년도(1998)를 제외하고는 매년 상반기(3~5월)와 하반기(8~10월)의 2차례에 걸쳐 이루어졌으며, 본 논문에 이용된 분석자료는 강우의 영향이 적을 것으로 판단되는 상반기의 자료를 이용하였다.

현장에서의 먹는샘물 시료 채취는 채취 당시 먹

는샘물을 생산중인 현장에서는 바로 채취하였으며, 방문 당시 생산 중단 상태인 현장에서는 먹는샘물 취수정 체적의 약 3~5배를 배출시킨 다음 시료를 채취하였다(Barcelona et al., 1985). 물 시료 채취시에는 0.45 μm 멤브린 여과지(membrane filter)를 통과시켜서 부유물을 제거하였다. 채취된 물 시료는 채취할 물로 잘 세척한 1 L의 폴리에틸렌 용기에 넣어 아이스박스로 냉장 저장한 다음, 화학분석을 위하여 한국지질자원연구원의 실험실로 운반하였다. 양이온 분석용으로 채취된 물은 현장에서 pH 3 이하로 산처리를 하였다.

분석된 먹는샘물의 수질분석 항목은 K, Na, Ca, Mg, SiO₂, Al, Cl, F, NO₃-N, SO₄, As 등이었으며, pH, EC, 중탄산 등은 현장에서 측정되었다. 이들 성분에 대한 화학분석은 한국지질자원연구원 분석부에서 이루어졌으며, 원자흡광분석기(Perkin Elmer 5100), 유도결합플라즈마(Jobinyvon 38) 및 이온크로마토그래피(Dionex 300)를 이용하였다. 현장 측정에 이용된 기기는 TOA pH meter (HM-12P), TOA EC meter (CM-14P) 등이었다.

비소함량 분석은 FI(flow injection)-MH(mercury hydride)-AAS를 사용하였는데 검출한계는 0.1 ppb이며 재현성은 약 3%이다. 이 방법은 비소와 같은 미량원소의 정량분석에 있어서 기존의 다른 분석방법보다 정확한 결과를 보여 주고 있다(성익환 외, 2000).

결과 및 토의

먹는샘물 취수정 현황

먹는샘물 제조업체의 대부분은 산악지형에 위치하며 취수정의 평균 심도는 일반 지하수공에 비해서 깊은 199.5 m이다(Table 1). 먹는샘물 취수정에는 지표수와 천부 지하수의 유입 방지를 위하여 약 5 m에서 200 m 심도의 케이싱이 설치되어 있으나, 차단 정도는 확실치 않다(성익환 외, 2000).

결정질암의 단열저류체를 관통한 지하수공의 적정 산출량 산정은 양수에 따른 지하수위의 안정이 빨리 이루어지지 않고, 비균질, 비등방성, 경계조건 등의 특성 때문에 용이하지 않다. 국내 암반층에 굴착된 지하수공의 수는 많지만, 현재까지

암반 지하수공의 평균 지하수 산출량에 대한 자료가 거의 없다. 1998년도 42개 먹는샘물 제조업체의 평균 허가량은 295 m³/d, 당시 취수량은 허가량의 23.8%인 70 m³/d로 알려져 있다(조병욱 외, 1998). 그러나 노르웨이의 화강암지역에 굴착된 지하수공의 지하수 산출량 자료에 의하면, 1개 지하수공에서 24 m³/d 이상의 산출 가능성은 30%로 나타난다(Banks, 1998). 물론 노르웨이의 연 강수량은 우리나라와 비슷하지만 총적층이나 풍화대는 거의 없다는 다른 점은 있다. 결국 국내 먹는샘물 제조업체의 취수정이 관통한 지질은 결정질암임에도 불구하고 평균 295 m³/d이라는 허가 취수량은, 일부 먹는샘물 취수정에서는 케이싱 처리의 문제 등으로 인해 천부 지하수가 취수정으로 유입되고 있음을 의미하기도 한다.

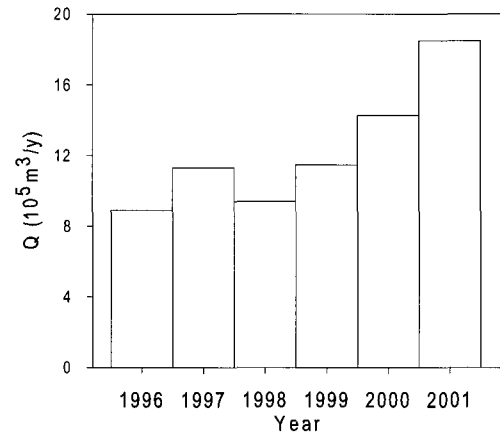


Fig. 2. Production quantity of the natural mineral waters during the period of 1996-2001.

최근 6년 간 전국 먹는샘물 제조업체의 연도별 먹는샘물의 생산량은 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 1998년도에 판매량이 일시적으로 줄어든 것은 외환위기 때문에 먹는샘물의 소비량이 감소하였기 때문으로 판단된다. Table 1에 대표적으로 2000년도에 수질분석이 이루어진 먹는샘물 취수정의 심도와 취수정이 위치한 지질, 비소, 불소, 질산성질소의 함량과, pH 측정치를 나타내었다.

질산성질소

5차례의 수질분석 결과에 의한 전국 먹는샘물의

Table 1. Basic information on geology, depth, and water chemistry from 57 natural mineral waters in 2000.

No.	Geol.*	Depth(m)	As(mg/L)	F(mg/L)	NO ₃ N(mg/L)	pH	Date	No.	Geol.*	Depth(m)	As(mg/L)	F(mg/L)	NO ₃ N(mg/L)	pH	Date
1	1	155	0.010	0.09	0.92	7.35	00-10-26	32	2	112	0.000	0.04	0.00	8.05	00-04-07
2	1	198	0.000	0.04	3.00	7.71	00-04-20	33	2	185	0.006	0.09	0.88	7.74	00-04-13
3	1	197	0.004	0.44	1.10	7.86	00-04-14	34	2	303	0.000	0.03	2.95	7.04	00-06-14
4	1	338	0.004	1.16	0.50	7.98	00-05-24	35	3	198	0.003	0.08	0.05	7.74	00-04-25
5	1	264	0.000	0.03	0.46	7.82	00-04-21	36	3	110	0.013	1.72	0.06	7.16	00-02-23
6	1	160	0.000	0.03	1.06	8.14	00-03-31	37	3	283	0.008	0.23	0.32	6.90	00-04-04
7	1	235	0.006	0.67	0.87	8.01	00-05-17	38	3	210	0.000	0.29	0.63	8.06	00-04-12
8	1	290	0.030	0.90	0.22	6.66	00-02-10	39	3	470	0.008	1.48	0.13	7.60	00-06-13
9	1	199	0.000	1.26	0.70	7.95	00-03-02	40	3	400	0.000	3.27	0.18	7.65	00-05-18
10	1	300	0.004	0.19	0.48	7.80	00-03-30	41	3	104	0.000	0.95	0.90	7.51	00-04-25
11	1	200	0.008	0.07	0.00	7.74	00-04-14	42	3	160	0.000	0.08	1.70	7.06	00-05-15
12	1	111	0.000	0.80	0.00	7.70	00-03-10	43	3	250	0.000	1.17	0.02	7.45	00-02-21
13	1	150	0.000	0.08	2.61	6.86	00-03-03	44	3	200	0.002	0.19	1.10	7.60	00-04-20
14	1	230	0.000	1.01	0.00	6.36	00-02-18	45	3	218	0.001	0.25	1.51	8.14	00-04-20
15	1	248	0.000	0.04	0.55	7.44	00-04-21	46	3	166	0.000	0.16	0.98	7.49	00-05-17
16	1	203	0.000	0.32	0.94	6.65	00-04-14	47	3	112	0.020	0.30	1.67	7.05	00-04-07
17	1	110	0.012	0.11	0.00	7.85	00-05-03	48	3	48.7	0.000	0.24	4.99	7.04	00-04-11
18	1	222	0.000	0.46	0.26	6.03	00-02-18	49	3	190	0.000	0.19	0.22	7.76	00-04-26
19	1	150	0.063	0.40	0.80	8.27	00-04-17	50	3	188	0.010	0.05	0.00	7.90	00-04-06
20	1	200	0.001	0.11	1.32	7.00	00-04-06	51	3	150	0.000	1.65	0.23	8.14	00-04-19
21	1	101	0.000	0.05	0.80	7.03	00-03-31	52	3	141	0.000	0.26	0.56	7.90	00-05-16
22	1	152	0.026	0.05	0.27	7.44	00-04-11	53	3	140	0.000	0.14	2.25	7.38	00-03-03
23	1	155	0.022	0.18	1.11	7.80	00-04-17	54	3	287	0.000	0.03	0.02	7.97	00-03-31
24	1	200	0.002	0.03	0.47	7.34	00-02-17	55	3	236	0.000	0.18	0.00	6.96	00-02-16
25	1	203	0.000	0.57	0.00	8.05	00-05-03	56	3	150	0.000	0.75	1.11	7.47	00-05-16
26	1	200	0.004	0.24	0.00	7.84	00-03-30	57	3	220	0.000	0.12	0.97	7.67	00-02-22
27	2	143	0.002	0.17	0.00	7.56	00-05-02								
28	2	184	0.003	0.07	0.65	6.43	00-02-11	Mean		199.5	0.0057	0.42	0.80	7.51	
29	2	152	0.000	0.07	1.82	7.44	00-04-06	Min.		48.7	0.0000	0.03	0.00	6.03	
30	2	325	0.038	0.30	0.25	7.70	00-04-04	Max.		470.0	0.0630	3.27	4.99	8.27	
31	2	162	0.017	0.03	1.06	7.79	00-04-07	Stdv.		75.8	0.0112	0.58	0.93	0.49	

* 1. Precambrian metamorphic rocks 2. Ordovician metamorphic rocks 3. Jurassic and Cretaceous granite

Table 2. NO₃-N, pH, F, and As values in the natural mineral waters. unit : mg/L

Content	Year	Mean	Min.	Max.	Std. dev.	Samples
NO ₃ -N	1998	0.90	0.00	4.33	0.89	57
	1999	1.09	0.00	5.37	1.04	62
	2000	0.80	0.00	4.99	0.93	57
	2001	0.98	0.00	4.91	0.87	61
	2002	1.00	0.00	4.92	1.04	57
pH*	1998	7.36	6.08	8.17	0.42	57
	1999	7.30	6.09	8.48	0.59	62
	2000	7.51	6.03	8.27	0.50	57
	2001	7.59	6.41	8.98	0.58	61
F	1998	0.37	0.00	1.91	0.43	57
	1999	0.43	0.02	2.92	0.48	62
	2000	0.42	0.03	3.27	0.58	57
	2001	0.45	0.07	1.50	0.36	61
	2002	0.43	0.04	1.90	0.44	57
As	1999	0.0024	0.0000	0.0560	0.0090	62
	2000	0.0057	0.0000	0.0630	0.0113	57
	2002	0.0066	0.0000	0.0390	0.0095	57

* : no unit

질산성질소의 평균 함량은 Table 2와 같다. 연도별 질산성질소 평균 함량에는 큰 차이가 없이 약 1 mg/L로 나타나 먹는샘물 기준치인 10 mg/L보다는 상당히 낮다. 그러나 지하수 중의 질산성질소는 자연적인 지질매체와의 반응에 의한 것이라기보다 유기물이나 생활하수 등의 오염에 의하여 물 속에 존재하게 된다. 따라서 질산성질소의 기원은 대부분 지표로부터 비롯된 것으로 볼 수 있으며, 심부로 갈수록 회석작용, 음이온 교환반응, 미생물에 의한 소모 등에 의하여 그 함량이 감소하는 것으로 알려져 있다(이종운 외, 1997a).

5개년의 수질분석 자료 중에서 대표적으로 2000년도의 수질자료(Table 1)를 이용하여 먹는샘물의 질산성질소에 대해서 해석하였으며, 분석에 이용된 57개 취수정의 평균 심도는 199.5 m이다. 먹는샘물의 수질보호 특성상 지표수와 천부 지하수의 유입 차단을 위하여 취수정에는 케이싱과 그라우

팅으로 처리되어 있지만, 57개 취수정에서 평균 0.8 mg/L의 질산성질소가 검출되고 있다. 이 값은 비슷한 심도(100-300 m)를 가지는 일반 지하수의 질산성질소 함량(옥천계 변성암지역의 0.55 mg/L, 화강암지역의 0.90 mg/L)과 유사하다(이종운 외, 1997a). 바꾸어 말하면 현재 먹는샘물에서 산출되는 지하수의 근원은 천부 지하수도 그 근원이 될 수 있음을 지시한다.

Fig. 3(a)는 2000년도 57개 먹는샘물의 취수정의 심도와 질산성질소 함량과의 관계를 나타낸 것이다. 지질별로 보면 화강암지역 먹는샘물의 취수정과 질산성질소 함량 사이에는 -0.53의 상관계수를 보이지만, 57개 전체 취수정의 심도와 질산성질소의 상관관계는 -0.29로 낮다(Table 3). 전체적으로 보아 취수정의 심도가 깊을수록 먹는샘물에서 천부 지하수보다 심부 지하수가 차지하는 비율이 증가함을 추정할 수 있다. 물론 취수정의

심도가 깊다고 해서 반드시 심부 지하수가 산출되는 것은 아니고, 중요한 것은 주 대수층(water strike depth)이 어느 심도에 위치하느냐이지만, 취수정의 심도가 깊어질수록 보다 심부 지하수가 산출될 가능성은 커진다. 또한 일부 먹는샘물의 질산성질소 함량은 취수정의 심도와 관계없이 검출되지 않는 것으로 나타나, 질산성질소 함량은 케이싱과 그라우팅 처리만 완벽하다면 취수정의 심도와는 관계가 없음을 보여주고 있다.

수소이온농도(pH)

현재 수소이온농도의 먹는샘물 기준은 5.8~8.5 사이이다. 지하수의 수소이온농도는 지질환경에 따라서 결정되며 인위적인 영향은 거의 받지 않는다. 수소이온농도는 광물을 용해시키면서 소모되므로 지하 심부로 내려갈수록 지하수의 pH는 높아진다. 화강암지역 지하수의 평균 pH를 지하수공의 심도 별로 분석한 자료에 의하면 심도 0~100 m의 평균 pH는 7.0, 100~300 m는 7.82, 300m이상은

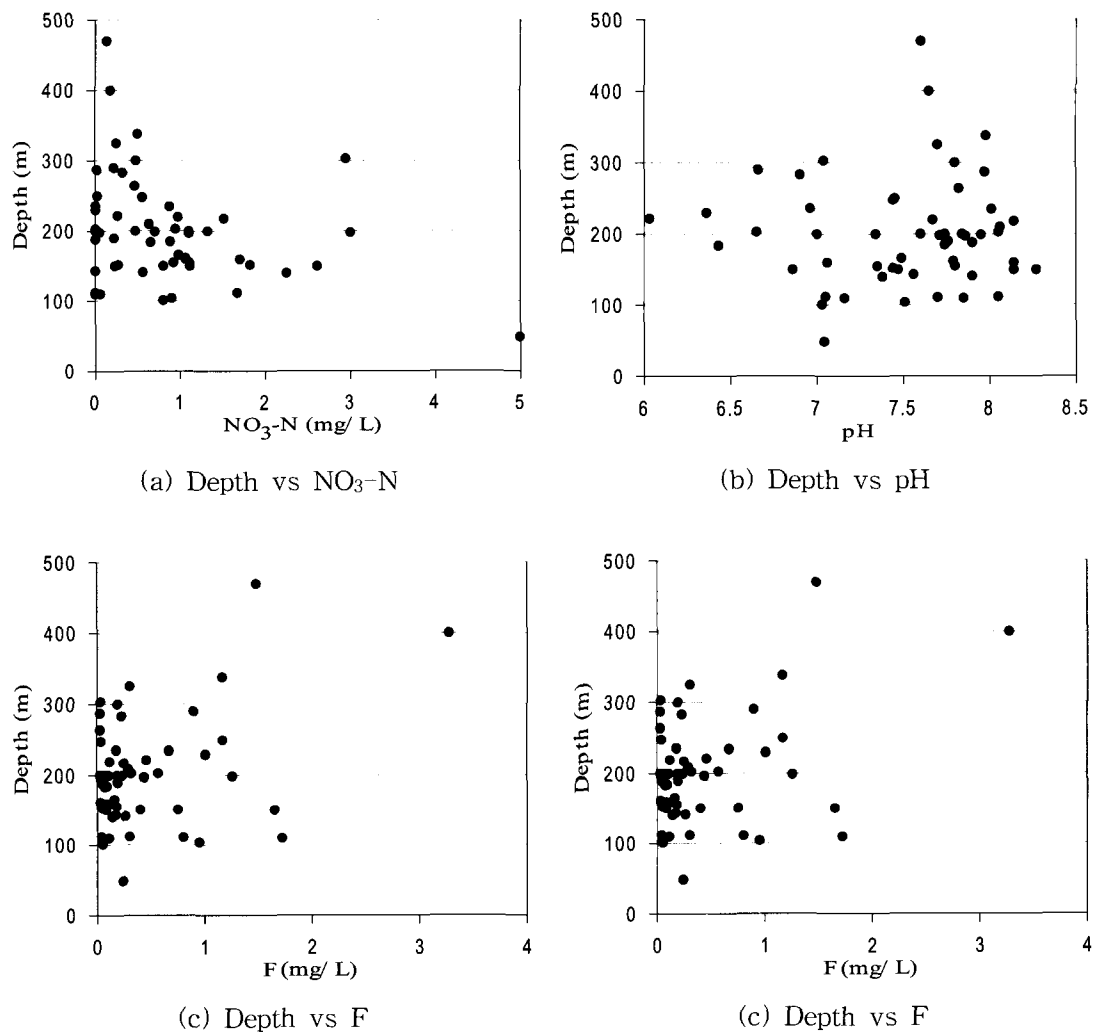


Fig. 3. Relationships between well depth vs. NO₃-N, pH, and F values and NO₃-N vs. F values of 57 natural mineral waters in 2000.

8.48로 지하수공의 심도가 깊어질수록 pH가 높아지는 것으로 보고된 바 있다(이종운 외, 1997a). 특히 온천공으로 개발된 장 심도의 지하수공에서는 pH가 10을 넘는 곳도 있다(배두중 외, 1993). 온천공의 pH가 높은 것은 지하수공의 산출 심도가 깊은 이유도 있지만, 천부지하수의 유입에 의한 수온 저하를 방지하기 위하여 보통 300 m 정도 내외의 그라우팅을 철저히 하기 때문으로 판단된다.

Table 3. Correlation coefficients between well depth and NO₃-N, pH, F and As values.

Geology	NO ₃ -N	pH	F	As
Pc metam.	-0.158	-0.052	0.365	-0.144
Og metam.	0.387	-0.247	0.476	0.559
Granite	-0.532	0.143	0.419	-0.016
Total	-0.290	0.013	0.372	0.016

일반적으로 심도가 깊을수록 지하수의 pH는 8~10까지 상승한다. 전체 57개 먹는샘물의 경우 취수정의 심도와 pH의 상관성은 거의 나타나고 있지 않다(Fig. 3(b), Table 3). 또한 4차례에 걸친 연도별 먹는샘물의 평균 pH 값은 7.30에서 7.59로 약간 상승함을 보여 주나(Table 2) 비슷한 심도의 일반 지하수에 비해서 약간 낮은 편이다. 이러한 현상은 Table 1에서 보는 바와 같이 먹는샘물 취수정의 심도분포가 100~250 m 사이에 밀집(79%)되어 있다는 점과 먹는샘물의 질산성질소 함량에서 보듯이 천부지하수의 유입에 의해 낮아졌을 가능성이 있다. 최근 일부 먹는샘물에서는 pH가 8.5를 넘어서는 곳도 보고되고 있는데 이들 취수정의 지하수위는 100 m를 넘어서고 있다.

불소(F)

불소의 먹는샘물 기준은 1.0 mg/L에서 1.5 mg/L를 거쳐서 현재는 2.0 mg/L이다. 불소는 화강암, 편암 및 편마암 등의 심부 지하수에서 높은 함량을 보이는 이온으로 알려져 있다(이종운 외, 1997a).

연도별 먹는샘물의 평균 불소 함량은 0.37

mg/L에서 0.45 mg/L로서 큰 차이가 없고(Table 2), 비슷한 심도를 가지는 일반 지하수공의 값보다 약간 낮게 검출된다. 즉, 심도 100~300 m 지하수공의 경우 화강암지역의 불소 평균 함량은 0.58 mg/L이고, 옥천계 변성암지역의 불소함량은 0.66 mg/L으로 알려져 있다(이종운 외, 1997b). 불소의 함량은 지하수공의 심도에 비례한다는 점과, 먹는샘물의 불소 함량이 비슷한 심도의 일반 지하수공보다도 비슷하거나 낮다는 사실은, 먹는샘물 취수정의 케이싱이나 그라우팅 상태도 일반 지하수공과 크게 차이가 없음을 시사한다. 이러한 사실은 취수정의 심도와 불소 함량 관계(Fig. 3(c))에서도 나타나고 있는데, 심도의 증가에 따른 불소의 함량은 증가함을 보이지만 그 상관계수는 0.37로 미약하다(Table 3).

심도 300m 이상 되는 일반 지하수의 불소 평균 함량은 4.47 mg/L이고, 온천공으로 개발된 일부 심부 지하수에서 19.0 mg/L의 함량을 보이는 곳도 있기 때문에(배두중 외, 1993), pH와 마찬가지로 먹는샘물의 불소 함량도 천부 지하수의 유입에 따른 희석작용으로 실제 기반암 지하수의 불소 함량보다 낮아졌을 가능성이 있다. 이는 불소의 함량과 질산성질소의 함량관계(Fig. 3(d))가 음의 상관관계(-0.27)인 것과도 일치한다. 2002년 상반기에 2개소의 먹는샘물 제조업체가 불소 기준치인 2.0 mg/L를 넘어서 행정조치를 당한 바 있다.

비소(As)

비소는 암석, 토양, 동식물, 화산활동, 인간활동 등 여러 경로를 통해서 나타날 수 있지만, 먹는샘물 취수정은 산악지형의 기반암에 위치하기 때문에 여기서는 주 공급원을 암석으로 보았다. Table 4는 주요 암석별 비소함량 평균치를 나타낸 것으로, 퇴적암의 세일에서 특히 높게 나타난다. 비소는 유독성 성분으로서 음용수 중의 비소에 장기간 노출되면 피부암, 방광암, 폐암, 전립선암 등을 일으키는 것으로 알려져 있다(최석원 외, 1996). 지질학적 요인에 의한 지하수중 비소검출 사례는, 멕시코, 칠레, 아르헨티나, 몽고, 가나, 대만, 방글라데시 등 여러 나라에서 보고되고 있다(Jacobson, 1998). 현재 외국의 음용수 중 비소 함

량 기준은 0.01 mg/L에서 0.05 mg/L 범위로서, WHO는 0.01 mg/L, 캐나다는 0.025 mg/L이다. 국내 먹는샘물의 비소함량 기준은 USEPA와 마찬가지로 0.05 mg/L이다. 그러나 최근 USEPA 등에서는 비소함량 기준을 0.05 mg/L에서 0.01mg/L로 강화하려는 개정안을 최종화하는 단계에 있기 때문에(EPA, 2001), 향후 국내 먹는샘물의 수질에 있어서 주의가 요구되는 항목이다.

Table 4. Arsenic contents of various rocks.

Rock type	Arsenic(ppm)	
	Mean	Range
Basalt	2.3	0.06~113
Andesite	-	0.5~5.8
Granodiorite	2	-
Granite	1.5	0.2~13.8
Felsite	1.4	0.3~16.0
Volcanics	-	0.2~12.2
Sandstone	1.0	0.6~120
Slate	1.0	0.1~20
Phosphorite	2.7	0.4~188
Shale	13.0	0.3~490

Choi and Kim, 1996

먹는샘물에서의 비소문제는 2000년부터 제기되기 시작하였는데, 이는 일부 먹는샘물에서 비소 기준치인 0.05 mg/L를 상회하는 경우가 있었기 때문이었다. 전국 먹는샘물에 대한 비소분석은 2차년도(1999), 3차년도(2000), 5차년도(2002)의 3차례에 걸쳐 이루어졌는 바, 연도별 전국 먹는샘물의 평균 비소함량은 0.0024 mg/L, 0.0057 mg/L, 0.0066 mg/L로 계속 증가하고 있다(Table 2).

먹는샘물의 비소함량은 연도별로도 증가하고 있지만 비소가 검출되는 먹는샘물 제조업체 수도 증가하고 있다. 예로서 1999년의 경우 비소 함량이 0.001 mg/L 이상인 먹는샘물 제조업체의 수는 전체의 20.1%에 불과했으나, 2000년에는 47.4%, 2002년에는 64.9%로, 시간이 지날수록 먹는샘물의 비소함량과 검출되는 먹는샘물 제조업체 수가 증

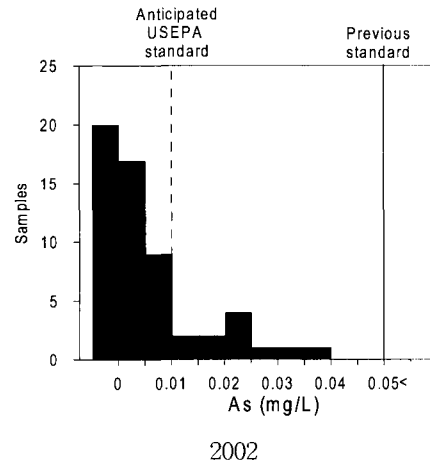
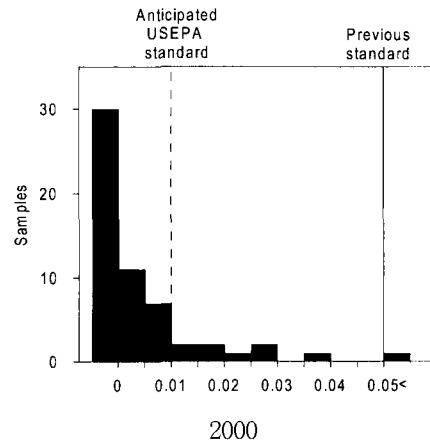
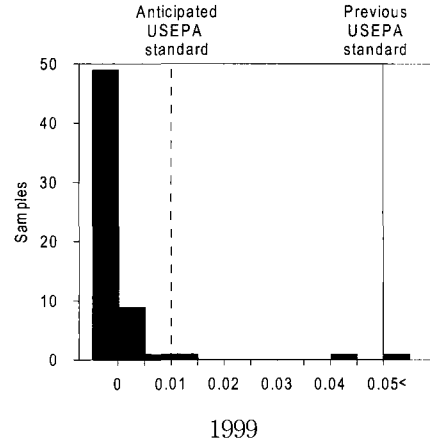


Fig. 4. Histograms of the As contents in the natural mineral water.

가하고 있음을 볼 수 있다(Table 5, Fig. 4). 이 그림에서 실선은 USEPA의 2000년까지의 음용수 중 비소함량 기준치이고, 점선은 새롭게 제정될 USEPA의 음용수중 비소함량 기준치이다. 이와 같이 장기간 생산량이 누적됨에 따라 먹는샘물 중의 비소함량과 검출 빈도가 증가하는 것은 양수량이 증가하면서 취수정 주변 유동시스템 내의 유입-유출량의 균형이 깨어지면서 비소의 함량이 상대적으로 증가하는 현상으로 볼 수 있다. 향후 USEPA의 음용수 중 비소함량 기준치가 될 0.01 mg/L을 초과하는 먹는샘물 제조업체 수는 2002년 현재 전체 57개 중 19.3%인 11개소이다. 이러한 기준치를 넘는 먹는샘물의 수는 매년 증가할 것으로 예상된다.

Table 5. Ranges of As contents in the natural mineral waters.

Year	0 (mg/L)	0~0.005 (mg/L)	0.005~0.01 (mg/L)	0.01~0.05 (mg/L)
1999	49(79.1)	9(14.5)	1(1.6)	3(4.8)
2000	30(52.6)	11(19.6)	7(12.3)	9(15.8)
2002	20(35.1)	17(29.8)	9(15.8)	11(19.3)

() : percentage

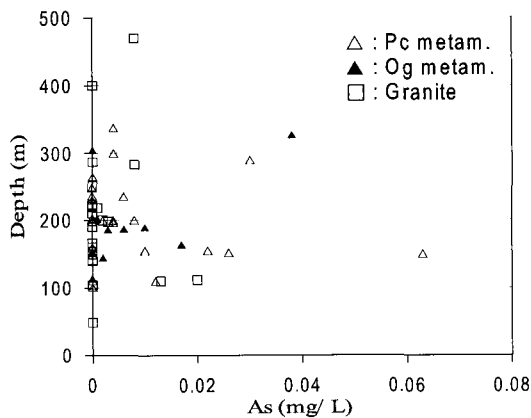


Fig. 5. A relationship between well depth and As contents in 57 natural mineral waters according to geology in 2000.

2000년도의 전체 57개 먹는샘물의 비소함량과 취수정의 심도는 관계가 없는 것으로 나타난다 (Table 3, Fig. 5). 취수정의 심도와 비소함량간에는 뚜렷한 상관성이 없음은 멕시코 중부의 Zimapan(Armienta et al., 1997), 가나의 Obuasi 금광지역(Smedley et al., 1996) 등에서 알려졌다. 일부 지하수에서는 지하수의 심도와 관계가 있는 것으로도 알려져 있다. 즉, 심부 지하수일수록 유화광물(sulphide)을 포함하는 암석과의 반응 시간이 길기 때문에, 일부 심부 지하수에서는 비소의 함량이 높다고 보고된 바 있다(Smedley et al., 1996). 전체적으로는 취수정의 심도와 비소함량과의 상관성은 없는 것으로 나타나나 지질별로 보면 옥천계 변성암의 먹는샘물에서 0.56의 상관계수를 보인다(Table 3). 먹는샘물을 지질별로 분류했을 시에도, 선캠브리아기 변성암류와 화강암 지역의 먹는샘물보다는 옥천계 변성암의 먹는샘물에서 비소의 함량이 가장 높다(Table 6). 이는 Table 4에 제시된 주요 암석의 비소 함량과도 일치하고 있다. 따라서 옥천계 변성암지역에 위치한 먹는샘물 제조업체에서는 비소 함량에 대해서 주의가 요구된다.

결론

현재 허가되어 영업중인 먹는샘물 취수정의 심도와, 지질, 향후 먹는샘물 수질기준에 문제가 될 수 있는 항목(pH, 불소, 비소)에 대하여 고찰한 결과, 전반적으로 지질, 취수정의 심도와 각 수질 항목들간의 관련성은 낮은 것으로 나타났다.

1. 먹는샘물 제조업체의 취수정은 허가 취수량과 질산성질소 함량 등을 고려하면 천부 지하수의 유입 차단을 위한 케이싱과 그라우팅 처리가 전반적으로 부실한 것으로 추정된다.

2. 취수정의 심도와 수질 항목들 간에 뚜렷한 관계를 보이지는 않지만 불소 함량은 취수정의 심도와 0.37의 상관계수를 보인다. 그러나 이에 대해서는 추후 취수정 제원, 취수량과 수위강하 추이 등의 연구가 필요하다.

3. USEPA의 음용수 중 비소에 대한 기준은 0.05 mg/L이었으나 0.01 mg/L로 강화될 예정이다. 현재 국내 먹는샘물의 비소기준은 0.05 mg/L

이나, 먹는샘물의 비소 함량과 비소가 검출되는 먹는샘물 제조업체의 수가 매년 증가하고 있기 때문에 주의가 요구된다.

4. 비소 함량은 옥천계 변성암에 위치한 먹는샘물에서 높게 나타나며, 취수정의 심도와 0.56의 상관계수를 보인다.

5. 기존 먹는샘물의 갱신 단계에서는 특정 수질의 장기적인 모니터링 결과를 면밀히 분석하여 이를 적극적으로 적용하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 배두중, 이종민, 송교영, 1993, 단양 남조지구 온천 공조사보고서, 67p.
- 성익환, 조병욱, 이병대, 김통권, 이봉주, 최성자, 윤욱, 지세정, 임현철, 최병인, 김상연, 추창오, 김정숙, 2000, 먹는샘물관리시스템구축 연구(III), KIGAM Report, 273p.
- 이종운, 전효택, 전용원, 1997a, 국내화강암질내 심부지하수의 지구화학적 특성, 지하수환경, 4, 199-211.
- 이종운, 전효택, 전용원, 1997b, 대수층 지질 및 온도에 따른 국내 지하수의 지구화학적 특징-화강암질내 지하수와의 비교, 지하수환경, 4, 212-222.
- 조병욱, 성익환, 추창오, 이병대, 김통권, 이인호, 1998, Evaluation and characteristics of the commercial portable groundwater in Korea, 대한지하수환경학회·한국토양환경학회 추계학술대회, 119-122.
- 최석원, 김억수, 1996, 의학환경 지구화학, 춘광, 434.
- Armienta M.A., Rodriguez R., Aguayo A., Cenicerros N., Villasenor G., and Cruz O., 1997, Arsenic contamination of groundwater at Zimapan, Mexico, J. Hydrogeology, 5, 39-46.
- Banks, D., 1998, Predicting the probability distribution of yield from multiple borehole in crystalline bedrock, J. Groundwater, 36, 269-274.
- Barcelona M.J., Gibb J.P., Helfrich J.A., and Garske E.E., 1985, Practical guide for groundwater sampling, EPA, 94.
- EPA, 2001, Drinking water standard for arsenic, EPA 815-F-00-015.
- Jacobson G., 1998, Arsenic poisoning from groundwater in Bengal-A vast, tragic, hydrogeological problem unfolds, J. Hydrogeology, 6, editorial.
- Smedley P.L., Edmunds W.M., and Pelig-B.A. K.B., 1996, Mobility of arsenic in groundwater in the Obusai gold-mining area of Ghana: some implications for human health, J. Environment Geochemistry and Health, 113, 163-181.

투 고 일 2002년 9월 15일
 심 사 일 2002년 9월 16일
 심사완료일 2002년 11월 18일

이병대
 한국지질자원연구원 환경지질연구부
 305-350, 대전시 유성구 가정동 30번지
 Tel : 042-868-3088
 E-mail : blee@kigam.re.kr

추창오
 경북대학교 지질학과
 702-701, 대구시 북구 산격동
 Tel : 053-950-7317
 E-mail : chooco@knu.ac.kr

이인호
 한국지질자원연구원 환경지질연구부
 305-350, 대전시 유성구 가정동 30번지
 Tel : 042-868-3089
 E-mail : ihlee@kis.kigam.re.kr

조병욱
 한국지질자원연구원 환경지질연구부
 305-350, 대전시 유성구 가정동 30번지
 Tel : 042-868-3083
 E-mail : cbw@kigam.re.kr