

부산지역 일부 약수터의 수질특성에 관한 연구

환경조사과

김 현 실

A Study on the Water Quality of Some Natural Mineral Springs in Busan Area

Environmental Research Division

Hyun-Sil Kim

Abstract

This study was performed to investigate the water quality of the natural mineral springs in Busan. Samples for this study were collected for a year from March, 2000 to February, 2001 at fifty sites. In order to evaluate the taste of water the content amount of minerals(Ca, Mg, Na, K), silicic acid and sulfate was measured.

The range of pH was 6.6~7.7 at the natural mineral springs in Busan. And the contents of nitrate(NO₃-N) were detected over 5mg/L at six sites. But the water at all sites was satisfied the Korean drinking water standard of nitrate, below 10mg/L.

The result of major cation contents analysis was found Na⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > K⁺ and major anion contents analysis was found Cl⁻ > SO₄²⁻ > NO₃-N > F⁻.

A correlation coefficient was 0.4772 between chloride and calcium and was 0.4310 between chloride and magnesium. Hardness had a high correlation with alkalinity.

The K and O index values were used as an index of healthy and delicious water. The water at 32 sites(64%) was evaluated healthy and delicious.

Key Words : natural mineral springs, K and O index

서론

현재 세계인구의 약 40%가량은 만성적인 물 부족을 겪고 있으며, 다가오는 2025년경에는 전세계의 물 수요량의 급격한 증가로 인한 심각한 물 부족 현상이 벌어질 것으로 예상된다. 우리나라의 경우도 1995년에는 물부족 국가군에 포함되어 있으며, 물 부족이 심화되면 1톤의 곡물을 생산하기 위해서는 1,000 m³의 물이 필요해 식량생산 및 인류의 생활수준은 심각한 타격을 받지 않을 수 없다.

물은 인체의 약 65%를 차지하는 구성요소이며, 10%를 잃으면 생리장애를 일으키고, 20%를 잃으면 생명에 위협을 초래하게 된다.

그러나 우리가 살고 있는 지구상에 분포하는 물중에는 해수가 97.2%, 빙하가 2.2%를 차지하고 하천이나 호소의 형태로 지표에 부존되어 있는 담수는 0.02%에 지나지 않으며 0.61%는 지하수로 부존되어 있다(한, 1983).

일반적으로 선진국일수록 음용수로써 지하수 이용도가 60~90%에 이르고(한, 1998), 부산시민의 경우 '94년 낙동강 수질오염 사고 등을 계기로 수도수를 불신하거나 회피하는 경향이 있어 부가적인 경제적 부담을 감수하면서까지 시판되고 있는 먹는샘물을 사서 먹거나, 보다 나은 좋은 물을 찾아 사찰, 등산로,

체육시설 등에 위치한 약수터를 이용하고 있는 실정이다.

부산시내 약수터의 수질특성에 관한 연구는 몇차례 (김과 조, 1985; 김과 하, 1992; 김, 1999)있었으나, 대부분이 미생물에 관한 연구였고, 무기물질에 관한 조사는 거의 없었다. 따라서 본 연구는 부산시내 일부지역 (8개구)을 중심으로 1일 이용인구 50인 이상의 약수터에 대하여 수질특성을 조사하고 가장 함유량이 많은 몇몇 미네랄물질을 성분 분석하였다. 또한 맛있는 물의 지표를 조사하여 지역에 따라 어떤 물맛의 특성을 가지고 있는지에 대해 파악함으로써, 약수를 이용하고 있는 시민들에게 건강증진과 약수터 개발 및 관리에 필요한 자료를 제공코저 한다.

연구방법

1. 시료채취

부산시내 동북부 지역에 분포된 일부 약수터 중 1일 50인 이상 이용하는 시설로 8개구, 군 50개 약수터를 대상으로 하였다. 대상 약수터들은 주로 사찰이나 체육시설, 등산로 주변, 임야, 공원 등에 산재하여 있었으며, 지점별 위치는 Table 1에 나타내었다.

시료채취는 4L 폴리에틸렌 용기를 사용하였고, 인위적인 영향을 배제하기 위해 검사용 시료를 충분히 자연방류한 후 채수용기를 세척하여 채수하였으며, 채

Table 1. The location of sampling sites

No	Sites	Address	Gu, Gun	U/d
1	Sagyukjang1	Dongsam1 san149-5	Youngdo-gu	80
2	Taejongdae-yongmeri	Dongsam2 san29-5		100
3	Mileukam	Dongsam3 san149-1		50
4	Bongsan	Bongrae4 256-3		80
5	Sanjeong	Sinseon3 san12		80
6	Gayasan	Gaya	Busanjin-gu	500
7	Mantap	Gaegeum		100
8	Oksejeong	Jeonpo san2-23		300
9	Geumnyeonam	Jeonpo san10		300
10	Bulgwangsa	Choeup san125-2		100
11	Chanmulsam	Choeup san98-1		100
12	Okcheon	Choeup san98-1	500	
13	Geumyong	Geoje2 100-6	Yeonje-gu	50
14	Hambakgol	Yeonsan7 176-1		50
15	Hwangeum	Yeonsan7 176-1		50
16	Banya	Yeonsan7 176-1		50
17	Soimi	Sajik2 san81-7	Dongrae-gu	80
18	Chillsungam	Oncheon1 san132-1		60
19	Cheongsuam	Oncheon2 san144		80
20	Geumgang1	Oncheon3 san190-7		100
21	Gatgol	Guseo1 san158-5	Geumjeong-gu	100
22	Mulmanggol2	Guseo2 san4-8		80
23	Yeomeong	Geumsa san9		120
24	Bulgwangsa	Namsan 883-1		80
25	Sudosa	Bugok2 674		100

※U/d : User/day

Table 1. The location of sampling sites (continued)

No	Sites	Address	Gu, Gun	U/d
26	Guwalsan	Bugok3 san15-17	Geumjeong-gu	80
27	Jeil	Seo3 san1		80
28	Sambatgol	Jangjeon2 san30		80
29	Jungang1	Daeyeon3 san54-36	Nam-gu	250
30	Naengsuyokter	Daeyeon3 san54-56		250
31	Daeyeonsam	Daeyeon3 san54-36		200
32	Butccot	Munhyeon1		100
33	Munsusa	Yongdang		100
34	Jangsan	Yongho2 san101		200
35	Igidae	Yongho3 san26-19		200
36	Seobjari	Yongho3 6-1		120
37	Sinseondae	Yongho4		50
38	Jogwang	Gwangan4 san35-4		Suyeong-gu
39	Ealeumgol	Mangmi san114	160	
40	Samsung APT	Mangmi san107-1	120	
41	Jangsan	Bansong1 bogeongsa	Haeundae-gu	150
42	Gaeunsa	Bansong2 49		200
43	Jangcheonsa	Bansong3 san51		400
44	Jungri	Banyeo1 116-1		200
45	Gwaneumjeong-sa	Banyeo3 san4-11		250
46	Seongbalsa	woo2 1108-11		300
47	Physical training park	Jaesong2 san31		300
48	Pokposa	Jwa san65		3000
49	Yongso	Gijangeup sebusan10	Gijang-gun	50
50	Jangansal	Janganeup		50

※U/d : User/day

수 즉시 아이스박스에 담아 실험실로 운반하여 분석하였다.

수질조사 기간은 2000년 3월부터 2001년 2월까지 4회 채수하였으며, 항목별 계절적 변화를 살펴보기 위해 봄, 여름, 가을, 겨울로 나누어 조사하였다.

2. 분석항목 및 방법

먹는물수질기준및검사등에관한규칙(환경부령 제95호)에서 정하고 있는

먹는물 수질기준의 44개항목 중 미생물 부분인 일반세균, 대장균군을 제외한 42개항목을 검사하였으며, 먹는물공정시험 방법(환경부 고시 제2000-75호)에 준하여 분석하였다. 그 외 무기물질 중 Ca, Mg, Na, K, SiO₂, 알칼리도 등은 Standard Methods, 日本衛生試驗法・註解 등에 준하여 분석하였다. 분석에 사용된 기기는 Table 2와 같다.

Table 2. Analytical Instruments

Items	Analytical Instruments
pH	pH meter (Model SA720A, Orion Research)
NO ₃ -N, Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻	Ion Chromatography (Waters 600E)
Hardness, Fluoride, KMnO ₄ consumption, alkalinity	Titration Method
NH ₃ -N, Cyande, Phenols, ABS, SiO ₂	UV/VIS Spectrophotometer (Varian Cary-13)
Pb, As, Se, Hg, Cr ⁶⁺ Cd, Cu, Zn, Fe, Mn Ca, Mg, Na, K	Atomic Adsorption Spectrophotometer (Varian SpectraAA-400)
Diazinon, Parathion, Malathion, Penitrothion, 1,1,1-Trichloroethane, Trichloroethylene, Benzene, Xylene, Tetrachloroethylene, Toluene, Dichloromethane, Ethylebenene	Gas Chromatography : Purge & Trap (CHROMPACK CP9001. HEWLETT 5890PACKARD SERIES II)

결과 및 고찰

1. 각 성분량의 연간 변동범위 및 평균치

각 성분량의 지점별 연간 평균치로 수질분석 결과를 평가하였다.

(1) pH

수질분석 결과 약수의 수소이온농도는 6.6~7.7의 범위로 나타났으며, 먹는물 수질기준 5.8~8.5를 만족하고 있다. 지점별로는 지점8. 부산진구 옥세정이 pH 7.7로 약알칼리성을 나타냈으며, 지점 26. 금정구 구월산이 pH 6.6으로 약산성을 나타내었다. 각 지점별 결과는 Table 3과 같다.

조사대상 지점에서는 pH 6 이하와 pH 8 이상인 곳은 없었으며, 구별 평균

값을 비교하여 보면 대부분 pH 7.0 이상이었고, 동래구가 pH 6.9로 가장 낮은 값을 나타내었다. 자연수의 pH는 산과 염기의 평형에 대한 측정이고 이산화탄소-중탄 산염-탄산염의 평형계에 의해 조절되며, 대부분의 약수들은 암석이나 토양의 화학적 조성과 유기물이 분해될 때 발생하는 CO₂가 많이 용해된 물은 약산성을 나타내고 지질의 영향으로 HCO₃ 또는 CO₃이온을 함유한 경우에는 약알칼리성을 나타내게 된다.

(2) NH₃-N, NO₃-N

수질분석 결과 조사대상 약수터에서는 조사기간 중 암모니아성 질소는 검출되지 않았다. 암모니아성 질소는 분변오염 및 병원성미생물에의 오염등 급성오염의 지표이다. 농도가 높으면 최근에 오염된 것으로 간주할 수 있으며, 시간이 지남

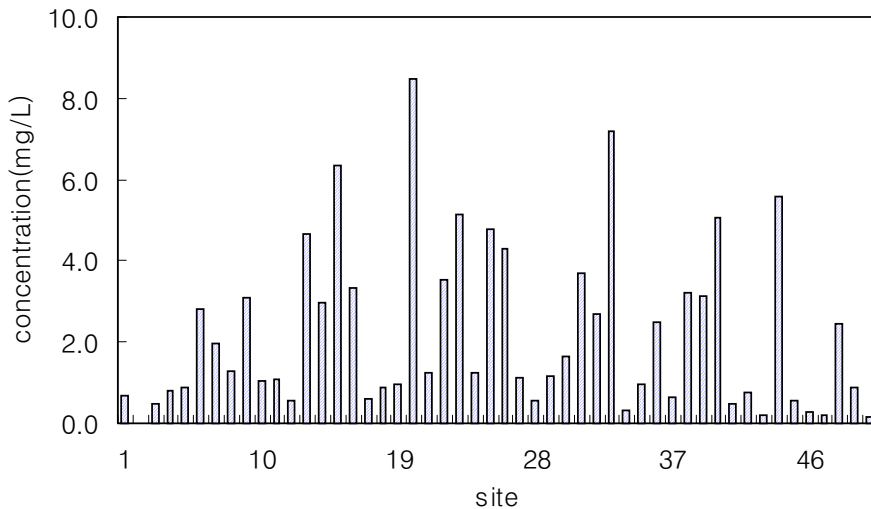


Fig. 1. The concentration of NO₃-N at sampling sites.

Table 3. Ranges and means of the concentration of the inorganic constituents in the water at each stations

consti- -tuents site No	pH	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	F (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Hardness (mg/L)
1	7.2~7.3 (7.4)	ND (ND)	0.1~2.1 (0.7)	ND (ND)	9~12 (11)	6~15 (13)	17~29 (22)
2	7.0~7.6 (7.2)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)	13~28 (21)	11~16 (14)	32~39 (34)
3	6.9~7.4 (7.3)	ND (ND)	0.4~0.7 (0.5)	ND (ND)	4~8 (6)	4~11 (9)	9~20 (15)
4	7.2~7.6 (7.4)	ND (ND)	ND~1.6 (0.8)	ND (ND)	4~8 (6)	0~4 (3)	10~16 (12)
5	7.1~7.3 (7.2)	ND (ND)	0.4~1.4 (0.9)	ND (ND)	5~9 (7)	4~9 (7)	21~34 (28)
6	7.1~7.8 (7.4)	ND (ND)	1.2~4.8 (2.8)	ND (ND)	4 (4)	3~6 (4)	39~44 (42)
7	7.1~7.6 (7.3)	ND (ND)	ND~3.2 (2.0)	ND (ND)	5~7 (7)	8~12 (10)	20~28 (25)
8	7.3~8.3 (7.7)	ND (ND)	0.1~2.5 (1.3)	ND (ND)	5~7 (6)	3~8 (5)	79~85 (82)
9	7.0~7.6 (7.3)	ND (ND)	0.7~4.4 (3.1)	ND (ND)	4~7 (6)	7~9 (8)	33~36 (35)
10	6.4~7.0 (6.7)	ND (ND)	0.3~1.8 (1.1)	ND (ND)	4~8 (6)	2~5 (3)	32~47 (41)
11	7.1~7.3 (7.2)	ND (ND)	0.4~1.9 (1.1)	ND (ND)	4~5 (5)	0~2 (1)	20~39 (29)
12	6.8~7.3 (7.1)	ND (ND)	ND~1.0 (0.6)	ND (ND)	3~6 (5)	0~4 (3)	18~29 (24)
13	7.0~7.4 (7.2)	ND (ND)	3.2~7.9 (4.7)	ND (ND)	4~5 (5)	0~8 (2)	69~90 (83)
14	6.5~7.2 (6.9)	ND (ND)	2.5~3.5 (3.0)	ND (ND)	4~6 (5)	0~4 (2)	23~39 (32)
15	6.6~7.2 (6.9)	ND (ND)	6.1~6.5 (6.4)	ND (ND)	5~7 (6)	3~5 (4)	34~48 (43)
16	7.0~7.4 (7.2)	ND (ND)	2.2~6.0 (3.4)	ND (ND)	5~6 (6)	3~4 (3)	43~55 (51)
17	6.4~6.9 (6.7)	ND (ND)	ND~2.2 (0.6)	ND (ND)	5~17 (11)	0~8 (5)	21~33 (28)

※ () mean value

Table 3. Ranges and means of the concentration of the inorganic constituents in the water at each stations (continued)

consti- -tuents site No	pH	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	F (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Hardness (mg/L)
18	7.1~7.2 (7.2)	ND (ND)	ND~2.8 (0.9)	ND (ND)	4~17 (12)	0~5 (3)	17~30 (25)
19	6.7~7.1 (7.0)	ND (ND)	0.5~1.3 (1.0)	ND (ND)	5~24 (15)	3~9 (8)	16~51 (29)
20	6.7~7.1 (6.9)	ND (ND)	7.4~9.5 (8.5)	ND (ND)	10~19 (15)	11~13 (12)	46~57 (54)
21	6.6~7.2 (6.9)	ND (ND)	ND~2.5 (1.2)	ND (ND)	3 (3)	3~5 (4)	15~19 (17)
22	6.3~7.6 (7.0)	ND (ND)	ND~5.9 (3.6)	ND (ND)	4~5 (5)	4~6 (5)	19~21 (20)
23	6.8~7.0 (6.9)	ND (ND)	4.1~6.0 (5.2)	ND (ND)	4~8 (6)	0~4 (0)	68~77 (72)
24	6.7~7.3 (7.1)	ND (ND)	0.1~2.5 (1.2)	ND (ND)	5 (5)	3~4 (4)	44~54 (50)
25	6.8~7.3 (7.0)	ND (ND)	3.8~5.7 (4.8)	ND (ND)	5~8 (6)	8~15 (11)	60~64 (63)
26	6.1~7.0 (6.6)	ND (ND)	1.7~6.9 (4.3)	ND (ND)	4~6 (5)	2~3 (2)	25~29 (26)
27	6.7~7.3 (7.0)	ND (ND)	0.3~2.5 (1.1)	ND (ND)	5~14 (10)	2~5 (4)	64~65 (65)
28	7.0~7.3 (7.2)	ND (ND)	0.1~1.2 (0.6)	0.5~0.6 (0.6)	3~5 (5)	0 (0)	20~28 (24)
29	6.9~7.8 (7.2)	ND (ND)	0.4~2.5 (1.2)	ND (ND)	4~7 (5)	5~6 (6)	13~17 (16)
30	7.1~7.8 (7.5)	ND (ND)	1.1~3.0 (1.7)	ND (ND)	5~7 (6)	7~18 (13)	23~58 (35)
31	7.0~7.5 (7.2)	ND (ND)	3.0~4.3 (3.7)	ND (ND)	5~11 (7)	3~5 (5)	17~25 (19)
32	7.1~8.2 (7.6)	ND (ND)	2.0~3.8 (2.7)	ND (ND)	7~12 (12)	5~10 (8)	41~53 (48)
33	6.7~6.9 (6.8)	ND (ND)	5.0~8.2 (7.2)	ND (ND)	22~23 (23)	2~5 (3)	78~98 (77)
34	7.1~7.5 (7.3)	ND (ND)	0.2~0.4 (0.3)	ND (ND)	6~13 (9)	3~9 (8)	25~33 (28)

※ () mean value

Table 3. Ranges and means of the concentration of the inorganic constituents in the water at each stations (continued)

consti- tuents site No	pH	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	F (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Hardnes s (mg/L)
35	7.0~7.3 (7.1)	ND (ND)	0.4~1.2 (1.0)	ND (ND)	10~26 (18)	11~20 (16)	31~40 (36)
36	7.1~8.0 (7.4)	ND (ND)	1.6~3.1 (2.5)	ND (ND)	22~25 (24)	17~22 (20)	69~78 (73)
37	6.8~7.5 (7.1)	ND (ND)	0.1~1.4 (0.6)	ND (ND)	11~35 (23)	5~21 (17)	40~75 (61)
38	6.9~7.4 (7.1)	ND (ND)	1.5~7.1 (3.2)	ND (ND)	3~9 (6)	11~13 (12)	22~30 (26)
39	6.7~7.4 (7.1)	ND (ND)	2.3~4.0 (3.1)	ND (ND)	6~13 (12)	5~8 (5)	40~54 (48)
40	6.8~7.9 (7.3)	ND (ND)	4.1~7.1 (5.1)	ND (ND)	6~15 (12)	6~7 (6)	55~62 (59)
41	6.4~7.5 (7.1)	ND (ND)	0.2~0.9 (0.5)	ND (ND)	2~5 (4)	6~7 (7)	10~17 (14)
42	6.9~7.5 (7.2)	ND (ND)	0.1~1.9 (0.8)	ND (ND)	3~5 (4)	6~8 (7)	9~56 (30)
43	6.5~7.4 (7.0)	ND (ND)	ND~0.3 (0.2)	ND (ND)	2~5 (4)	6~8 (7)	8~13 (11)
44	6.6~6.7 (6.7)	ND (ND)	3.9~6.5 (5.6)	ND (ND)	7~10 (8)	8~9 (8)	31~52 (45)
45	7.0~7.4 (7.2)	ND (ND)	0.1~0.9 (0.6)	ND (ND)	4~5 (5)	5 (5)	12~24 (18)
46	7.2~7.6 (7.4)	ND (ND)	ND~0.7 (0.3)	ND (ND)	3~8 (6)	3~5 (4)	10~18 (15)
47	7.3~7.6 (7.5)	ND (ND)	ND~0.5 (0.2)	ND (ND)	3~5 (4)	2~11 (7)	13~33 (21)
48	7.3~7.5 (7.4)	ND (ND)	0.3~4.7 (2.5)	ND (ND)	3~10 (5)	3~18 (4)	10~22 (15)
49	6.7~7.2 (7.0)	ND (ND)	0.2~2.6 (0.9)	ND (ND)	5~23 (15)	8~13 (11)	13~40 (26)
50	6.8~7.0 (6.9)	ND (ND)	ND~0.6 (0.2)	ND (ND)	3~25 (14)	5~16 (11)	18~44 (31)

※ () mean value

에 따라 아질산성 질소, 질산성 질소로 산화되어간다.

질산성 질소는 불검출에서 최고 8.5mg/L로 다양하게 지점별로 검출되었으며, 먹는물 수질기준 10mg/L이하는 모두 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 부산 시내 상수도수 수질(3~4mg/L)보다 다소 높게 나타난 5mg/L 이상인 지점들은 조사대상 시설중 6곳으로 지점20, 동래구 금강1이 8.5mg/L로 가장 높았고, 지점33, 금정구 문수사 7.2mg/L순으로 나타났다. 이들은 상수도수보다 질산성 질소가 두배이상 높은 곳도 있었으며, 마을과 인접해 있고, 도심 주변 야산기슭이나 사찰 등으로 사람의 왕래가 잦으며 오염원과 근접한 위치로 오랜기간에 걸쳐 오염원이 유입되어 질산성 질소가 높아진 것으로 추정되어진다.

한편, 질산성 질소가 검출되지 않은 지점은 2. 영도구 태종대 용머리로 조사기간 동안에 한차례도 검출되지 않았으며, 조사한 결과는 Table 3과 같고, 지점별 평균치를 그림으로 나타내면 Fig. 1과 같다. 각 지역별로는 바다와 가장 근접하고 있는 영도구가 가장 낮았으며, 수영구와 연제구가 높게 나타났다.

인체에 미치는 영향은 그 자체의 독성보다는 아질산성 질소로 환원되면서 산소운반능력을 감소시켜 methemoglobinemia를 유발시켜 저산소증을 발생시키고, 최근에는 위속에서 2급아민 등과 반응해 발암성인 N-니트로소화합물이 된다는

보고(古光弘明 등, 1996)가 있다.

(3) F^- , Cl^- , SO_4^{2-}

불소는 지질학적인 영향을 많이 받는 것으로 나타났으며, 수질분석 결과 대상 약수터에서는 지점28, 금정구 삼밭골에서 0.6mg/L로 검출되었으며, 나머지 다른 지점은 검출되지 않았다. 불소이온은 자연계에서는 원소상태로 존재하지 않고 화강암지대의 형석, 빙정석 등의 광물질 안에 불소염 형태로 존재한다. 특히 형석은 온천지대에 많이 분포되어 있어 온천지대의 지하수에 불소가 다량 함유된 경우가 많다.

물로 섭취된 불소화합물은 거의 완전히 흡수되어 몸 전체에 신속히 분포되어 주로 골격에 잔류하며 저농도는 치아에 잔류하여 산성조건하에서 충치를 예방하는 역할을 하며, 예방효과를 나타내는 먹는물의 최소 불소이온 농도는 약 0.5mg/L이다. 불소가 결핍되면 충치가 많이 발생하지만, 성인에게는 골다공증이 더 많이 나타난다. 먹는물 수질기준과 WHO기준은 1.5mg/L이다.

그러므로 삼밭골 지점의 0.6mg/L는 적당한 농도임으로 장기 음용할 경우 충치예방에 도움이 될 것으로 판단된다.

염소이온은 분석결과 약수터의 수질은 3~24mg/L범위였고, 가장 높은 곳은 지점36, 남구 섭자리가 24mg/L이고, 지점21, 금정구 갯골 3mg/L로 가장 낮았다. 먹는물 수질기준 150mg/L에 모두 만족

하였으며, 최대치가 24mg/L로 염소이온 함량은 지하수에 비해서는 낮은 것으로 나타났다. 각 지점별 결과를 그림으로 나타내면 Fig. 2와 같다. 각 구별 평균값을 비교해 보면 바다와 근접한 일부 지점의 영향으로 남구가 가장 높고 내륙지역인 부산진, 연제, 금정구가 낮게 나타났다.

맛의 역치는 200~300mg/L이며, 250 mg/L이상이면 짠맛을 내나, 2000mg/L을 함유한 물도 적용하면 특별한 영향은 받지 않는다. 지표수에 낮은 농도로 용존 포함되어 있으며, 지질에 따라 차이는 있으나, 오염되지 않은 물인 경우 10mg/L 이하인 것으로 밝혀졌다. 따라서 천연자연수의 오염도를 평가하는데 중요한 지표가 된다.

황산이온은 본 조사에서 ND~19mg/L의 범위로 나타났으며, 불검출인 지점은

금정구 삼밭골이고 지점36. 남구 섭자리가 20mg/L로 가장 높게 나타났다. 황산이온도 먹는물 수질기준 200mg/L 이하를 충분히 만족하고 있다. 각 구별 평균치를 살펴보면 염소이온과 마찬가지로 남구가 가장 높으며 연제구와 금정구가 낮게 조사되었다. Fig. 2에 나타나듯이 염소이온이 높은 일부 지점에서 다소 황산이온의 농도가 높게 나타남을 알 수 있었다. 고농도로 존재할 경우 급수계에 금속부식 현상을 초래할 수 있으나, 일반적으로 먹는물 수질기준을 초과하는 경우는 드물다.

불소, 염소, 황산이온의 분석결과와 Table 3과 같다.

(4) 경도(Hardness)

조사대상 약수터를 분석한 결과 11~83mg/L의 범위였으며 전지점 모두

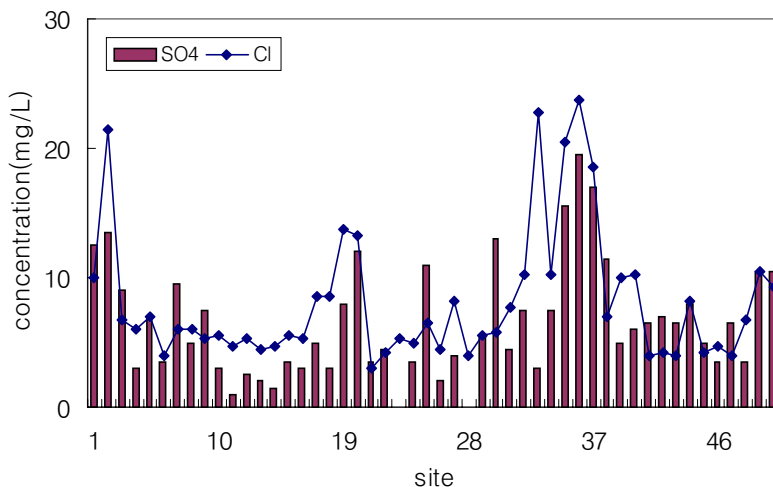


Fig. 2. The concentration of Cl⁻, SO₄²⁻ at sampling sites.

연수에 해당되는 결과이다. 지점13. 연제구 금용이 83mg/L로 가장 높았고, 다음으로는 지점8. 부산진구 옥세정이 82mg/L로 높게 조사되었으며 가장 낮은 곳은 지점43. 해운대구 장천사로 11mg/L로 나타났다. 부산시내 조사대상 약수터의 평균치는 36mg/L이고 먹는물 수질기준 300mg/L에 훨씬 못미치는 수준이다.

구별로 살펴보면 대체로 비슷한 값을 나타내고 있으나, 해운대구가 평균값 19mg/L, 영도구가 22mg/L로 전반적으로 낮게 조사되었다. 경도가 150mg/L 이하 인 물은 연수(soft water)라 하고 그 이상은 경수(hard water)라 하며, 지표수의 경우 10~30mg/L, 지하수는 30~150mg/L 정도로 약간 높게 나타나는데, 이것은 지하 암반층이나 토양으로부터 Ca, Mg 등이 용출하여 농도가 높게 나타나기 때문이다.

경도가 높으면 물맛에 영향을 주며, 설사를 유발하기 때문에 현재 먹는물 수질기준을 300mg/L 이하로 규제하고 있다.

(5) Cu, Zn, Fe, Mn, As, Al

구리는 분석결과 조사대상 약수터에서는 일부지역에서 간헐적으로 검출되었으며, 전체적으로 평가해 볼 때 거의 불검출 수준이다. 먹는물 수질기준은 1mg/L이고, 농도가 5mg/L에서는 불쾌한 냄새 및 떫은 맛을 내며, 1mg/L 이상일 때는

배관설비 재료에 녹을 슬게 한다. 먹는 물의 색을 띠게하고 불쾌한 맛을 유발하기도 하며 세탁물을 청색으로 변화시킨다.

아연은 분석결과 ND~0.105mg/L 범위로 먹는물 수질기준 1mg/L에 적합하며, Fig. 3에 각 지점마다 높고 낮음의 차이는 있으나 비교적 지속적으로 검출되는 연제구, 금정구, 남구, 수영구 일부 약수터를 선별하여 그림으로 나타내었다. 그 중에서도 남구지역은 안산암 지질(조, 1997)로 대부분의 지점에서 아연이 검출되고 있으며, 지점35. 이기대의 경우 검출되는 농도가 가장 높다. 암석이나 토양에 풍부하게 존재하는 원소로 자연 지표수의 아연 농도는 보통 10 µg/L 이하이지만 지하수는 10~40 µg/L이다. 과량섭취시 탈수, 설사, 복통, 무기력 등이 나타나고, 구리와 철, 카드뮴의 신진대사를 방해하는 물질이기 때문에 많이 섭취하게 되면 중금속의 환경에 노출된 독성효과로부터 보호될 수도 있다고 보고된 바 있다. 아연이 먹는물에 7~8 mg/L의 함유되어 있으면 떫은 쓴 맛을 느끼게 하고 흰 우유빛 색이 나며 끓이면 기름막이 생긴다.

망간은 분석결과 조사대상 약수터에서는 년 2회이상 검출된 지점은 한 곳도 없었으며, 일부 지점에서 불규칙적으로 나타나고 있어 지질에 영향으로 보이지는 않는다. 검출된 최고농도도 먹는물 수질기준이 0.03mg/L를 못미치는 0.009mg/L

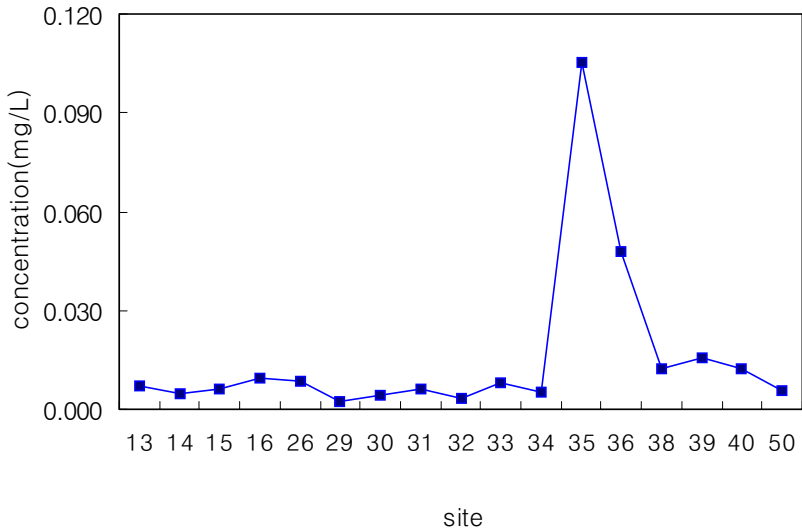


Fig. 3. The concentration of Zn at sampling sites.

로 대부분의 지점을 불검출로 보아도 무방할 것으로 사료된다.

주로 지질에 기인하며, 철처럼 용해성인 중탄산망간이 $[Mn(HCO_3)_2]$ 이 공기 중의 산소와 반응하여 불용해성인 수산화망간 $[Mn(OH)_2]$ 으로 변하여 얼룩이 생긴다(한, 1998). 망간농도가 0.15mg/L 이상인 물은 불쾌한 맛이 나며, 망간에 의한 얼룩은 철에 의한 얼룩보다 더 강력하다. 섭취된 망간중에 3%만 흡수되며, 부족시에는 성장둔화, 뼈의 힘등의 현상이 나타난다.

조사대상 약수터에서 철은 구리와 망간의 경우와 마찬가지로 거의 불검출이었으며, 4곳의 약수터에서만 미량 검출되었다. 이것도 1회에 그치고 있어 어떤 오염이나 지질에 영향으로 보기는 미

흡하다. 혐기성 상태의 지하수에서는 2가철을 다량 함유하며 채수 후 처음에는 무색투명하지만, 장시간 공기중에 방치하면 산소와 반응하여 색이 약간 불투명해지다가 용기바닥에 적갈색의 3가철을 침전시킨다. 이는 세탁물을 얼룩지게 하며, 우물의 스크린과 파이프에 피각현상과 공매현상(plugging)을 일으킨다.

비소는 분석결과 조사대상 약수터 대부분의 지점에서 불검출로 나타났으나, Fig. 4와 같이 지점16. 연제구 반야와 지점32. 남구 벚꽃약수터에서 지속적으로 검출되었다. 벚꽃의 경우 검출농도가 다소 높으나 먹는물 수질기준 0.05mg/L 이내이다. 비소는 산소가 많이 녹아있는 지표수에는 5가 비소가 가장 흔한 화학적 형태로 존재한다. 깊은 호수의 퇴적

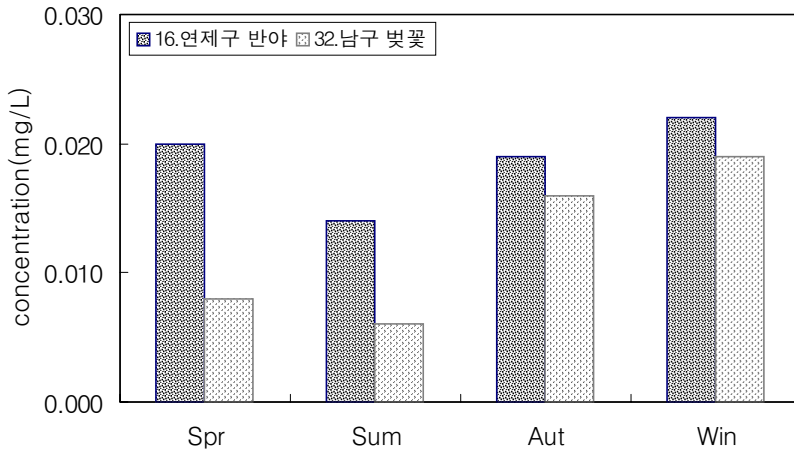


Fig. 4. The seasonal variation of As at sampling sites.

물이나 지하수처럼 환원적 조건하에서는 주로 3가 비소의 형태인 아비산(As_2O_3) 염으로 존재한다. 원소상태의 비소 단독으로는 독성이 그리 크지 않으나 아비산, 비화수소, 염화비소, 비산칼슘 등과 같은 비소화합물은 독성이 매우 크다. 자연수에서 비소는 1~2 $\mu g/L$ 수준이다.

알루미늄은 간헐적으로 일부 지점에서 미량 검출되었으나, 대체적으로 검출 수준이다.

(6) Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+

자연수에 용존되어 있는 양이온 성분은 주로 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ 등이 많이 차지하고 있으며, 각 성분의 함량은 지질적 환경이나 지하수의 유동에 따라 특성을 보이게 된다.

수질 분석결과 약수터의 칼슘함량은 0.8~17.7mg/L의 범위였으며, 지점4.영

도구 봉산이 가장 낮았고, 지점36. 남구 섭자리가 가장 높았다. 칼슘(Ca)은 지질 중에서 탄산칼슘염을 포함한 석탄암층에서 많이 존재하며 대부분의 칼슘화합물들은 연수에서 쉽게 용해되지 않지만, CO_2 존재시 용해가 가능하고 물의 경도와 관계가 깊다.

마그네슘 함량은 0.5~4.9mg/L의 범위였고 가장 낮은 지점은 칼슘과 마찬가지로 영도구 봉산이었으며 가장 높은 지점은 지점20. 동래구 금강1이었다. 마그네슘(Mg)은 각섬석, 녹니석과 흑운모 등의 용해로부터 유래된다. 남부지역에서 마그네슘 함량이 높은 것은 안산암질 내에서 상대적으로 풍부한 마그네슘을 함유한 광물의 영향 또는 염수의 영향으로 사료된다.

나트륨 함량은 4.2~20.4mg/L로 분포하고 있으며, 부산지역은 바다와 근접한

영향으로 대체로 다른 미네랄항목보다 다소 높게 나타났다. 가장 높은 결과를 나타낸 지점은 역시 바다와 근접한 지점의 2. 영도구 태종대 용머리와 지점 36. 남구 섭자리이다. 가장 중요한 자연적 기원은 조암광물인 사장석의 용해이며, 수용성이 높으며, 미네랄 중 자연계에 널리 분포된 알칼리 원소이다. 이외에도 염수와 근접한 지역에서는 지하로 침투

한 염수의 영향을 받아 높은 함량을 나타내기도 한다.

칼륨함량은 0.2~2.0mg/L으로 위의 네가지 미네랄물질 중 가장 미량 검출되었다. 지점38. 수영구 조광이 가장 낮게, 지점47. 해운대구 체육공원내가 가장 높게 검출되었다. 칼륨(K)은 장석이나 운모류의 용해로부터 유래하며, 그 외에도 비료의 주 구성요소이므로 농업활동의 수

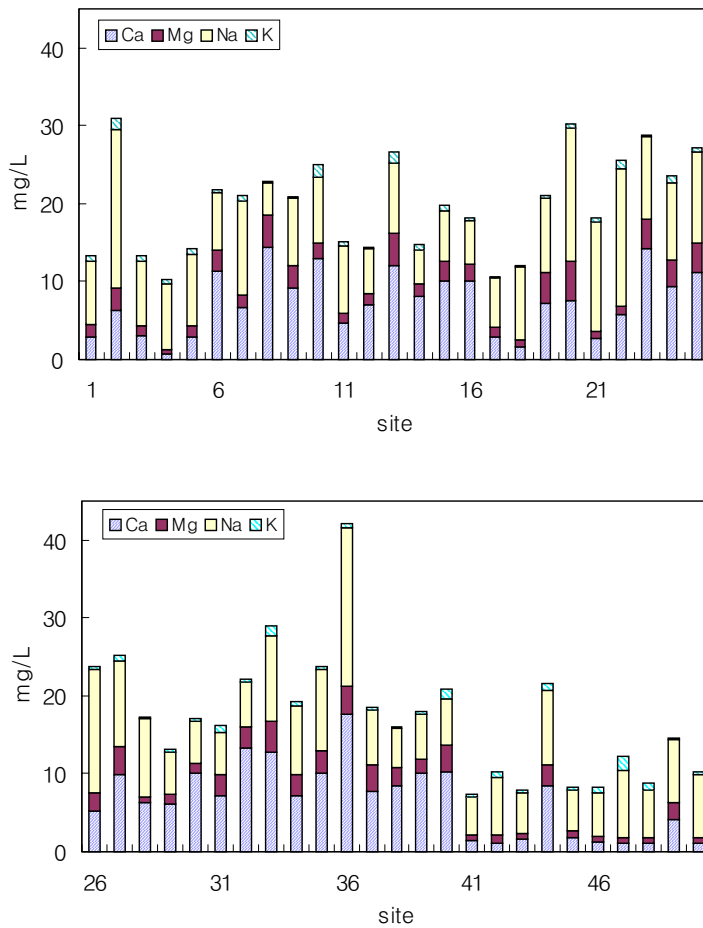


Fig. 5. The variation of Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ and K⁺ at sampling sites.

반에 따라 물 속으로 유입될 수 있다.

이러한 분석결과, 각 지점별 위의 네 가지 무기물질의 비율을 Fig. 5에 나타내었다. 타지역 대부분의 지하수나 약수터 약수는 칼슘의 함량이 다소 높게 조사(김 등, 1998; 박, 1999; 김, 2000) 되었으나, 본 조사에서는 칼슘보다 나트륨함량이 높게 나타났다. 이는 바다와 근접한 지역적인 특성으로 판단된다.

2. 각 성분량의 지점별 계절별 변동

각 지점별 성분량의 계절별 변화는 차이가 있었으며 일률적인 경향을 보이지는 않았다.

수소이온농도는 여름>봄>가을>겨울순으로 높았으며, 계절별 최대값은 pH 8.3, 최소값은 pH 6.1로 각 지점별 평균치 pH 6.6~7.7 범위와 다소 차이가 있었다. 여름철에 높은값을 나타내는 것은 강수량이 많기 때문으로 사료되다.

질산성 질소의 계절적 농도변화는 겨울>봄>여름>가을순으로 높게 나타났으며, 질산성 질소는 월 농도변화가 크다고 보고 된 바와 같이 약수터 중의 농도는 강수량 등의 영향을 받아 측정시기마다 조금씩 다른 경향을 보였다. 일부 지점은 연중 변화 없이 수질이 안정적인 곳도 있었으며, 조사대상 약수터 중 지역적으로는 차이는 있지만 가뭄 등으로 강수량이 현저히 떨어지는 겨울철에 농도가 가장 높게 나타난 지점이 전체 50개 지점 중에서 32곳으로 나타났다.

염소이온은 여름>가을>봄>겨울순의 계절적 농도변화를 나타내었으며, 황산이온은 봄>겨울>여름>가을순으로 농도가 높게 나타났다. 바다와 인접한 영도구와 남구 일부지점에서 특히 여름철에 농도가 높게 나타났다.

경도의 계절적 변화는 겨울>봄>가을>여름순으로 농도가 높게 나타났다. 계절별 최소값은 8mg/L이고, 최대값은 90mg/L로 평균치 범위 11~83 mg/L와 차이가 없는 것으로 보아 계절적 영향을 다소 적게 받는 것으로 사료된다.

미네랄 물질 중 칼슘과 마그네슘, 나트륨, 칼륨의 계절적 농도 변화의 경우 칼슘은 겨울>봄>여름>가을, 마그네슘은 봄>겨울>여름>가을, 나트륨은 여름>가을>봄>겨울, 칼륨은 가을>여름>봄>겨울 순으로 높게 나타났다.

3. 수질분석 항목간의 상관관계

상관관계가 높을 것으로 예상되는 수질분석 항목간의 상관관계를 살펴보았으며 그림6-1과 6-2에 나타내었다.

염소이온의 경우 칼슘과 $r=0.3424$, 마그네슘과 $r=0.4772$, 나트륨과 $r=0.4310$, 칼륨과 $r=0.1527$ 로 마그네슘, 나트륨과 다소 상관관계를 보였으나, 대체적으로 낮은 상관관계를 보였다.

질산성 질소와 염소이온은 $r=0.1176$ 으로 특별한 상관관계를 보이지 않았다. 질산염이 폐수에 의해 지하수 속에 포함

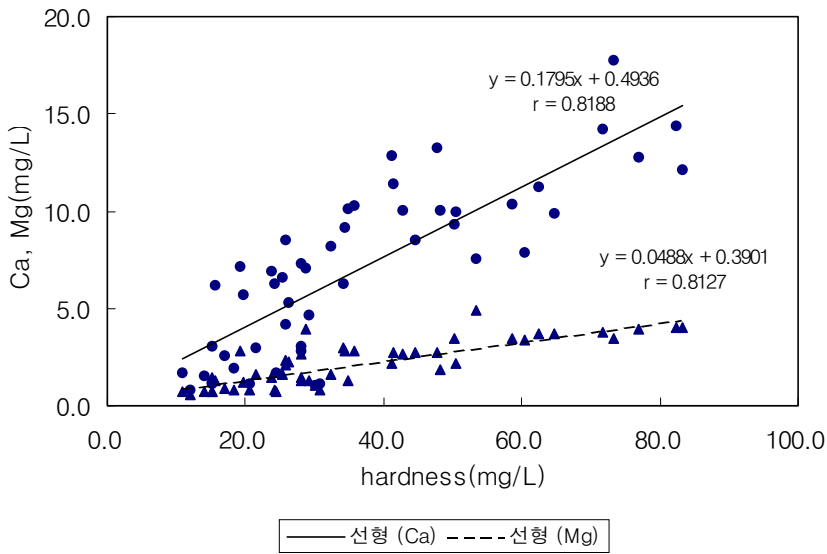


Fig. 6-1. Correlation between Hardness and Ca^{2+} , Mg^{2+} .

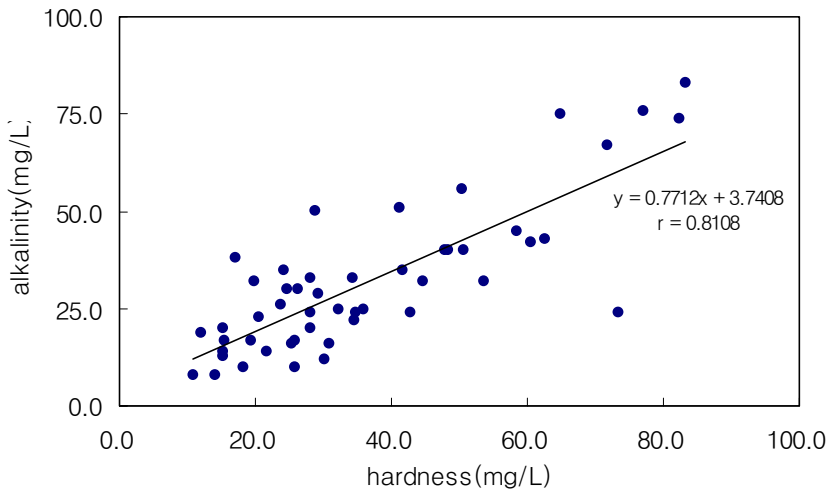


Fig. 6-2. Correlation between Hardness and Alkalinity.

되어 있을 때는 통상 염화 물이 함께 수 반되기 때문에, 질산염(nitrate)과 염화 물(chloride)이 동시에 함유되어있으면 폐수나 외부의 오염원에 의해 오염된

것으로 판단할 수 있으나, 조사대상 약 수터의 상관관계가 낮음은 아직 인위적 인 오염원에 의해 오염된 것은 아니라고 사료된다.

경도와 칼슘, 마그네슘의 2가 양이온 무기물질과 나트륨, 칼륨의 1가 양이온 무기물질과의 상관성을 비교하여 본 결과 칼슘의 경우 $r=0.8188$, 마그네슘의 경우 $r=0.8127$ 로 유의적인 상관관계를 보였으며, 나트륨은 $r=0.1848$, 칼륨은 $r=0.1776$ 으로 낮은 상관관계를 보였다. 이는 경도가 칼슘, 마그네슘등의 2가 양이온 무기물질과 이에 대응하는 CaCO_3 의 농도를 표시하는 것임을 확인 할 수 있었다.

한편 부산지역의 조사대상 일부 약수터의 경도가 일시경도인지 영구경도에 가까운지를 알아보기 위해 경도와 황산이온, 염소이온, 알칼리도와의 상관관계를 조사하였다. 그 결과 경도와 황산이온의 경우는 $r=0.0931$, 염소이온의 경우는 $r=0.3804$, 알칼리도의 경우는 $r=0.8108$ 로 알칼리도와 가장 유의적인 상관관계를 보였다. 이는 OH^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} 등과 결합하여 쉽게 제거되는 일시경도일 가능성이 높음을 나타내며, 일부 지점이 SO_4^{2-} , Cl^- 등과 결합되어 끓여도 쉽게 제거되지 않는 영구경도일 경우라면 황산이온보다 염소이온과의 결합일 가능성이 높음을 알 수 있었다.

4. 그 외 먹는물 수질기준 적용

조사대상 약수터를 분석한 결과 모두 먹는물공동시설의 엄격한 관리로 먹는물 수질기준에 적합하였다. 그러나 본 조사에서는 수질기준 항목 중 미생물에 관한

기준인 일반세균과 대장균군 검사는 배제되었다. 김(1999)이 연구한 결과에 따르면, 약수터에서 일반세균이 먹는물 수질기준을 초과하는 경우가 19.1%, 대장균군은 44.6%를 차지하고 있으며, 특히 대장균군은 여름철에 전체의 57.7%의 시료에서 검출되었다고 한다. 이는 약수터의 수원 자체가 지표수나 천층지하수에 가깝고 심층지하수보다는 외부로부터의 미생물 오염원이 산재되어 있고, 유입되기도 쉽기 때문이다. 하절기를 중심으로 약수터 주변의 위생관리에 철저를 기할 필요가 있으며, 이용하는 시민들에게 적극 홍보가 이루어져야 할 필요성이 있다.

미생물에 관한 기준을 제외한 나머지 먹는물 수질기준항목을 살펴보면, 건강상 유해영향 무기물질(납, 불소, 비소, 셀레늄, 수은, 시안, 6가크롬, 암모니아성 질소, 질산성 질소, 카드뮴) 중 불소, 비소, 암모니아성 질소, 질산성질소를 제외한 전항목은 검출되지 않았으며, 검출된 4항목도 수질기준 이내이고 질산성질소를 제외한 항목은 일부지역에서만 미량 검출되었다.

건강상 유해영향 유기물질(페놀, 다이아지논, 파라치온, 말라치온, 페니트로치온, 카바릴, 1,1,1-트리클로로에탄, 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌, 디클로로메탄, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌, 1,1디클로로에틸렌, 사염화탄소)은 전시료에서 검출되지 않았다.

심미적 영향물질 중(경도, 과망간산칼륨소비량, 냄새, 맛, 동, 색도, 세제, 수소이온농도, 아연, 염소이온, 증발잔류물, 철, 망간, 탁도, 황산이온, 알루미늄) 세제는 전시료에서 검출되지 않았으며, 나머지 항목은 먹는물수질기준 이내로 간헐적으로 검출되었다.

5. 맛있고 건강한 물의 지표에 따른 분류

좋은 음용수에 대해 정의하기는 쉽지 않지만, 건강에 유익하고, 맛있는 물이라고 할 수 있다. 건강에 유익한 물은 인체에 유해한 중금속 및 유기물질등을 적게 함유하며, 인체에 유익한 미네랄을 적당하게 함유한 물이다(이 등, 1998). 또한 물은 용존하는 미네랄의 함량과 그 balance에 따라 맛의 차이가 크며, 여러 조건과 상황에 따라 다르게 느껴지거나 나타날 수도 있다.

일본의 하시모토 교수의 건강한 물의 지표 $K\ index=Ca-0.87Na \geq 5.2$, 맛있는 물의 지표 $O\ index=(Ca+K+SiO_2)/(Mg+SO_4) \geq 2.0$ 와 이 두가지 지표를 4그룹으로 분류한 I, II, III, IV그룹은 아래와 같다.

- I. $K \geq 5.2, O \geq 2.0$... 맛있고 건강한 물
- II. $K < 5.2, O \geq 2.0$... 맛있는 물
- III. $K \geq 5.2, O < 2.0$... 건강한 물
- IV. $K < 5.2, O < 2.0$... 어느쪽에도 속하지 않는 물

부산시 조사대상 약수터를 위의 K와

O index를 적용하여 분류시킨 결과는 Table 4과 Fig. 7과 같다. I 그룹에 속하는 맛있고 건강한 물은 부산진구 옥세정, 불광사 등 3곳(6%)이었으며, II 그룹의 맛있는 물은 29곳(58%)으로 영도구 봉산, 산정 등이고, III 그룹에 속하는 건강한 물은 1곳(2%)으로 남구 냉수욕터, 마지막으로 IV 그룹의 어느쪽에도 속하지 않는 물은 17곳(34%)으로 영도구 사격장1, 미륵암 등이었다. 타지역의 연구 결과(김 등; 1998, 김 등; 2000)와 비교하면 맛있고 건강한 물의 I 그룹이 타지역의 27.3%(대구), 8.5%(전남)보다 적은 6%였으며, 이에 반해 어느쪽에도 속하지 않는 IV 그룹은 타지역 31.8%(대구), 25.5%(전남)보다 34%로 다소 높게 나타났다. 이는 타지역에 비해 미네랄물질 중 Ca의 함량이 Na 함량보다 낮은 요인으로 사료된다.

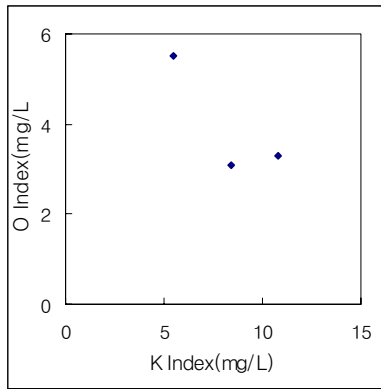
결 론

본 연구로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

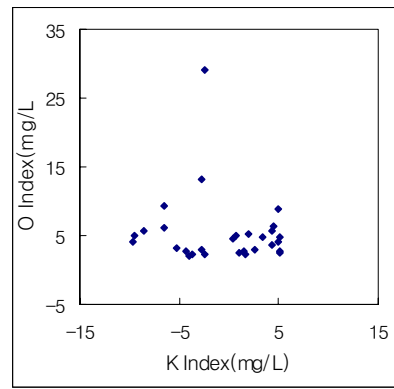
1. 약수터의 pH는 6.6~7.7의 범위로 나타났다으며, 먹는물 수질기준 pH 5.8~8.5를 만족시켰다.
2. 암모니아성질소는 전지점에서 거의 검출되지 않았고, 질산성질소는 ND~8.5

Table 4. The values of mineral balance index at sampling sites

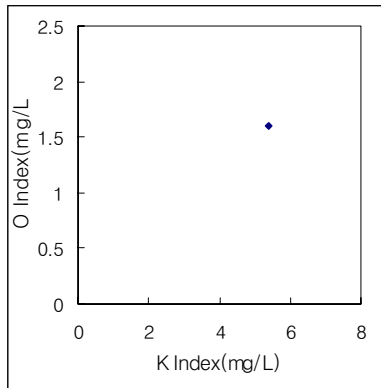
G	N	Sites	K Index	O Index	G	N	Sites	K Index	O Index
I	8	Oksejeong	10.8	3.3		31	Daeyeonsam	2.6	2.9
	10	Bulgwangsa	5.5	5.5		33	Munsusa	3.3	4.8
	32	Butccot	8.4	8.4		39	Ealeumgol	5.1	2.7
II	4	Bongsan	-6.5	9.4	II	40	Samsung APT	5.1	2.5
	5	Sanjeong	-5.3	3.1		45	Ghaneum jeong-sa	-2.7	3.0
	6	Gayasan	5.0	4.2		46	Seongbulsu	-3.7	2.3
	7	Mantap	-4.0	2.0		48	Pokposa	-4.3	2.7
	9	Geumnyeonam	1.7	2.3	III	30	Naengsuyokter	5.4	1.6
	11	Chanmulsam	-2.8	13.3		1	Sagyukjang1	-4.1	1.2
	12	Okcheon	1.9	5.2		2	Taejongdae yongmeri	-11.3	1.5
	13	Geumyong	4.3	5.6		3	Mileukam	-4.2	1.3
	14	Hambakgol	4.5	6.4		19	Cheongsuam	-1.2	1.2
	15	Hwangeum	4.4	3.6		20	Geumgang1	-7.3	1.3
II	16	Banya	5.1	4.9	34	Jangsan	-0.3	1.9	
	17	Soimi	-2.5	2.2	35	Igidae	1.1	1.3	
	18	Chillsungam	-6.5	6.1	36	Seobjari	0.0	1.6	
	21	Gatgol	-9.7	4.1	IV	37	Sinseondae	1.7	1.2
	22	Mulmanggol2	-9.6	5.0		38	Jogwang	4.0	1.1
	23	Yeomeong	4.9	8.9		41	Jangsan	-2.6	1.2
	24	Bulgwangsa	0.7	5.0		42	Gaeunsa	-5.5	1.3
	25	Sudosa	1.0	2.6	43	Jangcheonsa	-3.0	1.2	
	26	Guwalsan	-8.5	5.6	44	Jungri	0.2	1.8	
	27	Jeil	0.4	4.5	47	Physical training park	-6.3	1.9	
28	Sambatgol	-2.4	29.1	49	Yongso	-2.8	1.4		
29	Jungang1	1.5	2.7	50	Jangansa1	-5.9	1.3		



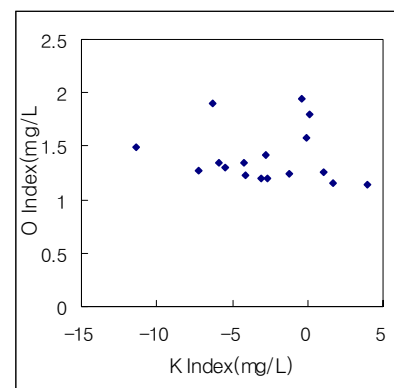
I. $K \geq 5.2, O \geq 2.0$



II. $K < 5.2, O \geq 2.0$



III. $K \geq 5.2, O < 2.0$



IV. $K < 5.2, O < 2.0$

Fig. 7. The mineral balance index at sampling sites.

mg/L 의 범위로 조사되었다. 먹는물 수질기준은 만족하고 있으나, 5mg/L 이상으로 높게 검출된 지점이 금강1 등 6곳으로 도심주변에 인접하거나 사람의 왕래가 잦아 오염원의 유입이 용이한 지점들이었다.

3. 미네랄성분을 검사한 결과 양이온의

경우 $Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+$ 순으로, 음이온의 경우는 $Cl^- > SO_4^{2-} > NO_3^- > N > F^-$ 순으로 조사되었다. 바다와 근접한 지역적 특성으로 타지역보다 Na^+ 와 Cl^- 함량이 높게 조사되었다.

4. 각 지점별 질산성질소의 계절적변화 추이는 겨울 > 봄 > 여름 > 가을 순으로

높게 나타났다.

5. 염소이온과 마그네슘, 칼슘의 상관관계는 $r=0.4772$, $r=0.4310$ 이고, 경도와 알칼리도의 상관관계는 $r=0.8108$ 로 유의적인 상관관계를 나타내었다.
6. 약수터를 맛있고 건강한 물의 지표인 K index와 O index를 4그룹으로 분류한 결과, 맛있고 건강한 물은 3곳, 맛있는 물은 29곳, 건강한 물은 1곳이며, 어느쪽에도 속하지 않는 물은 17곳으로 나타났다.

참고문헌

1. 권숙표 : 물(천수건강신서1), 연세대학교 환경공해연구소 감수, 천수자연건강연구소 편저, 도서출판공부방, 1995.
2. 김남연, 이영주, 이선영, 전현숙, 천경아, 권종대, 정동숙, 배도용 : 맛있고 건강한 물에 대한 지표 설정에 관한 연구, 대구광역시보건환경연구원보, 41~56, 2000.
3. 김부영 : 부산지역 약수터의 수질에 관한 조사, 인제대학교 보건대학원, 보건학석사논문, 1999.
4. 김용관, 조현서 : 부산시내 산재하는 몇몇 약수터 약수의 수질, 한국수산학회지, 18(6), 538~544, 1985.
5. 김용관, 하태석 : 부산 지역 약수 및 지하수의 규산성 규소, 한국환경위생학회지, 18(1), 34~38, 1992.
6. 김인수, 하훈, 서원술, 배주순, 문희, 박철웅, 오은하, 이소영, 김명희 : 약수 수질 특성에 관한 연구 - 전남지역을 중심으로 -, 한국위생학회지, 24(1), 87~97, 1998.
7. 김태송 : 마산·창원·진해지역 약수터의 수질특성에 관한 연구, 창원대학교 공학석사학위논문, 2000.
8. 남상호 : 수질특성에 따른 광천수의 개념, 식품과학과산업 25(2), 9~19, 1992.
9. 동화기술, 지하수오염론, 15~31, 1996.
10. 민병준 : 한국의 약수, 대원사, 21~23, 1997.
11. 박덕규 : 충청북도지역 약수의 수질 특성, 충북대학교 공학석사학위논문, 1999.
12. 유의형 : 광천수의 성분분석 및 규격기준에 관한 연구, 식품산업, 27~31, 1989.
13. 이남례, 김영만, 최범석 : 먹는샘물 중의 건강과 맛에 영향을 미치는 화학성분의 분석, 분석과학화학회지, 10(6), 459~467, 1997.
14. 이창기 : 환경과 건강, 하서출판사, 146~147, 215, 220~228, 1997.
15. 조갑제 : 지질에 따른 지하수질의 특성에 관한 연구, 부산대학교 공학

- 석사 학위논문, 1997.
16. 한정상 : 지하수학 개론, 박영사, 11~16, 1983.
 17. 한정상 : 지하수환경과 오염, 박영사, 1, 518~530, 1998.
 18. 환경부, 먹는물공정시험방법, 환경부 고시 제2000-75호, 2000.
 19. 金原出版株式會社, 日本藥學會編 衛生試驗法·註解, 1990.
 20. 古光弘明, 尾林 壽, 勝固賢二 : 硫黃脫窒作用 を 利用した 生物濾過 による 窒酸性窒素除去, 水環境學會誌, 19(9), 715, 1996.
 21. 橋本獎, 化學と生物, 12(1), 65~68, 1988.
 22. APHA-AWWA-WPCF, Standard methods for the Examination of water and waste water 18th Ed., 1992.
 23. Dean, H.T. : Fluorine and dental health, D.R. Moulton ed., 6~11, 23~31, *Am. Assoc. Adv. Sci.*, washigton,D.C., 1942.
 24. Hendler S.S. eds., The Doctors' Vitamin and Mineral Encyclopedia, Simon and Schuster, N.Y. 112, 1990.
 25. Kono, I., Finite Element Analysis of Interface Problem in Groundwater Flow, 109~116, 1974.
 26. Me Gown, E.L. & J.W. Suttie, Influence of fat and fluoride ongastric emptying df ratsn, *J. Nuylt.*, 104~909, 1974.