

경상남도 지역의 지하수질 특성조사

김 승 현 · 이 찬 원* · 허 종 수**

경남대학교 토목공학과 · *경남대학교 환경보호학과 · **경상남도 보건환경연구원
(1998년 2월 5일 접수)

Characteristics of Groundwater Quality in Kyungnam Province

Seung-Hyun Kim, Chan-Won Lee*, and Jong-Su Her**

Dept. of Civil Engineering, Kyungnam University

*Dept. of Environmental Protection, Kyungnam University

**Institute of Health and Environment, Kyungnam University

(Manuscript received 5 February 1998)

The analysis of groundwater quality in Kyungnam Province was conducted using monitoring results obtained during 1994. According to the analysis, most heavy metals and pesticides listed in Korean drinking water standards were not detected in Kyungnam Province groundwater, but arsenic and volatile organics such as TCE and PCE were detected. Four inorganic contaminants were detected and frequency of violating the standards was in order of $\text{NO}_3\text{-N}$, F⁻, As, $\text{NH}_3\text{-N}$. Of organics, TCE and PCE were the only contaminants detected. TCE more frequently violated the standards than PCE. Correlation was investigated among contaminants detected in Kyungnam Province groundwater. The correlation results showed that high correlation existed among dissolved solids, hardness, and SO_4^{2-} .

Key words : Kyungnam Province, groundwater survey, TCE, PCE, $\text{NO}_3\text{-N}$, F⁻, As, $\text{NH}_3\text{-N}$

1. 서 론

대부분 지표수로 구성되어있는 우리나라의 상수원에 지하수의 사용이 점차적으로 증가하고 있다. 1994년도 경남통계연보에 (1994) 의하면 경상남도 지역의 상수원 수중 지하수가 차지하는 비율이 1989년의 2.8%로부터 1994년에는 3.3%로 증가하였다. 이 수치는 사용량이 구체적으로 파악된 것만을 기준으로 한 것이므로, 실지로는 지하수의 사용량이 이보다 클 것으로 사료된다.

일반적으로 시민들은 지하수의 수질이 지표수의 수질보다는 양호하다고 믿고 있으나 어느 한 수질이 다른 수질보다 양호하다고 말하기는 쉽지 않다.

수질들을 서로 비교하기 위해서는 일정한 기준이 필요한데, 음용수 수질기준을 가지고 지하수와 지표수의 수질을 비교한다면 지하수는 탁도, 미생물 및 유기물질의 함량에서는 지표수보다 양호하고, 무기물질의 경우는 지표수가 지하수보다 양호하다고 할 수 있다 (Hamann et al., 1990). 유기물질도 성분별로 구분하여 보면 비록 지표수보다 지하수에 함유된 유기물질의 양이 더 적을 지는 몰라도 지하수가 지표수보다 농약 및 휘발성 유기물질의 오염에는 더 취약한 것으로 알려져 있다 (Hamann et al., 1990). 이는 지하수의 수질도 맹목적으로 신뢰할 수 없다는 것을 의미한다.

지하수 수질특성에 관한 연구들은 크게 두가지로 구

분할 수 있다. 지질학적 측면에 중점을 둔 연구들과 음용수로서의 적합성에 중점을 둔 연구들이다.

이중 음용수 수질기준을 가지고 지하수의 수질을 평가한 연구들은 그리 많지 않다. 김 등(1995)이 강원도 식료품제조업체 및 식료품접객업소에서 사용하고 있는 지하수의 수질현황을 조사함으로써 그 지역의 지하수질에 관한 자료를 제공하였으나 다른 지역의 경우는 이와 유사한 자료가 없는 실정이다. 그러므로, 본 연구에서는 경상남도 지역의 지하수질에 관한 자료를 제공하기 위해서 이 지역의 지하수질을 음용수 수질기준과 비교해서 조사하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 1994년 1년동안 경상남도 보건환경연구원에서 측정된 경상남도 지역의 지하수질자료들이 사용되었다. 이 자료들은 두가지 종류로 구성되는데, 하나는 현재 사용되고 있는 지하수들의 수질측정자료들이고, 다른 하나는 앞으로 사용하기 위해서 개발중인 지하수들의 수질측정자료들이다. 우리나라에서는 지하수를 사용하기 위해서 그 지역내에 있는 보건환경연구원에서 수질의 적합성 여부를 먼저 판정받아야 한다. 본 연구에 사용된 자료들의 대부분은 (90% 이상) 이와같이 지하수 사용을 허가받기 위해서 수질의 적합성을 조사한 자료

Table 1. 1994 Groundwater Monitoring Results in Kyungnam Province

Contaminant	Parameter	Range	Average	Standard
NO ₃ -N	Inorganic	ND*~26.0 mg/l	3.53 mg/l	10.0 mg/l
NH ₃ -N	Inorganic	ND~4.94 mg/l	4.40 µg/l	0.50 mg/l
F ⁻	Inorganic	ND~4.6 mg/l	0.28 mg/l	1.0 mg/l
AS	Inorganic	ND~0.511 mg/l	4.60 µg/l	0.05 mg/l
TCE	Organic	ND~0.473 mg/l	-**	0.03 mg/l
PCE	Organic	ND~0.166 mg/l	-	0.01 mg/l
pH	Aesthetic	4.1~10.9	7.51	5.8~8.5
Cl ⁻	Aesthetic	7~2,889 mg/l	34 mg/l	150 mg/l
Hardness	Aesthetic	8~2,350 mg/l	90 mg/l	300 mg/l
SO ₄ ²⁻	Aesthetic	ND~1,500 mg/l	29 mg/l	200 mg/l
KMnO ₄ Number	Aesthetic	0.6~29.3 mg/l	1.84 mg/l	10 mg/l
ABS	Aesthetic	ND~0.10 mg/l	0.8 µg/l	0.5 mg/l
Zn	Aesthetic	ND~6.95 mg/l	0.18 µg/l	1 mg/l
Fe	Aesthetic	ND~3.08 mg/l	20.8 µg/l	0.3 mg/l
Mn	Aesthetic	ND~6.23 mg/l	36.9 µg/l	0.3 mg/l
TDS	Aesthetic	58~5,383 mg/l	186 mg/l	500 mg/l
Color	Aesthetic	1~30 cu	1.3 cu	5 cu
Turbidity	Aesthetic	1~45 tu	1.3 tu	2 tu
Taste	Aesthetic	0~1.7***	1.3	ND
Odor	Aesthetic	0~1.2	0.9	ND

ND*: not detected

- **: Average values is not shown because it is too small.

*** : % of samples in which taste or odor is detected.

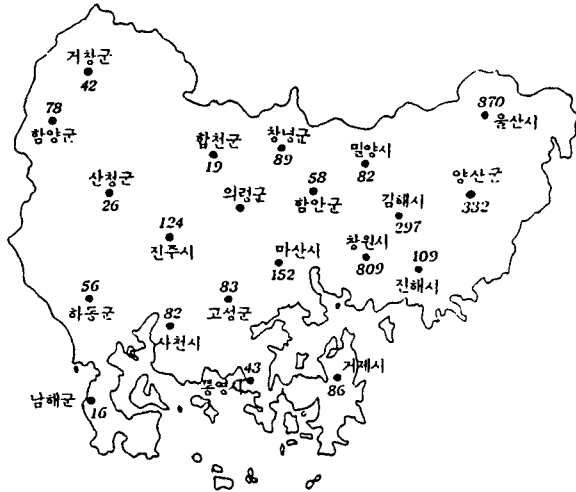


Fig. 1. Regional distribution of groundwater samples used in this study.

들로 구성되었다.

본 연구가 실시된 1994년 현재 경상남도는 10개 시, 11개 군으로 구성되었다. 도내에서 인구가 밀집된 지역은 울산시 (95만), 창원시 (46만), 마산시 (43만), 진주시 (33만), 및 김해시 (25만)등이고, 군에서는 양산군의 인구가 15만을 초과하였다. 이들 중 울산시, 창원시, 마산시, 진주시 및 양산군에 공단이 설치되어서 많은 업체들이 입주하고 있었다. 본 연구에서는 모두 3,492개의 지하수질 측정자료가 사용되었는데 Fig. 1에서 알 수 있듯

이 이들은 경상남도 전 지역에서 걸쳐서 골고루 채취되었다. 이 시료들은 1994년 음용수 수질기준에 있는 항목중 미생물에 관한 기준을 제외하고 건강상 유해한 무기물질 (10개), 유기물질 (9개) 및 심미적 영향물질 (15개)에 관한 항목들을 모두 조사하였으며, 측정방법은 보건사회부령 (1992) 제 897호의 음용수 수질검사방법에 준해서 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 조사된 1994년도 경상남도 지역의 지하수질 현황은 Table 1에 제시하였다. 이에 의하면 측정된 34개 항목 중 20개 항목에서만 농도가 검출되었고, 14개 항목에서는 농도가 전혀 검출되지 않았다. 이들을 종류별로 구분하여보면, 건강상 유해한 무기물질 10개 항목 중 4개 항목 (질산성질소, 암모니아성질소, 불소, 비소), 건강상 유해한 유기물질 9개 항목 중에서는 2개 항목 (TCE : Trichloroethylene, PCE : Tetrachloroethylene), 그리고 심미적 영향물질 15개 항목 중 14개 항목에서 농도가 검출되었다. Table 1에 나타난 바와 같이 경상남도 지하수는 음용수 수질기준을 초과하는 측정자료들이 있기는 하였으나 도내에서 측정된 모든 항목들의 평균 농도는 우리나라의 음용수 수질기준보다 낮았다.

3.1 건강상 유해한 무기물질 및 유기물질

경상남도에서도 강원도에서와 같이 지하수에서 수은 (Hg), 셀레늄 (Se), 6가크롬(Cr), 카드뮴 (Cd), 납 (Pb) 등의 중금속과 인체에 해로운 시안 (CN)이 검출되지 않았

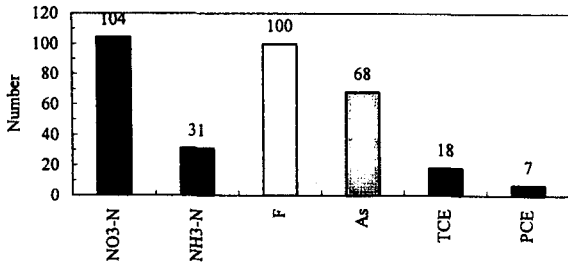


Fig. 2. Number of samples in violation of inorganic and organic parameters of Korean drinking water standard.

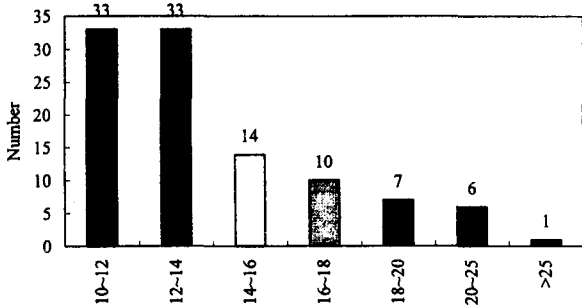


Fig. 3. Distribution of NO₃-N concentration (mg/l) in excess of Korean drinking water standard.

을 뿐만 아니라, 농약류도 전혀 검출되지 않았다. 반면에 경상남도에서는 강원도에서와는 달리 지하수에서 중금속의 일종인 비소 (As)와 휘발성 유기물질인 TCE, PCE가 검출되었다.

Fig. 2에는 경상남도 지하수가 건강상 유해한 무기물질 및 유기물질의 항목별 수질기준을 초과한 현황을 제시하였고 이들의 지역별 평균 농도는 Table 2에 요약하였다. Fig. 2에 의하면 유기물질보다는 무기물질의 수질기준이 더 빈번하게 수질기준을 초과한 것을 알 수 있다. 무기물질은 질산성질소 (NO₃-N), 불소 (F⁻), 비소 (As), 암모니아성질소 (NH₃-N) 순으로 수질기준을 빈번하게 초과하였고 유기물질은 TCE가 PCE보다 빈번하게 수질기준을 초과하였다.

3.1.1 질산성질소 (NO₃-N)

질산성질소의 농도는 지표수에서는 평균 1~2 mg/l 정도 되나, 지하수에서는 지역에 따라서 농도가 아주 높을 수 있다 (Hamann et al, 1990). 미국 남다코타주에서 그 지역 지하수 1,000정의 질산성질소 농도를 조사한 결과에 의하면, 전체 시료중에서 27%는 음용수 수질기준인 10 mg/l를 초과하였다 (Hamann et al, 1990). 그러나 이러한 경우는 거의 드물고 수질기준을 초과하는 경우의 대부분은 질산성질소의 농도가 10~25 mg/l정도가 된다고 한다 (Montgomery, 1985).

Table 1과 Fig. 2에 의하면 경상남도 지하수의 평균 질산성질소 농도는 3.53 mg/l이고, 조사된 지하수의 3%가 (104건) 수질기준을 초과하였다. 강원도 지역에

Table 2. Average Concentrations of Inorganic and Organic Parameters

시군명	시료수	NO ₃ -N mg/l	F ⁻ mg/l	NH ₃ -N μg/l	As μg/l	TCE μg/l	PCE μg/l
울산시	870	5.2	0.36	11.4	7.5	0.1	ND
창원시	809	2.8	0.25	1.2	4.0	7.5	0.1
마산시	152	5.5	0.30	2.1	4.8	3.1	1.6
진주시	124	3.0	0.25	2.4	3.7	ND	ND
김해시	297	1.7	0.23	2.6	2.9	0.4	ND
진해시	109	3.8	0.22	1.6	2.1	0.4	ND
밀양시	82	5.0	0.22	0.9	4.7	0.6	0.3
통영시	43	2.0	0.20	1.9	2.7	ND	ND
거제시	86	2.1	0.21	2.0	3.0	ND	ND
사천시	82	2.3	0.23	2.9	2.4	ND	ND
양산군	332	4.8	0.26	3.8	5.1	13.0	0.2
합안군	58	2.1	0.23	2.5	4.5	0.7	ND
창녕군	89	2.5	0.63	2.7	4.2	ND	ND
의령군	39	2.0	0.22	4.1	2.8	ND	ND
합천군	19	1.8	0.22	1.9	2.2	ND	ND
고성군	83	1.7	0.22	2.1	3.1	ND	ND
하동군	56	1.5	0.23	1.5	2.6	ND	ND
남해군	16	2.0	0.21	3.0	2.7	ND	ND
산청군	26	1.5	0.23	3.1	2.5	ND	ND
함양군	78	1.6	0.21	1.7	1.9	ND	ND
거창군	42	1.8	0.21	1.8	2.0	ND	ND

서는 61.5 mg/l에 이르는 고농도의 질산성질소가 검출되기도 하였으나 (김 등, 1995) 경상남도에서는 26.0 mg/l를 초과하는 경우는 없었다. 수질기준을 초과한 경우의 농도별 분포도가 Fig. 3에 제시되어있는데, 이에 의하면 수질기준을 초과한 경우는 질산성질소의 대부분이 10~12 mg/l와 12~14 mg/l 사이에 분포되었다.

Table 2에 의하면 경상남도 동부 지역에서는 울산시 (5.2 mg/l)를 중심으로 밀양시 (5.0 mg/l)와 양산군 (4.8 mg/l), 그리고 중부 지역에서는 마산시 (5.5 mg/l)와 진해시 (3.8 mg/l)에 있는 지하수의 평균 질산성질소 농도가 경상남도 전체 평균농도인 3.53 mg/l를 초과하였다. 이들은 모두 도내에서는 인구가 비교적 밀집되어 있는 지역들이다. 특히 울산시와 마산시는 도내에서 인구가 가장 많은 지역에 속한다. 질산성질소는 주로 생활오수나 농업용비료에 의해서 오염이 되는데 이들 지역들이 대부분 인구가 밀집하였으므로 이들 지역의 지하수가 생활오수에 의해서 오염이 되었을 가능성이 높다. 이들과 달리 주거인구가 적은 군들이 밀집해 있는 서부 지역에서는 질산성질소의 농도가 모두 도내의 평균농도보다 작았다. 특이한 점은 도내에서 인구가 2번째로 많은 창원시 지하수에 있는 질산성질소의 농도 (2.8 mg/l)는 비교적 낮았다.

3.1.2 불소 (F⁻)

불소는 광산폐수에 의한 오염이 있는 경우를 제외하고는 지표수에 존재하지 않고 지하수에만 존재한다. 그리고 상수원수에 존재하는 불소의 농도는 일반적으로 6.0 mg/l를 초과하지 않는다 (Hamann et al, 1990).

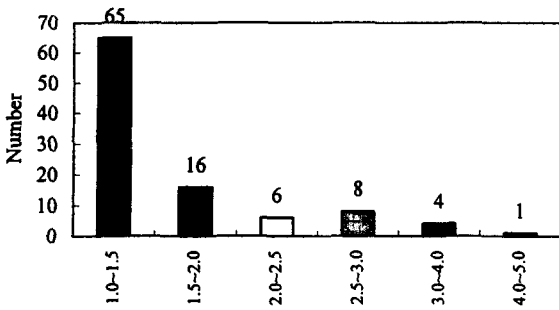


Fig. 4. Distribution of F⁻ concentration (mg/l) in excess of Korean drinking water standard.

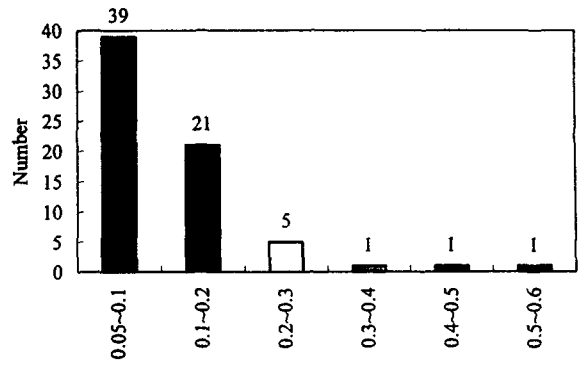


Fig. 6. Distribution of As concentration (mg/l) in excess of Korean drinking water standard.

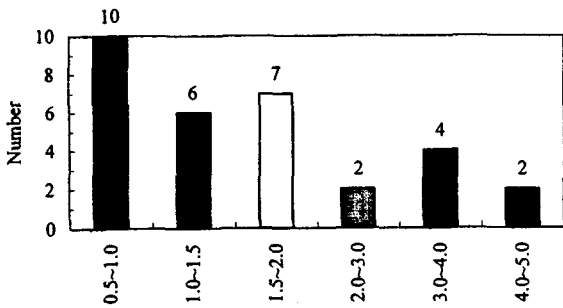


Fig. 5. Distribution of NH₃-N concentration (mg/l) in excess of Korean drinking water standard.

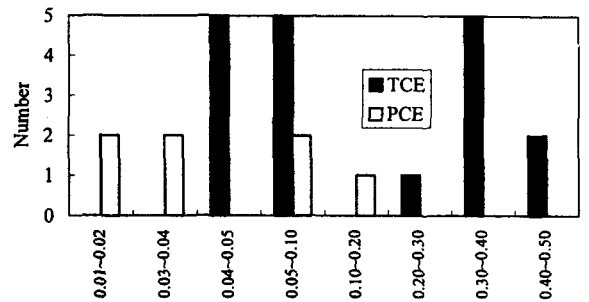


Fig. 7. Distribution of TCE/PCE concentration (mg/l) in excess of Korean drinking water standard.

Table 1에 의하면 경상남도 지하수에 있는 불소의 평균 농도는 0.28 mg/l이었고, 최대검출농도는 4.6 mg/l이었다. 또한 Fig. 2에 의하면 조사된 지하수중에서 3%가 (100건) 수질기준을 (1 mg/l) 초과하였다. 수질기준을 초과한 경우의 농도별 분포도는 Fig. 4에 제시되었는데, 이에 의하면 수질기준을 초과한 경우의 대부분은 농도가 1.5 mg/l 미만이었다.

Table 2에 의하면 도내에서 창녕군 (0.63 mg/l), 울산시 (0.36 mg/l), 마산시 (0.30 mg/l)가 도내의 평균 농도인 0.28 mg/l를 초과하였다. 이 중 창녕군은 도내의 평균을 2배 이상 초과하였다. 창녕군 지하수에 있는 불소의 평균농도가 도내의 다른 지역보다 월등히 높은 것은 창녕군의 지질특성과 관계가 있는 것으로 사료된다. 불소의 경우 특별한 오염에 의해서 더해지지 않으므로 창녕군의 지질이 다른 지역보다는 빙정석 (Na₃AlF₆), 인회석 (Ca₅F(PO₄)₃), 형석 (CaF₂)과 같이 불소를 함유한 광물질을 많이 포함하였기 때문에 지하수에서 검출된 불소의 양이 상대적으로 높았던 것으로 사료된다.

3.1.3 암모니아성질소(NH₃-N)

Table 1과 Fig. 2에 의하면 경상남도 지하수 암모니아성질소의 평균농도는 4.4 µg/l이고, 조사된 지하수의 1%만이 (31건) 수질기준을 (0.5 mg/l) 초과하였다. 최대 검출농도는 4.94 mg/l이었고, Fig. 5에 제시된 바와 같이 수질기준을 초과한 경우 대부분은 농도가 2.0 mg/l미만이었으나 3.0~4.0 mg/l사이에 속한 경우도 적지 않게 있었다. 이와 비교해서 강원도 지하수에서는 조사된

시료 1,845건 중에서 7건의 시료만 수질기준을 초과하였고, 최대검출농도는 3.94 mg/l이었다 (김 등, 1995). 암모니아성질소의 검출은 생활오수에 의한 오염을 나타내므로 경상남도의 지하수가 강원도의 지하수보다는 상대적으로 생활오수에 의한 오염정도가 크다고 말할 수 있겠다.

Table 2에 의하면 도내 평균농도를 초과한 지역은 도내에서 인구가 가장 밀집된 울산시 (11.4 µg/l) 뿐이었다. 울산시의 경우 암모니아성질소의 평균농도가 도내 평균을 2배 이상 초과하였을 뿐만 아니라, 질산성질소도 도내의 평균농도를 초과하였다. 이 사실로부터 울산시 지하수가 도내의 다른 지역보다는 상대적으로 생활오수에 의한 오염이 많이 된 것을 알 수 있다.

3.1.4 비소 (As)

비소는 비소를 함유한 광물에 의해서 물속에 포함되거나 광산 혹은 비소화합물의 사용에 따른 산업폐기물에 의해서 오염되고 (Pontius, 1992 ; AWWA, 1990) 지표수보다는 지하수에서 높은 농도로 존재한다 (Hamann et al, 1990).

Table 1과 Fig. 2에 의하면 경상남도 지하수에 있는 비소의 평균농도는 4.6 µg/l이었고, 조사된 지하수의 2%가 (68건) 수질기준인 0.05 mg/l를 초과하였다. 수질기준을 초과한 비소 농도의 분포를 나타낸 Fig. 6에 의하면, 수질기준을 초과한 경우 대부분은 농도가 0.2 mg/l

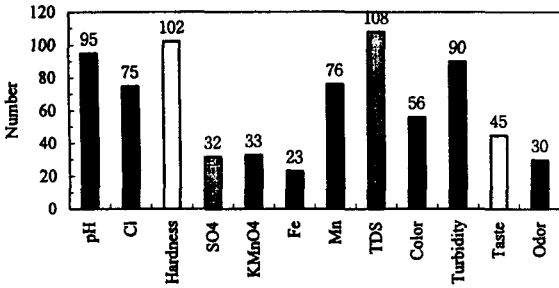


Fig. 8. Number of samples in violation of aesthetic parameters of Korean drinking water standard.

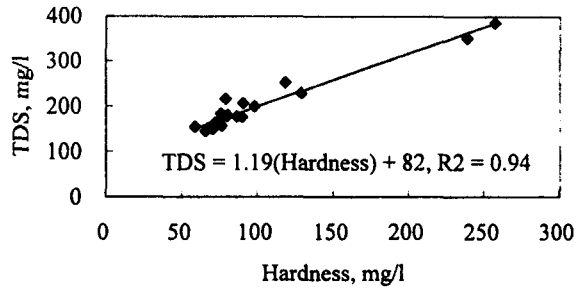


Fig. 9. Correlation between hardness and TDS.

1미만이였다. 그러나 수질기준의 10배를 초과하는 0.511 mg/l의 높은 농도가 검출된 지역도 있었다. 이와 같이 일부 지역에서 높은 농도의 비소가 검출된 이유는 밝혀내지 못했다. 비소가 광산에 의해서 오염되므로 경남 지역의 광산현황을 조사하였으나 비소 농도와와의 연관은 없었다. Table 2에 의하면 울산시 (7.5 μg/l), 밀양시 (4.7 μg/l), 마산시 (4.8 μg/l), 양산군 (5.1 μg/l)의 평균 비소 농도가 상대적으로 높았다.

3.1.5 TCE/PCE

Fig. 2에 나타난 바와 같이 경상남도에서 TCE와 PCE의 수질기준을 (0.03 mg/l, 0.01 mg/l) 초과한 지하수는 각각 18건 및 7건이었고, 최대검출농도는 TCE는 0.473 mg/l, PCE는 0.166 mg/l이었다. Fig. 7에는 TCE와 PCE의 수질 기준을 초과한 경우의 농도별 분포도가 제시되었는데, 이에 의하면 TCE가 PCE보다 수질기준도 자주 초과하였을 뿐만 아니라 전반적인 검출농도도 높았다. 특이한 점은 TCE의 경우 낮은 농도에서 뿐만 아니라 높은 농도에서도 검출이 많이 되었다. Fig. 7에 의하면 TCE 농도가 0.04~0.05 mg/l, 0.05~0.10 mg/l, 0.30~0.40 mg/l사이에서 각각 5건씩 검출되었다.

Table 2에 의하면 도내에서 TCE가 검출된 곳은 울산시, 밀양시, 김해시, 마산시, 창원시, 진해시, 양산군, 함안군으로 7군데이고, PCE가 검출된 곳은 밀양시, 마산시, 창원시, 양산군으로 4군데이었다. 이들 중에서 밀양시, 마산시, 창원시, 양산군에서는 TCE, PCE가 모두 검출되었다. 이 지역들은 모두 공단이 위치해 있거나 공단이 위치한 지역에 인접해있다. 울산시, 마산시, 창원시, 양산군, 진해시에는 지하수질이 측정되었을 당시에 공단이 위치해 있었고, 밀양시, 김해시, 함안군은 공단이 위치한 지역에 인접해 있으므로, 이 지역의 지하수들이 TCE와 PCE를 산업용매로 사용하는 공단에서 발생한 폐수에 의해서 오염되었을 것으로 사료된다.

3.2 심미적 영향물질

김 등(1995)에 의하면 강원도의 지하수에서는 심미적 영향물질 중에서 세제와 구리가 전혀 검출되지 않았는데, 경상남도의 지하수에서는 구리는 검출되지 않았으

Table 3. Comparison of Kyungnam Province and Kangwon Province groundwaters for their aesthetic qualities

Contaminant	Kyungsangnam-Do	Kangwon-Do
Hardness	90 mg/l	68 mg/l
TDS	186 mg/l	109~180 mg/l
Cl ⁻	34 mg/l	13 mg/l
SO ₄ ²⁻	29 mg/l	1.1 mg/l
pH	7.5	6.5

*: Four regional average is in the range if 109~180 mg/l.

나 세제는 검출되었다. 그러나 도내에서 세제가 검출된 지역은 3군데 뿐이었고 최대검출농도도 (0.10 mg/l) 음용수 수질기준보다 (0.50 mg/l) 낮았다.

경상남도에 있는 지하수가 심미적 영향물질의 수질기준을 초과한 현황은 Fig. 8에 제시되어있는데, 이에 의하면 심미적 영향물질 중 수질기준을 가장 빈번하게 초과한 항목은 중발잔류물 (108건)과 경도 (102건)이었다.

경상남도과 강원도의 지하수를 심미적 영향물질을 기준으로 비교한 결과를 Table 3에 제시하였다. 이에 의하면 경상남도 지하수의 염소이온, 황산이온 및 pH가 강원도의 지하수보다 높았다. 경상남도가 강원도보다는 해안에 접해있는 곳이 많았으므로 경상남도 지하수의 염소이온이 상대적으로 높았던 것으로 사료된다. 본문에는 비록 염소이온의 지역별 분포를 제시하지 않았으나 도내에서 염소이온의 농도가 높은 곳은 (울산시, 마산시, 진해시, 남해군, 통영시, 거제시) 모두 바닷가에 접해있었다. 이는 이 지역의 지하수에 해수가 침입하였기 때문인 것으로 사료된다. 황산이온은 일반적으로 광물질보다는 황산이온을 포함한 폐수의 방출에 의해서 오염된다. 그러므로, 경상남도 지하수가 강원도 지하수보다 황산이온의 농도가 높았던 것은 이러한 폐수에 의한 오염이 상대적으로 심하였기 때문인 것으로 사료된다.

3.3 경상남도 지하수질의 상관관계

경상남도 지하수질의 상관관계를 조사한 결과를 Table 4에 제시하였다. 이 결과도 위에서와 같이 황산이온, 중발잔류물, 경도사이에 비교적 높은 상관관계를 나타냈다. 강원도 지하수의 경우에도 나타난 것과 같이 중발잔류물과 경도사이의 높은 상관관계는 특이한 사항이 아니다. 중발잔류물은 물 속의 이온이 많은 정도를 나타내고, 경도는 물 속에 존재하는 다가 이온을 나타내므로

Table 4. Correlation results

	NO3	NH3	F	As	TCE	PCE	Cl	Color	Fe	Hard	KMn	Mn	pH	SO4	TDS	Turb.	Zn	Taste	Odor	ABS
NO3	1.00																			
NH3	0.36	1.00																		
F	0.23	0.29	1.00																	
As	0.76	0.66	0.44	1.00																
TCE	0.46	0.00	0.02	0.37	1.00															
PCE	0.60	-0.10	0.09	0.32	0.26	1.00														
Cl	0.16	0.10	-0.07	0.02	-0.08	-0.03	1.00													
Color	0.37	0.78	0.11	0.69	0.29	-0.13	-0.06	1.00												
Fe	0.37	0.73	0.45	0.67	0.22	-0.08	-0.04	0.71	1.00											
Hardness	-0.11	0.14	0.09	0.12	-0.13	-0.20	-0.01	0.33	0.15	1.00										
KMnO4	0.47	0.48	0.09	0.59	0.27	-0.12	0.38	0.51	0.39	0.00	1.00									
Mn	0.71	0.35	0.24	0.58	0.80	-0.26	-0.03	0.51	0.50	-0.01	0.43	1.00								
pH	0.12	0.36	0.63	0.55	-0.02	0.04	-0.15	0.40	0.54	0.54	0.13	0.10	1.00							
SO4	-0.03	0.15	0.30	0.24	-0.07	-0.03	-0.18	0.27	0.22	0.93	-0.03	0.05	0.70	1.00						
TDS	-0.07	0.14	0.07	0.12	-0.14	-0.19	0.23	0.30	0.14	0.97	0.09	-0.01	0.49	0.86	1.00					
Turb.	0.31	0.59	0.20	0.40	0.14	-0.20	-0.05	0.66	0.52	0.19	0.20	0.37	0.26	0.14	0.18	1.00				
Zn	0.35	0.43	-0.05	0.36	0.02	-0.12	0.31	0.55	0.45	0.19	0.43	0.17	0.06	0.08	0.26	0.42	1.00			
Taste	0.04	0.22	-0.09	0.29	0.08	-0.14	-0.05	0.31	-0.01	0.37	0.16	-0.04	0.27	0.32	0.34	0.23	0.06	1.00		
Odor	-0.01	0.14	0.06	-0.05	-0.01	-0.13	-0.19	-0.04	-0.05	-0.21	-0.09	-0.05	-0.04	-0.16	-0.26	0.15	-0.07	0.52	1.00	
ABS	0.61	0.51	0.23	0.67	0.25	0.58	0.06	0.45	0.55	-0.13	0.25	0.36	0.21	-0.03	-0.12	0.12	0.47	0.06	-0.03	1.00

이들 사이의 상관관계는 높아야 한다. 강원도와 경상남도 지하수 모두가 증발잔류물과 경도사이에 높은 상관관계가 나타난 것은 이들 지하수에 존재하는 이온의 대부분은 경도로 구성된다는 것을 의미한다. 이들 사이의 상관관계를 회귀분석을 사용해서 조사한 결과 증발잔류물과 경도는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있었다. 이들의 상관관계는 Fig. 9에 제시되었다.

$$\text{증발잔류물} = 1.19(\text{경도}) + 82 (R^2 = 0.94)$$

4. 결 론

경상남도 지하수 3,492군데의 수질을 조사한 결과는 다음과 같이 요약된다.

1) 경상남도 지하수에서는 음용수 수질기준에서 규제되고 있는 중금속 중에서 (카드뮴, 납, 세레늄, 수은, 6가크롬, 비소) 비소를 제외하고는 어느 것도 검출되지 않았고, 시안도 검출되지 않았으며 농약류도 전혀 검출되지 않았다. 반면에 구리를 제외한 대부분의 심미적 영향물질은 검출되었다. 중금속과 시안을 제외하고 검출된 무기물질은 질산성질소, 암모니아성질소, 및 불소 이었고, 유기물질은 휘발성 산업용매인 TCE와 PCE가 검출되었다.

2) 경상남도 지하수에서 검출된 오염물질들이 건강상 유해한 무기물질의 음용수 수질기준을 초과하는 경우는 질산성질소 (104건)와 불소 (100건)가 가장 많았고, 유기물질에서는 TCE (18건)가 PCE (7건)보다 많았고, 심미적 영향물질에서는 증발잔류물 (108건)과 경도 (102건)가 가장 많았다.

3) 생활오수에 의해서 오염될 수 있는 질산성질소와 암모니아성질소의 경우 도내에서 인구가 밀집되어 있는 지역이 상대적으로 오염이 더 많이 되었다. 반면 지방을 구성하는 광물질과 밀접한 관계가 있는 불소는 도내에

서 비교적 인구가 많은 곳이 아닌 창녕군에서 가장 많이 검출되었다. 산업용매로 사용되고 있는 TCE와 PCE는 공단이 위치하였거나 공단에 인접한 지역의 지하수에서 검출되었다.

4) 강원도와 비교해서 경상남도 지하수에서는 염소이온과 황산이온의 농도가 높았다. 도내에서 염소이온이 높은 지역들은 모두 해안에 밀접해 있었으므로 이 지역 지하수에 해수가 혼합된 것으로 사료된다. 반면 강원도 보다는 경상남도가 황산이온을 포함한 폐수에 의한 오염이 심하였기 때문에 황산이온 농도가 상대적으로 높았던 것으로 사료된다.

5) 경상남도 지하수의 상관관계를 조사한 결과 증발잔류물, 경도와 황산이온사이에 높은 상관관계가 밝혀졌다.

6) 지역적으로는 서부 경남지역의 지하수가 동부 경남지역의 지하수보다 전반적으로 오염이 적었다. 서부 지역은 동부 지역보다 인구가 적을 뿐만 아니라 개발도 덜 되었다. 서부 지역의 지하수가 동부 지역의 지하수보다 수질이 양호한 것은 이와 같은 이유 때문인 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

경남통계연보, 1994, 경상남도, 48pp.
 김성석, 이진호, 정재연, 김남성, 김순래, 김중철, 최규열, 정의호, 1995, 강원도에서 음용되는 지하수의 수질 특성에 관한 조사 연구, 한국수질보전학회지, 11(3), 247~256.
 보건사회부령 제 897호, 1992, 음용수의 수질검사방법.
 AWWA, 1985, An AWWA Survey of Inorganic Contaminants in Water Supplies, JAWWA, 77(5), 67~72.

경상남도 지역의 지하수질 특성조사

- Hamann, C. L., Jr., McEwen, J. B., Myers, A. G.,
1990 Guide to Selection of Water Treatment
Processes, Water Quality and Treatment, 4th.
Ed., Pontus, F. W.(Ed), McGraw-Hill, 157pp.
- Montgomery, J.M., Consulting Engineers, Inc.,
1985, Water Treatment Principles and Design,
John Wiley & Sons, Inc., 325pp.
- Pontius, F.W., SDWA Advisor:Regulatory Update
Service, 1994, AWWA.
- Water Quality and Treatment, 1990, AWWA, 83pp.