

울산지역의 지하수 수질에 관한 통계학적 연구

양운진
경남대학교 환경보호학과
(1998년 2월 18일 접수)

A Statistical Characterization of Ground Water Quality in Ulsan Area

Woon-Jin Yang
Dept. of Environmental Protection, Kyungnam University
(Manuscript received 18 February 1998)

One hundred and thirty two ground water samples from the Ulsan area were divided into urban and non-urban groupings and were assessed between 1993 and 1996. The results of statistical analysis were as follows:

There were significant differences between the two groupings in the average value of the following water quality parameters: total hardness, nitrate, pH, iron, ammonia and chloride ion in the order of Z-score.

Because total hardness, nitrate, and pH were also significant in ANOVA test, these three parameters can be regarded as the most sensitive parameters of artificial pollutants. By the comprehensive comparison of Ulsan water quality to that of Kangwon-do, all of the major parameters(pH, $KMnO_4$ consumption, sulfate, chloride and hardness except nitrate) were confirmed as being significantly increased levels.

Key words : groundwater, waterquality, pollutants.

1. 서론

1970년대이래 근대산업이 발달하면서 우리 나라의 수질환경은 급속도로 악화되었다. 특히 1990년대에 들어서에는 낙동강만 하더라도 91년3월의 폐놀 사건, 94년 1월의 암모니아 사건 등 해마다 대형 수질오염사고가 반복되었다. 이러한 영향으로 울산시민의 85%가 수돗물이 식수로 적합치 않다고 생각하게 되었으며 부득이 수돗물을 식수로 사용하더라도 끓이거나(86.8%) 정수 과정을 거쳐서(13.2%) 사용하고 있다. 또한 수돗물에 대한 시민의 불신이 점차 심화되고 먹는물의 지하수의 의존도가 점차 높아지고 있다(경상남도, 1997). 이러한 결과로 울산지역의 경우 시민의 먹는물 의존도는 수돗물 55.3%, 지하수 13.5%, 약수 22.7%, 생수 8.5%로 조사되었다(자치연대, 1997).

이처럼 식수의 지하수 의존도가 높음에도 불구하고 이에 대한 법적·행정적 조치는 최근에야 미흡하게나마 정리되었다. 지하수 관련 법으로는 유일하게 지하수법이 1993년 12월에 제정되었고, 그 시행규칙은 1994년 8월에야 제정되었다. 이 법에 따르면 생활용수는 30톤/일 이상만 신고하고, 년 1회 수질검사를 실시하도록 되어있다. 이 법에 따라 울산시에 신고된 지하수공 현황은 Table 1과 같다. 그러나 이 법이 최근에 시행되었고 또 한 일반에게 널리 알려져 있지 않은 점을 감안하면 실제

의 지하수공 현황은 이보다 훨씬 더 많을 것으로 생각된다.

지하수의 수질특성에 관한 연구들은 지질학적 측면을 강조한 연구들과 먹는물로서의 특성에 관한 연구로 구분된다. 지하수의 지질학적 특성에 대한 연구로는, 만장굴 용암석주 부근의 수질농도를 분석한 최무웅(1989)의 연구, 충적층 지하수를 대상으로 한 이동우(1991)의 연구, 임정웅(1991) 등의 마산·창원 화강암 지대 지하수 수질에 관한 연구, 최무웅 등(1992)의 석회암 지대의 수질 특성에 관한 연구 등이 있다.

먹는물의 지하수 특성에 관한 연구로는 국립환경연구소(1985)의 지하수 수질현황에 관한 연구를 시작으로 93년부터 환경처(부)에서 700이상의 지점에 대한 연례적인 조사(환경처, 1993)가 이루어지고 있다. 그러나 이 조사는 조사지점이 전국적으로 분산되어있으며, 조사결과가 먹는물의 적합성 여부만을 기준으로 제시되고 있어 자료분석 대상으로서의 가치가 미흡하다. 비교적 제한된 지역에서 정리된 데이터를 제시하고 있는 연구는 강원도 지하수 수질특성을 조사한 김성석(1995) 등의 연구와 경남 전 지역의 데이터를 정리한 허종수(1996)의 연구가 있으며, 또한 양운진(1996)의 마산·창원지역의 지하수 수질에 관한 연구가 있다.

본 연구는 마산·창원지역의 먹는물 지하수의 수질

Table 1. Number of Ground Water Wells reported to Ulsan city(1997. 7)

Usage	Drinking use	Domestic use	Agricultural use	Industrial use	Total
Number of wells	586	1681	189	136	2682

Table 2. Statistical Values for Drinking Ground Water Quality of Ulsan Area*

Water quality parameters	Samples	Samples over limit	Average	Standard deviation	Coefficient of variance	maximum	Minimum	Skewness	p% Percentile		
									5%	50%	95%
pH	132	2	7.3	0.60	0.08	9.1	5.5	-0.3	6.1	7.3	7.3
Conductivity	85	X	202	273	1.35	2250	15	5.2	20	120	500
KMnO ₄ consumption	112	1	2.4	2.84	1.18	22.7	0.1	3.7	0.2	1.6	7.1
SO ₄ ²⁻	132	3	63	59.8	0.95	293	0	1.3	0	41	168
Cl	132	6	46	58.1	1.26	517	7	5.1	12	32	94
MBAS	88	0	0.028	0.045	1.62	0.25	0	3.1	0	0.012	0.078
NH ₄ -N	95	4	0.071	0.209	2.95	1.4	0	4.3	0	0.006	0.082
NO ₃ -N	132	0	1.839	2.358	1.28	9.56	0	1.6	0.02	0.720	6.9
Total hardness	132	4	118	98.8	0.84	778	10	2.8	22	85	262
Copper	132	1	0.025	0.197	7.94	2.104	0	9.5	0	0	0.016
Zinc	132	10	0.240	0.592	2.47	4.870	0	5.0	0	0.049	10.5
Iron	132	3	0.033	0.079	2.38	0.621	0	5.0	0	0.014	0.07

* All units are mg/L except conductivity(μ mho/cm. no legal limit) and pH.

Table 3. Statistical Test results for Ground Water Quality Parameters of Ulsan Area*

Water quality parameters	Non-urban area			Urban area			One-side Z-test for the difference of average($\alpha=0.1$)		ANOVA test ($\alpha=0.1$)		
	Samples	Average	Standard deviation	Samples	Average	Standard deviation	Z-Score	Significance	F-Score	P-Score	Significance
pH	48	7.15	0.78	84	7.40	0.48	-1.97	Significant	4.961	0.03	Significant
Conductivity	34	193.15	139.17	51	208.65	335.02	-0.29		0.065	0.80	
KMnO ₄ consumption	38	2.40	2.19	74	2.41	3.14	-0.03		0.001	0.98	
SO ₄ ²⁻	48	65.94	60.56	84	61.10	59.70	0.44		0.199	0.66	
Cl	48	38.35	38.05	84	50.25	66.71	-1.30	Significant	0.128	0.26	
MBAS	32	0.02	0.03	56	0.03	0.05	-0.97		0.703	0.40	
NH ₄ -N	32	0.04	0.10	63	0.09	0.25	-1.34	Significant	1.110	0.29	
NO ₃ -N	48	2.48	2.81	84	1.47	1.99	2.19	Significant	5.738	0.02	Significant
Total hardness	48	90.63	56.88	84	133.35	113.59	-2.87	Significant	5.925	0.02	Significant
Copper	48	0.05	0.30	84	0.01	0.09	0.81		1.045	0.31	
Zinc	48	0.33	0.83	84	0.19	0.39	1.08		1.647	0.20	
Iron	48	0.02	0.03	84	0.04	0.10	-1.38	Significant	1.239	0.27	

* All units are mg/L except conductivity(μ mho/cm. no legal limit) and pH.

측정작업(양운진, 1996)에 이어 울산 지역의 먹는물 지하수 수질자료를 통계적으로 정리한 것으로, 울산 지역 지하수 수질의 이화학적 현황을 파악하고자 한 것이다. 이 연구의 결과는 울산지역 지하수 수질의 장기적 변화를 추적하고 평가하는 기초자료가 될 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사기간 및 대상

1993년 1월부터 1996년 8월까지 울산광역시지역의 132개의 먹는물용 지하수관정에서 취수한 시료를 각 1회 분석한 결과를 통계처리하였다. 울산지역은 우리나라에서 대표적인 오염 우려지역으로, 도시형 오염의 가능성이 있는 울산광역시외의 동구, 중구, 남구 및 울산 면을 포함하는 도심지역과(84개) 농촌형 오염이 우려되

는 기타의 비도심지역(48개)으로 구분하여 자료를 분석하였다.

2.2 분석항목 및 방법

분석항목은 먹는물 수질기준의 43항목 중 pH 등 14항목과 전기전도도를 측정하였다. 측정항목 중 크롬, 카드뮴, 납 등은 유의적인 검출한계 이하이었으므로 그 자료를 일괄적으로 생략하였다. 분석방법은 먹는물 관리법 제5조 관련의 환경부령 제 11호(먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙)에 따랐다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 중점적으로 검토한 내용은 각 수질항목의 측정치들의 통계적 변이와 그 분포의 특성이다. 먼저

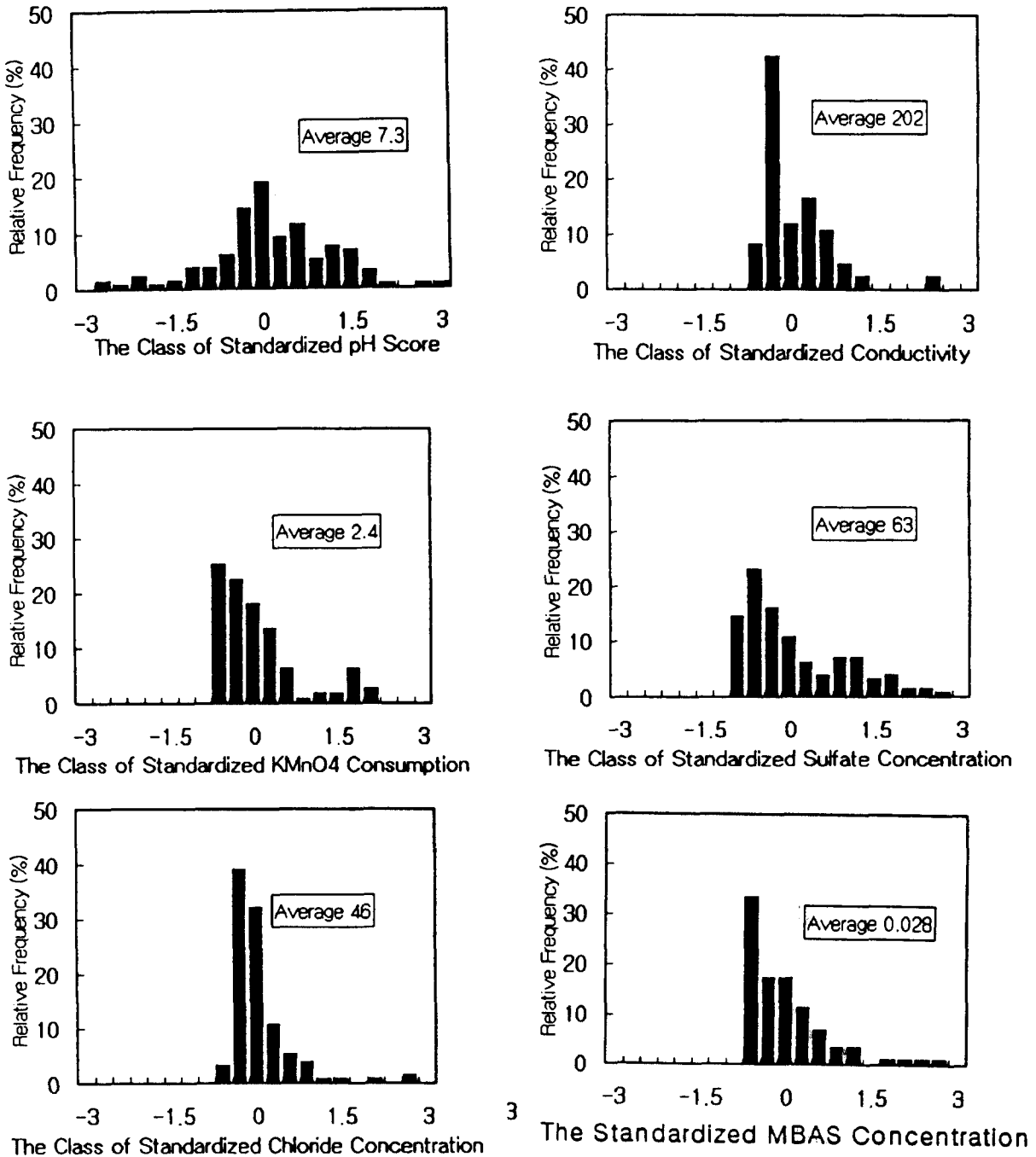


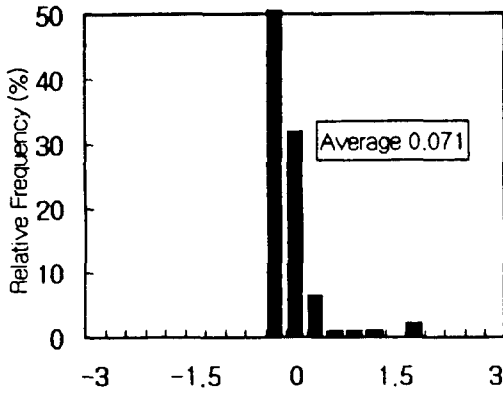
Fig. 1. Distribution Diagrams of each Water Quality Parameters.

울산지역 지하수 전체를 하나의 모집단으로 취급한 경우의 각 측정항목들의 일차적 통계치와 백분위수 (p% percentile)를 Table 2에 제시하였다. 다음으로 울산지역의 지하수 수질현황을 도심지역과 비도심지역으로 구분하여 판단하는 것이 유의적인가를 확인하기 위하여, 지하수 시료를 도심지역과 비도심지역으로 구분하여 두 집단의 평균의 차와 분산분석의 유의성을 검정한 결과

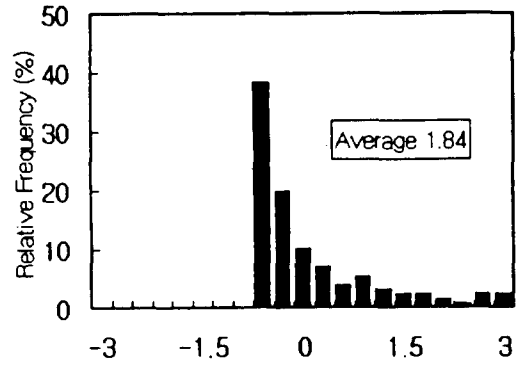
를 Table 3에 제시하였다.

Table 2의 자료에서 수질항목에 따른 분산형태의 차(왜도)를 시각적으로 일목요연하게 파악하기 위하여 표준화변수 (Z-Score)의 분포를 각 항목별로 Fig. 1과 Fig. 2에 제시하였다.

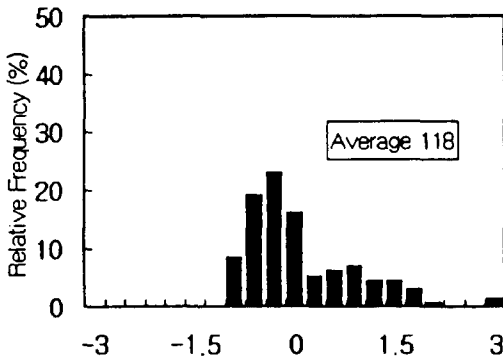
이들 표준화변수의 분포 다이어그램 (Fig. 1, Fig. 2)은 수질항목 상호간의 비교를 가능하게 하기 위하여 각



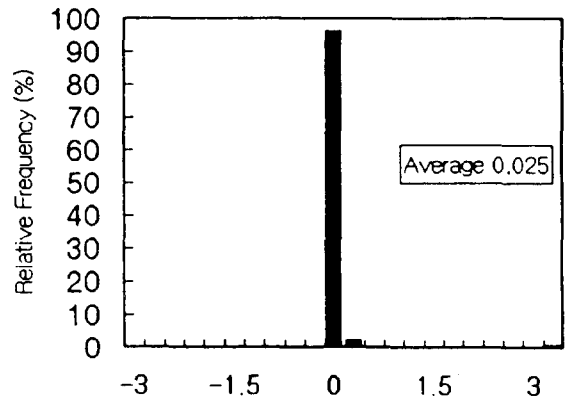
The Class of Standardized Ammonia Concentration



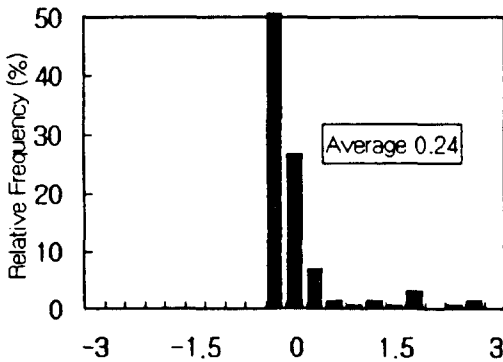
The Standardized Nitrate Concentration



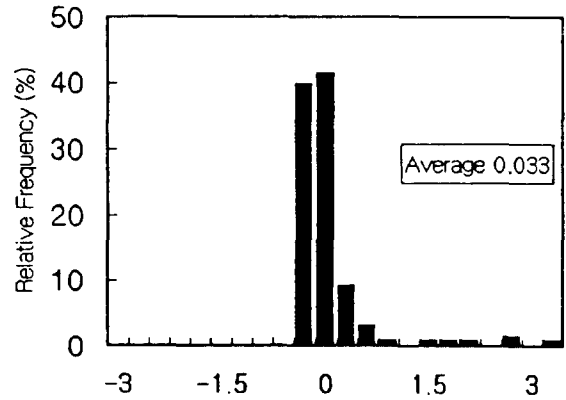
The Standardized Hardness as CaCO3



The Class of Standardized Copper Concentration



The Standardized Zinc Concentration



The Class of Standardized Iron Concentration

Fig. 2. Distribution Diagrams of each Water Quality Parameters.

측정치를 표준화변수로 환산하고, 그 표준화변수의 빈도분포표로 제시하였다. Fig. 1과 Fig. 2의 모든 횡축(X축)은 같은 척도이므로 직접 비교할 수 있으나 종축(Y축)은 구리(Copper)의 경우만은 100%를 Full Scale로, 그 외는 모두 50%를 Full Scale로 잡았다.

Table 2를 보면 구리와 아연 등 금속성분의 변이가 높고 계면활성제와 암모니아의 변이가 또한 높다. 이들

항목의 변이계수가 높은 것은 마산·창원의 지하수 수질조사(양운진, 1996)의 결과와도 일치하는 것이다. 구리와 아연의 변이계수가 높은 것은 이 연구의 시료들이 비교적 좁은 지역에서 취해진 점을 고려할 때 지질적 특성이라 하기보다 지하수 양수설비의 재질에 기인하는 것으로 판단된다. 특히 아연의 경우 먹는물 수질기준을 초과한 시료가 7.5%에 이르는 것은 노후한 배관에서 아

Table 4. Regional Comparison of some Water Quality Parameters between Masan · Changwon, Ulsan and Kangwon-Do*

Parameters	Region	Ulsan		Kangwon-Do	
		Masan · Changwon	Urban		Suburban
pH		7.03	7.4	7.15	6.5-6.9
KMnO ₄ consumption		2.25	2.41	2.4	0.92-0.99
SO ₄ ²⁻		47.4	61.1	65.9	11.0
Cl		69.6	50.2	38.3	13.0
NO ₃ N		3.01	1.47	2.48	4.1
Total hardness		114	133	90.6	68

*Unit : mg /L except pH.

연이 용출되기 때문으로 생각된다.

금속 항목외에 특히 암모니아와 계면활성제의 변이계수가 높은 것은 지질의 영향을 반영하는 기타의 항목들과 달리 이들 항목이 인위적 오염을 반영한다는 점을 고려할 때, 이 지역 지하수가 인위적 오염에 노출되어 있음을 나타내는 것으로 생각된다.

먹는물 수질기준을 초과한 시료의 수를 살펴보면 위에서 언급한 아연을 제외하고는 염소이온이 가장 많아 4.5%였다. 염소이온의 기준초과를 마산 및 창원과 비교해보면 마산(18%) > 창원(6%) > 울산(4.5%)의 순이다. 마산의 초과율이 높은 것은 마산의 주거지역 상당부분이 일제시대부터의 간척사업에 의한 해안매립지인데 기인하는 것으로 생각된다. 그러나 울산의 경우도 도시지역과 비도시지역의 염소이온의 평균농도의 차가 유의적(Table 3)이며, 강원도의 염소이온 평균이 울산의 28%에 불과하다는 점을 보아(Table 2, Table 4) 염소이온이 인위적 오염의 재관적 척도로서 적합한 지표라고 판단된다.

Table 2에서 왜도(skewness)의 분포를 살펴보면 pH 항목을 제외하고는 모든 항목에서 왜도가 매우 크게 드러났다. 이는 Table 2의 각 항목의 분포상태를 도시한 Fig. 1 및 Fig. 2에서도 시각적으로 쉽게 파악된다. pH를 제외한 전 항목의 왜도가 이처럼 크게 좌편향(左偏向)으로 나타나는 것은 이들 항목의 측정치가 자연상태의 정규분포성을 크게 벗어나 있음을 의미한다. 왜도는 각 측정항목의 오염원이 모든 시료에 고른 영향을 미치는가 아니면 특정 시료들에만 영향을 미치는가를 판단하는 기준이 된다. 즉 지하수의 경우 비점오염원에 의한 조사 지역 전체의 보편적 오염의 경우 왜도는 낮아진다. 또한 측정항목이 여러 특성을 포괄적으로 반영하느냐의 여부도 왜도에 반영된다. 따라서 pH는 그 포괄적인 성격(pH에 영향을 미치는 인자가 많음)으로 인하여 왜도가 낮은 반면 왜도가 특히 큰 구리, 아연, 철 등 금속이온과 염소이온 등의 항목은 그 특이적 성격(각 항목에 영향을 미치는 인자가 하나임)과 국지적 성격(배관 설비 노후의 경우 한 지하수에만 영향을 미침)을 반영한 것으로 생각된다.

Table 3은 울산지역 지하수 시료를 도시지역과 비도시지역으로 구분하고 두 표본집단의 평균의 차와 분산에 대한 검정 결과를 제시한 것이다. 평균의 차에 대한 검정 결과 질산성 질소와 총경도의 평균의 차가 유의적으로 판정되었으며 (유의수준 10%), 뜻밖에 pH의 차도

유의적으로 판정되었다. 질산성질소는 농업적 원인으로 추정되며 총경도는 도심에서 사용되는 각종 수용성 화공약품에 기인하는 것으로 생각된다. pH는 두 집단의 평균의 차가 작음에도 불구하고 그 표준편차가 작기 때문에 유의적으로 판정되었다. 경도와 pH가 함께 유의적으로 판정된 것은 지질학적 원인일 수도 있으나, 만일 인위적 원인이라면 도심지역 오염의 주된 원인물질은 수용성의 약산의 염일 것으로 미루어 짐작된다.

Table 2에 제시된 각 측정항목의 평균치를 김성석 등(1995)의 연구 및 마산·창원의 지하수 수질 연구(양운진, 1996)와 비교하여 비교 가능한 항목만 Table 4에 제시하였다. Table 4를 보면 세 지역간에 pH는 별 차이가 없으나 질산성질소를 제외한 다른 항목은 울산 및 마산·창원의 경우가 강원도보다 월등히 높다.

강원도가 대체로 석회암지역이며, 석회암지역의 지하수는 pH 및 경도가 높다는 점을 고려하면 울산지하수의 pH 및 경도가 강원도의 경우보다 높은 것은 주목할 점이다. 그 원인으로는 울산 지하수의 황산이온 및 염소이온 농도가 강원도의 경우보다 월등히 높은 점으로 보아 수용성인 황산염 및 염화물 등에 부분적 원인이 있을 것으로 생각된다. 그러나 질산성 질소는 강원도의 경우는 질산 비료의 영향으로 볼 수 있으나 울산 도시지역의 농도가 마산·창원보다 월등히 낮은 이유는 찾기 어렵다.

4. 결 론

1993년부터 4년간 울산광역시 지역을 도시지역과 비도시지역으로 구분하여 취수한 먹는물용 지하수 132시료에 대한 일반수질항목 분석결과를 통계 처리한 결론은 다음과 같다. 도시지역과 비도시지역 집단의 평균의 차가 유의적($\alpha=0.1$)인 항목은 Z-score가 큰 순으로 총경도, 질산성질소, pH, 철, 암모니아 질소, 염소이온이었다. 이들 항목 중 Z-score가 큰 총경도, 질산성 질소 및 pH는 일원분류 분산분석에서도 유의적으로 판정되어, 이들 세 항목이 지질학적 원인이 아니라면 인위적 오염에 가장 민감한 것으로 판명되었다.

울산지역 지하수의 수질을 총괄적으로 강원도와 비교한 결과 농촌형 오염항목인 질산성질소를 제외한 모든 항목(pH, KMnO₄, 황산이온, 염소이온, 총경도)에서 뚜렷한 차이가 확인되었다. 그 원인이 인위적인가의 여부는 지질학적 고려가 추가되어야 판명할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 연구는 1996년 경남대학교 부설연구소 특별연구비의 지원에 의한 것임.

참 고 문 헌

경상남도, 1997. 3.2. 보도자료
국립환경연구소, 1985, 지하수 수질현황에 관한 조사연구, 국립환경연구소보, 7, 253-265.
김성석 등, 1995, 강원도에서 응용되는 지하수의 수질 특성에 관한 연구, 수질보전학회지, 11(3), 247-256.
양운진, 1996, 마산 창원지역의 지하수 수질에 관한 연구, 한국수질보전학회지, 12(2), 215-223.
울산 참여자치연대, 1997.4, 자치연대, 8

이동우 등, 1991, 남원지구 수리지질 조사연구, 국토이용 지질조사연구보고서, 동력자원연구소, 3-76.
임정웅 등, 1991, 마산 창원지구 화강암대 지열 조사연구, 국토이용 지질조사연구보고서, 동력자원연구소, 79-127.
최무웅, 1989, 만장굴 용암석주 부근의 수질농도 분석, 동굴, 20(2), 8-34.
최무웅 등, 1992, 주요 원소를 이용한 석회암지대의 수질특성에 관한 연구, 지하수, 2, 86-99.
허종수, 1996, 경남지역 지하수의 수질특성분석, 경남대학교 산업대학원, 석사학위 논문.
환경처, 1993, 토양보전과 보도자료, 1993, 3, 7. 1993, 11, 11. 1994, 9, 9.