

대구지역에 분포하는 약수의 지구화학적 특성

김종근 · 이재영*

대구산업전문대학 환경관리과, *경북대학교 지질학과

Geochemical Characteristics of the Mineral Water in Taegu Area.

Jong Gun Kim and Jae Yeong Lee*

Department of Environmental Management, Taegu Polytechnic College

*Department of Geology, Kyungpook National University

Abstract

Chemical analysis, statistical analysis and geochemical study were carried out to investigate the influence of the geology on the chemical characteristics of the mineral water in Taegu area. A simple comparison between the chemical components of the mineral water and their bedrocks indicates that the bedrock types in the catchment area control the chemical characteristics of the surface water. However more objective evidences for the mineral water-bedrock relationship come from the statistical analyses(cluster analysis and factor analysis). The results of the statistical analyses suggest that the bedrock type factor explains the data variation seven times as much as pollution does, which evidently indicates that the bedrock in the study area mainly control the mineral water chemistries. The results of comparison of the statistical analyses results with the mineral weathering reactions and mineral stability diagrams can be summarized as follows :

1. Plagioclase weathering to kaolinite provides SiO_2 , Ca^{++} and Na^+ , and muscovite weathering to kaolinite provides K^+ , and amphibole and mica minerals weathering to kaolinite provides F^- to the mineral water. Most of Ca^{++} and Mg^{++} in the mineral water are the products of carbonate mineral dissolution. SO_4^{--} may be the byproduct of sulfide oxidation.

2. The weatering of silicate mineral produces Ca-rich smectite and kaolinite, but Ca-rich smectite is unstable and will be transformed to more stable kaolinite because of the continuous dilution of the mineral water by precipitation.

By Hashimoto's Mineral Balance Index, S-10 and S-12 mineral spring water were evaluated tasty and healthy water, S-9 and S-11 mineral spring water were evaluated tasty water and S-7, S-8 and S-13 mineral spring water were evaluated healthy water.

Keywords : Mineral water, Statistical analysis, Mineral stability, Mineral balance index.

I. 서 론

하천이나 호수등 일반 자연수(natural water)의 화학조성은 기상, 지질 및 생물에 의한 자연적 요인 이외에도 여러가지 인위적 요인에 의한 영향을 많이 받으나, 오염이 되지 않은 자연수의 화학조성은 주로 기상과 지질학적 요인과 관련된다. 기상학적 요인인 강수량과 온도도 자연수의 화학조성에 중요한 영향을 주지만 자연수의 화학조성에 암석-물 간의 반응정

도와 종류를 지배하는 것은 기반암(bedrock)의 종류에 의해 결정된다.^{1,2)} 즉, 기반암의 종류가 다양함에 따라 이를 구성하고 있는 광물 역시 매우 다양하여 이와 접촉하고 있는 자연수들은 여러 가지 물리화학적 반응과정에 의해 그 화학조성이 변하게 되는 것이다.

현재 외국에서는 이미 오래전부터 자연수의 화학적 특성과 기반암의 종류와의 상관관계^{3,6)}에 대해서 연구를 활발하게 하고 있는 반면 국내에서는 이제 초기단계에 접어 들고 있는 상황이다. 그래서 국내

에서 수질 및 대기질이 날로 악화되고 있는 상황을 고려하면 하루 빨리 자연수에 대한 기초자료를 수집할 필요성이 있다. 왜냐하면 다양한 지질환경(암석, 토양, 자연수)중에 존재하는 원소들의 지구화학적 거동을 연구하는 것은 최근 급속한 산업화에 따른 국민의 최대관심사인 수질오염문제의 해결방안을 제시하기 위한 기본적인 출발점이 되기 때문이다.

본 연구의 목적은 국내 자연수에 대한 기초자료 수집의 한 일환으로서 자연수의 화학조성과 기반암의 종류간의 상관관계를 규명하는 데에 있다. 이 연구에서는 대구지역에 분포하는 소위 약수(mineral water or medicinal water)만을 대상으로 하였는데 이는 하천수나 호수의 경우는 이미 생활하수나 공장 폐수의 오염으로 인해 자연수의 화학적 특성을 파악하기에는 거의 불가능한 상태인 반면 본 역의 약수들은 인위적 오염에 별로 영향을 받지않는 곳에 위치하고 있고 대구시민들이 가장 많이 이용하는 등산로의 먹는 샘물이기 때문이다.

II. 연구방법

대구 지역에 산재해 있는 약수의 지구화학적 특성 즉, 약수와 지질 조건과의 상호 관련성 해석을 위해,

약수 시료를 13지점에서 채취하였고, 이 채수 지점에 분포하는 대표적인 암석시료 또한 채취하였다.

채수시기는 1995년 10월 건기에 행하였는데 이는 약수의 지구화학적 특성이 기반암의 종류에 의한 영향을 좀더 확연히 분별하기 위한 것이다.

약수 및 암석시료 채취 위치는 Fig. 1과 같이 지질도 상에 표시하였다. 각 채수 지점에서 약수 시료의 분석 및 측정 목적에 따라 한 채취장소에서 0.45 μm 여과기를 이용하여 2개의 1 l 폴리에틸렌 병에 각각 1 l 씩 취하고 한 병에는 1 N-HNO₃을 3 ml를 첨가하였다. 약수시료 분석 및 측정은 현장에서 할 것과 실험실에서 할 것으로 나누어 실시하였다. 즉, 약수시료의 pH, Eh 그리고 온도는 휴대용 Ion meter(Orion, 290 A)로, E.C. 및 TDS의 측정은 Conductivity/TDS meter(Orion, 135)로, 그리고 HCO₃⁻ 농도는 메틸오렌지 지시약을 이용한 산 중화적정방법⁷⁾을 이용하여 현장에서 바로 측정하였다. HCO₃⁻ 농도를 제외한 음이온은 산처리를 하지 않은 시료에 대해 IC.(Samsung, SLC-600)를 이용하여 24시간 이내에 분석하였고, 양이온은 산처리를 한 시료에 대해 ICP-AES(Jovin Yvon, JY 38 plus)를 이용하여 분석하였다. 그리고 NO₃⁻는 UV-spectrophotometer(Shimatsu, UV 2401 PC)를 이용하여 분석하였다. 채취한 각 암석 시료에

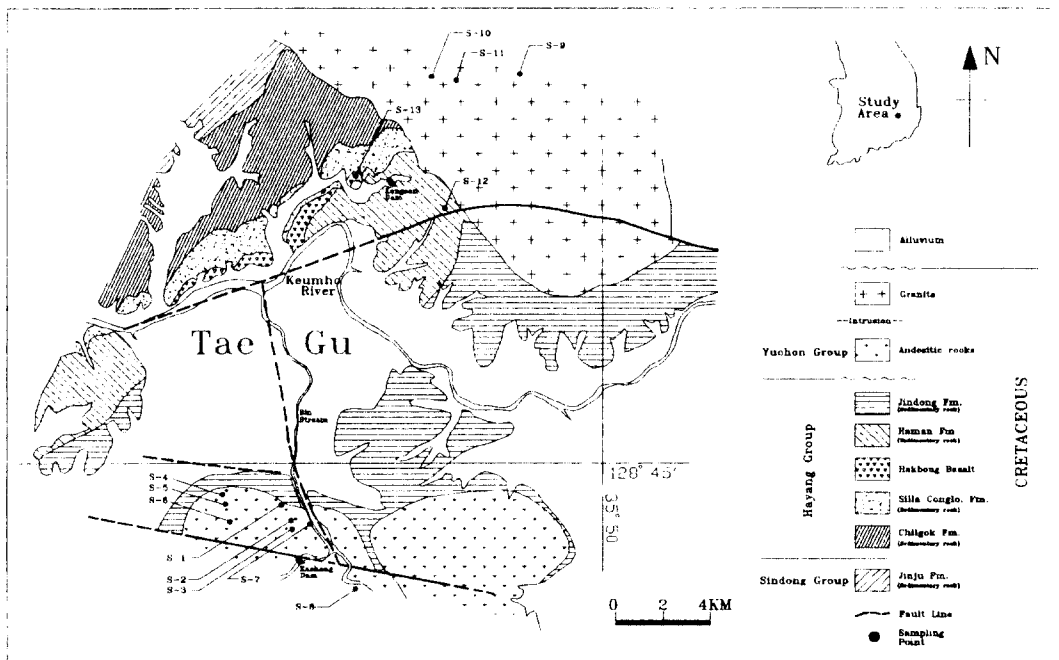


Fig. 1. Sampling sites and geological map of Taegu area.

대해서는 편광현미경을 통한 광물 감정과 이들 중 일부를 X.R.F.(Philips, PW-1404/10)를 이용하여 화학 분석을 하였다.

채수된 약수시료의 화학조성에 대한 통계분석은 SPSS/PC+ 프로그램을 사용⁹⁾하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 약수 및 암석 분석

대구 지역에 산재해 있는 약수의 화학 조성과 수질 특성은 Table 1과 같다. Table 1의 최하단에 있는 이온 당량비(+/-)는 분석치의 정확성을 나타내는데 일반적으로 0.9~1.1 범위의 값을 가져야 분석치로 정확한 것으로 간주된다. 그러나 방법의 부정확성 그리고 분석되지 못한 기타 다른 이온의 존재 등으로 인하여 이온 당량비의 범위가 0.7~1.3 이어도 분석치로 믿을 만한 것으로 간주할 수 있다. 따라서 Table 1을 보면 각 시료에 대한 분석치가 믿을만한 함을 보여준다.

채취된 약수시료의 주요 양이온과 음이온의 당량비(equivalent ratio)를 Piper diagram¹⁰⁾에 도시한 결과, 현무암지역은 CaSO₄형, 안산암지역은 CaSO₄~Ca(HCO₃)₂형, 화강암지역은 Ca(HCO₃)₂형 그리고 화강암과 인접해있는 호운펠스지역의 약수도 Ca(HCO₃)₂형임을 알수가 있다(Fig. 2).

Table 2는 각 시료의 위치, 암질 및 광물 그리고 약수의 수원에 대해 정리한 것이고, Table 3은 암석의 화학 분석치이다.

일반적으로 암석에서 원소의 함량이 많다고 해서 반드시 자연수에서도 그 원소의 함량이 많은 것은 아니다. 이는 자연수와의 접촉환경(Eh-pH환경, 반응시간 등)과 그 원소를 함유하고 있는 광물들의 용해도등에 따라 달라짐을 의미한다. 예로 Table 1과 Table 3의 관계에서 암반관정수만 보면 Mg²⁺와 Ca²⁺는 약수 및 암석 둘다 현무암>안산암>화강암순으로 존재한다. 이는 아마 현무암 및 안산암의 Ca-사장석의 함유량과 용해도가 높은 탄산염광물의 양과 관계가 있을 것이며, Na+K는 약수에서는 현무암>안산암>화강암 순이나 암석에서는 화강암>현무암>안산암 순으로 존재한다. 이는 암석의 풍화저항도의 결과일 것이다. 그리고 NO₃와 Cl의 함량은 암석과 약수와의 상관성이 없어 보이는데, 이는 NO₃와 Cl의 함량은 인위적 오염과 밀접한 관계가 있기 때문일 것으로 보인다.

상기에서 암석의 화학조성을 근거로 약수시료의 화학조성이 기반암의 종류에 규제됨을 언급 하였으나 이는 주관적인 해석일 가능성이 있다. 즉, 채수된 약수가 발견치 못한 인위적인 오염원에 의해서 오염될 수가 있기 때문이다. 그래서 연구지역 약수의 화학조성이 기반암의 종류에 따라 규제되는지를 판단하기 위해서 객관적인 자료가 필요하여 약수시료들의 화학조성을 독립변수로 하는 군집분석과 약수의 화학적 특성이 지질조건과 오염에 의해 각각 어느 정도 영향을 받았는지를 알아보기 위해 인자분석(factor analysis)을 하였다.

2. 통계학적 분석

1) 군집분석(Cluster analysis)

연구지역의 약수에 대한 화학조성이 기반암의 종류에 따라 규제되는지를 알아보기 위해서 약수의 화학 조성을 독립변수로 하는 군집분석(cluster analysis)¹¹⁾을 한 결과 Table 4와 Fig. 3과 같다. Table 4는 약수시료의 이온 함량에 대한 자료를 표준화하고, 이렇게 표준화된 자료를 바탕으로 유클리디안 거리(Euclidean distance)측정법¹²⁾에 의해 계산된 유사성 계수를 행렬로 나타낸 것이다. 여기서 유사성 계수가 작을수록, 화학 조성상의 시료 상호간 유사도가 증가하는 것이다.

Fig. 3은 Table 4의 군집분석 결과를 수지상 그림(dendrogram)으로 나타낸 것이다.

Fig. 3으로 부터, 이 지역의 약수는 몇 개의 그룹으로 분리됨을 알수 있으며, 이렇게 분리된 각각의 그룹은 공통의 기반암을 보인다는 것이다. 그리고 기반암이 안산암인 약수시료 (S-1, S-2, S-3, S-4, S-5, S-6)와 기반암이 화강암인 약수시료(S-9, S-10, S-11)들은 어느정도 군집성을 보이는 반면, 같은 안산암의 기반암에서 채취한 약수시료인 S-7, S-8는 오히려 상이한 군집성을 보이는 것은 주시할 만하다. 이는 아마 S-1, S-2, S-3, S-4, S-5 그리고 S-6의 약수시료는 거의 지표수에 가까운 반면 S-7과 S-8의 약수시료는 지하 약 80~200 m의 암반관정수이어서 암석과 물의 반응조건(Eh-pH조건, 반응시간)이 다르기 때문일 것이다. 결론적으로 연구 지역에서 채취한 약수의 화학적 특성이 군집분석 결과 대체로 기반암의 종류에 의해 일차적으로 규제됨을 시사한다.

2) 인자분석 및 상관관계(Factor analysis and Correlation)

Table 1. The chemical composition and other water quality data of the mineral water samples in the study area.

Sample No.	Depth (m)	Temp. (°C)	pH	Eh (mV)	E.C* (µs/cm)	TDS** (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	Al ³⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	F ⁻ (mg/l)	(+/-)****
S-1	9.4	6.94	254.5	54.6	26.5	5.47	0.02	4.12	0.24	0.74	3.96	14.35	0.48	7.87	3.11	tr.***	0.90	
S-2	9.4	6.77	264.0	86.7	43.2	7.22	0.01	6.29	0.41	1.22	7.97	28.24	1.26	9.30	2.93	0.35	1.01	
S-3	10.1	6.62	254.6	43.8	21.3	7.18	0.07	4.42	0.23	0.41	3.92	13.24	0.21	7.73	2.89	tr.	0.94	
S-4	11.6	7.02	240.2	72.0	35.6	7.10	0.16	4.84	0.30	1.41	5.65	20.23	0.08	9.99	2.91	0.02	1.02	
S-5	11.3	6.48	261.6	54.0	26.8	5.30	0.04	3.96	0.25	0.99	5.05	16.23	0.31	8.01	2.68	0.68	0.94	
S-6	9.0	6.63	261.4	59.3	29.3	6.87	0.11	4.79	0.24	0.79	3.04	15.00	0.08	6.77	2.94	tr.	0.94	
S-7	ca 200	11.3	7.88	213.4	392.0	197.0	12.40	0.01	16.60	3.08	8.71	46.30	76.00	9.57	74.60	11.80	3.71	1.10
S-8	ca 200	13.4	7.60	226.7	236.0	118.0	14.10	0.01	13.40	1.74	7.53	26.00	65.00	1.25	60.60	10.00	3.81	0.90
S-9	9.9	6.87	282.6	76.8	36.9	14.30	0.01	6.95	0.62	0.77	5.23	18.35	0.06	5.16	2.72	3.95	0.93	
S-10	ca 200	9.8	7.00	235.4	104.9	52.2	17.60	0.01	9.97	1.03	2.32	16.80	58.12	2.73	7.57	3.04	1.07	
S-11	ca 180	13.8	7.37	222.9	170.6	85.3	11.70	0.01	15.90	1.00	1.41	17.60	68.32	1.42	8.22	2.93	5.02	1.03
S-12	ca 80	15.8	8.32	220.0	263.0	134.0	24.00	0.01	10.70	0.75	9.29	33.60	128.23	0.20	12.60	3.08	5.79	1.06
S-13	ca 200	16.0	7.72	223.7	476.0	239.0	16.20	0.01	26.50	0.88	10.40	63.20	129.65	0.25	106.61	3.52	3.57	1.12

* : Electrical conductivity ** : Total dissolved solids *** : below detection limit

**** : Σ(meq. of cations per liter)/Σ(meq. of anions per liter)=Charge imbalance of anions and cations.

Table 2. Location, lithology, mineral and water source of the mineral water samples collected from Taegu area

Sample No.	Location	Lithology	Major/Minor mineral	Water source
S-1	Namgu Taemyongdong(Amlsa)	Andesite	Plagioclase(Phenocryst)/Chlorite, Amphibole, Hematite, Calcite	Subsoil water
S-2	Namgu Taemyongdong(Taeduksa-1)	Andesite	Plagioclase(Phenocryst)/Chlorite, Amphibole, Calcite	Subsoil water
S-3	Namgu Taemyongdong(Taeduksa-2)	Andesite	Plagioclase/Chlorite, Amphibole, calcite	Subsoil water
S-4	Talsogu Songhyundong(Maezagol-1)	Andesite	Plagioclase(Phenocryst)/Chlorite, Muscovite, Amphibole, Calcite	Subsoil water
S-5	Talsogu Songhyundong(Maezagol-2)	Andesite	Plagioclase(Phenocryst)/Chlorite, Calcite, Epidote	Subsoil water
S-6	Talsogu Songhyundong(Maezagol-3)	Andesite	Plagioclase(Phenocryst)/Chlorite, Illite, Amphibole	Subsoil water
S-7	Susunggu Sangdong	Andesite	Plagioclase(Phenocryst)/Chlorite, Hematite	Groundwater
S-8	Talsongun gachangmyon	Andesite	Plagioclase(Phenocryst)/Chlorite, Hematite	Groundwater
S-9	Tonggu Tohakdong(Tonghwa)	Granite	Quartz, Plagioclase, K-feldspar, Biotite/Chlorite Calcite, Muscovite, Magnetite	Subsoil water
S-10	Tonggu Sinyongdong	Granite	Quartz, Plagioclase, K-feldspar, Biotite/Calcite, Muscovite, Tourmaline, Magnetite	Groundwater
S-11	Tonggu Tohakdong(Tokbulsu)	Granite	Quartz, Plagioclase, K-feldspar, Biotite/Calcite, Tourmaline, Apatite	Groundwater
S-12	Tonggu Todong	Hornfels	Quartz, Plagioclase/Epidote	Groundwater
S-13	Tonggu Jmyodong	Basalt	Plagioclase, Amphibole, Chlorite, Calcite	Groundwater

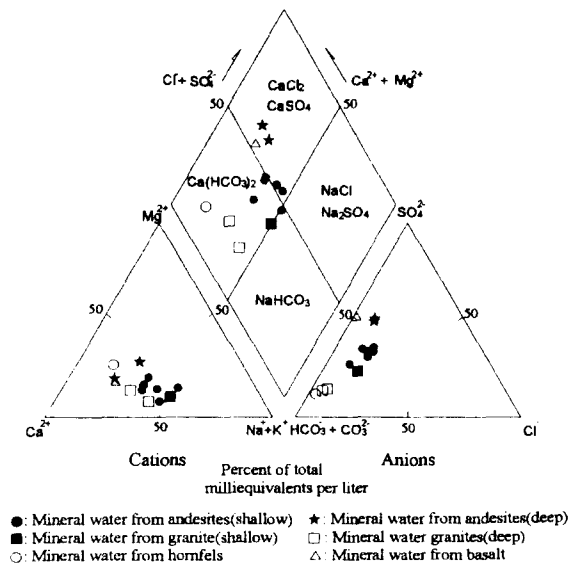


Fig. 2. Piper diagram showing the chemical compositions of the mineral water in the study area.

일반적으로 오염되지 않은 약수의 화학적 특성은 주로 기반암의 종류에 의해 결정되지만, 채수한 약수가 발견치 못한 오염원으로부터 오염되어 있을수 있기 때문에 연구 지역 약수의 화학적 특성이 지질 조건과 오염에 의해 각각 어느 정도 영향을 받았는지 분별할 필요가 있다. 이는 채수된 약수의 화학조성 변수에 대한 인자분석(factor analysis)^{12,19)}으로 가능하다.

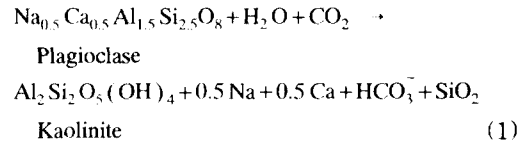
Table 5는 약수 시료의 화학 조성에 대한 R-모드 인자분석 결과로 얻어진 주 인자(factor)들의 고유

벡터(eigenvector)와 고유치(eigenvalue)들을 행렬로 표시한 것이다. 이때 인자들은 주성분분석법(principal component analysis)을 이용하여 구한 후, 이를 다시 varimax법을 이용하여 얻었다.

여기서 인자 1은 pH, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻ 함량에 의해 인자 2는 pH, HCO₃⁻, SiO₂, F 함량에 의해 인자 3은 K⁺, NO₃⁻, Cl 함량에 의해 규제되며, 이들의 전체자료분산에 대한 기여율(% of variation)은 각각 63.4%, 16.2%, 9.1%임을 알 수가 있다.

이러한 각 인자들의 의미를 알기 위해서는 화학성분 변수들간의 상관관계(correlation)를 알아야 하는데 Table 6은 약수의 화학성분 자료들간의 상관관계를 나타낸 것이다.

Table 6에서 SiO₂는 HCO₃⁻와는 높은 상관관계를 가지고 Ca²⁺ 및 Na⁺와는 중간정도의 상관관계를 가지는데 이는 아마 사장석이 물과 반응하여 카올리나이트로 풍화(반응식 1)되면서 SiO₂, HCO₃⁻, Ca²⁺ 그리고 Na⁺가 함께 수용액에 용출되기 때문일 것으로 추측된다. :



그러나 상기의 성분은 본 연구지역의 암석에 전부 함유되어 있으며, 가장 많이 함유되어 있고 용해도 또한 상대적으로 큰 광물인 사장석만으로 극히 단순화시킨 것으로 실재는 이보다 훨씬 더 복잡했을 것이다. 즉, SiO₂는 F와도 높은 상관관계를 가지는데

Table 3. The chemical compositions of bulk rock samples in the study area

(Unit : wt%)

Sample No.	Andesite								Granite			Hornfels	Basalt
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9	S-10	S-11	S-12	S-13
SiO ₂	63.34	63.63	63.11	58.27	63.76	60.12	63.01	64.30	70.66	69.04	70.86	59.11	56.74
Al ₂ O ₃	16.14	15.47	15.44	16.65	15.21	16.99	16.25	16.60	13.83	14.44	14.23	16.26	14.44
Fe ₂ O ₃	5.18	6.03	5.87	7.19	6.58	6.61	6.50	6.37	2.59	3.98	2.23	4.83	6.01
TiO ₂	0.75	0.66	0.72	0.99	0.62	0.83	0.45	0.71	0.30	0.45	0.39	0.68	0.59
MnO	0.12	0.27	0.13	0.18	0.18	0.13	0.20	0.13	0.07	0.06	0.06	0.08	0.09
CaO	2.72	3.82	3.28	5.61	3.27	5.61	3.93	2.44	0.79	0.88	2.51	7.38	7.31
MgO	1.45	1.62	1.48	2.94	1.26	2.89	1.28	1.11	0.56	0.49	0.96	4.71	5.96
K ₂ O	3.07	2.84	3.07	2.06	2.71	2.35	3.04	3.32	4.81	4.96	4.50	3.40	2.73
Na ₂ O	4.95	3.78	4.66	3.76	4.74	3.80	3.12	3.36	4.36	3.66	3.51	2.56	3.99
P ₂ O ₅	0.34	0.25	0.31	0.32	0.26	0.37	0.25	0.20	0.08	0.14	0.11	0.24	0.14
L.O.I.	0.01	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02
Total	99.07	98.40	98.09	98.00	98.62	99.72	98.05	98.57	98.07	98.12	99.37	99.26	98.02

Table 4. Squared euclidean dissimilarity coefficient matrix among the mineral water samples collected from the study area

	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9	S-10	S-11	S-12
S- 2	0.6701											
S- 3	1.5256	2.1705										
S- 4	8.7074	10.3056	4.1424									
S- 5	0.9802	1.2061	0.7030	7.4226								
S- 6	3.9184	4.9155	0.7175	1.6440	2.4175							
S- 7	59.2069	52.4530	63.8862	66.6977	62.7227	66.4554						
S- 8	26.6196	22.8483	29.5907	33.6540	28.9301	31.9816	15.6897					
S- 9	6.1447	4.6599	6.9807	14.9442	5.9698	9.8112	52.4974	18.9575				
S-10	10.6854	7.0012	11.7437	18.7161	11.1710	14.5726	35.7143	12.8147	3.5969			
S-11	13.4996	10.1737	15.7122	21.5750	14.3873	18.2902	36.3918	12.6120	5.3702	3.5336		
S-12	39.9212	35.2824	43.1715	45.0681	42.9217	45.5293	41.8299	16.6724	24.7911	16.4155	15.5135	
S-13	52.3646	45.6757	55.1170	57.3674	54.0858	57.3460	34.2502	18.4829	43.0126	30.9667	26.3276	20.1775

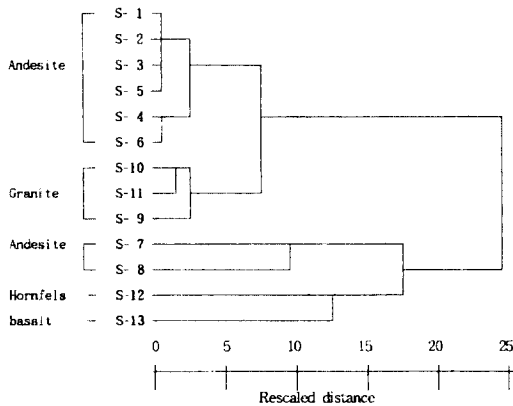


Fig. 3. Dendrogram based on the cluster analysis of the mineral water samples collected from study area.

이는 아마 불소함유 전기석 및 불소함유 흑운모를 함유한 화강암과 안산암에 함유되어 있는 각섬석류 ((Ca, Na)₂₋₃(Mg, Fe, Al)₃(Si, Al)₈O₂₂(OH, F)₂)가 물과 반응하여 카올리나이트로 풍화되면서 SiO₂, F, HCO₃⁻ 또한 Ca²⁺ 및 Na⁺도 함께 수용액에 용출되기 때문일 것으로 추측된다.

그리고 Ca²⁺는 Mg²⁺ 및 HCO₃⁻와 비교적 높은 상관관계를 보이는데 이는 본 연구지역의 암석에서 비록 미량으로 존재하지만 용해도가 상대적으로 가장 큰 탄산염광물(Fig. 4)의 용해반응(반응식 2)에 기인하는 것으로 사료된다. :

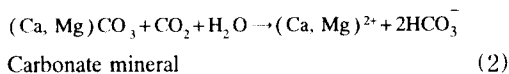


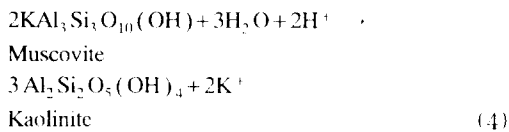
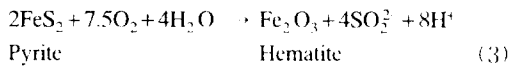
Table 5. Factor matrix for the compositional variables of the mineral water samples collected from the study area

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
pH	0.63862	0.61412	0.24580
SiO ₂	0.40876	0.84319	-0.02722
Al	-0.07376	-0.73014	-0.26527
Na	0.82535	0.35591	0.20822
K	0.33853	0.31088	0.87843
Mg	0.82836	0.40532	0.27760
Ca	0.88166	0.34504	0.27644
HCO ₃ ⁻	0.76493	0.61397	0.02010
NO ₃ ⁻	0.11269	0.11092	0.92607
SO ₄ ²⁻	0.88183	0.00519	0.38827
Cl	0.30419	0.06431	0.89062
F	0.33568	0.88046	0.15697
Eigenvalues	7.60554	1.94656	1.09130
% of variation	63.4	16.2	9.1
Cumulative %	63.4	79.6	88.7

그리고 K⁺이 NO₃⁻ 및 Cl⁻와는 매우 높은 상관관계를, Mg²⁺, Ca²⁺ 그리고 SO₄²⁻와는 중간정도의 상관관계를, SiO₂와는 낮은 상관관계를 보이는 것은 K⁺이 오염의 영향을 많이 받은 성분일 가능성이 높음을 암시한다. 만약 오염의 영향이 적더라도 반응식 1과 유사한 K-장석의 간단한 풍화 반응에 의해 공급된 것도 아니라는 것을 의미한다. 즉, K⁺ 와 SiO₂의 낮은 상관관계는 황철석과 같은 황화광물이 물과 반응하여 직접적으로 산화(반응식 3)되면서 생성된 물이 백운모와 반응하여 카올리나이트로 풍화되는 반응(반응식 4)으로 생각할 수가 있다. :

Table 6. The matrix of correlation among the chemical components and other water quality variable of the mineral water samples in the study area

	pH	SiO ₂	Al	Na	K	Mg	Ca	HCO ₃	NO ₃	SO ₄	Cl	F
pH	1.000											
SiO ₂	0.791	1.000										
Al	-0.411	-0.503	1.000									
Na	0.703	0.561	-0.472	1.000								
K	0.627	0.398	-0.423	0.583	1.000							
Mg	0.896	0.710	-0.399	0.786	0.638	1.000						
Ca	0.812	0.625	-0.441	0.929	0.639	0.934	1.000					
HCO ₃	0.900	0.827	-0.478	0.837	0.465	0.897	0.810	1.000				
NO ₃	0.373	0.119	-0.292	0.339	0.887	0.375	0.434	0.216	1.000			
SO ₄	0.583	0.330	-0.303	0.852	0.629	0.824	0.895	0.645	0.413	1.000		
Cl	0.495	0.190	-0.262	0.395	0.910	0.574	0.488	0.268	0.768	0.620	1.000	
F	0.794	0.869	-0.627	0.665	0.554	0.643	0.624	0.779	0.259	0.356	0.311	1.000



물론 반응식 3이 반응식 2를 더욱 촉진시켜 K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ 그리고 SO₄²⁻와는 중간 정도의 상관관계를, SiO₂와는 낮은 상관관계를 보이는 한 이유가 될 수가 있을 것이다. 물론 전술한 바와 같이 상기 반응식들은 극히 단순화시킨 것으로 실제는 이보다 훨씬 더 복잡했을 것이다.

위와 같은 화학 성분 간의 상관관계와 인자분석의 결과로 계산된 고유벡터 계수와 고유치를 종합하면, 인자 1과 인자 2는 불과 탄산염 광물, 운모 및 황화 광물 간의 반응 정도를 종합적으로 지지하는 인자로, 그리고 인자 3은 오염 정도를 지지하는 인자로 해석할 수가 있다. 이들 세 인자가 전체 자료 분산의 88.7%를 설명할 수 있음을 나타내는데 인자 1과 인자 2는 다같이 불과 암석간의 반응만을 나타내는 인자이므로 그들의 기여율을 더한 값 79.6%가 전체 자료의 분산중 기반암의 조건에 의해 설명되는 분산의 최소값임을 알 수가 있다. 즉, 약수의 지화학적 특성이 오염에 의한 것보다는 기반암의 종류에 의해 거의 결정되었음을 알 수가 있다.

3. Mineral Stability

수중에 존재하는 광물이 평형을 이루며 안정하게

존재하는지의 여부는 화학성분의 활동도에 따른 광물안정영역과 연구지역 약수의 화학조성을 비교^[14] 하면 대략적으로 알 수가 있다. Table 7은 Drever (1988)가 안정영역계산을 위해 사용한 Free energy 값^[14]인데 이 값을 이용하여 광물안정영역을 설정한 후 연구지역 약수의 화학조성을 점시하면 Fig. 5와 같다. Fig. 5로부터 연구지역 약수의 화학조성은 대체로 카올리나이트 안정영역에 점시되고 있으나, CaO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O계에서는 약수시료 4개가 스펙타이트(Ca-beidellite) 안정영역에 점시되는데 이들 시료 전부에서 심부에서 생성된 약수이다. 이는 규산염광물이 일단의 스펙타이트로 풍화되면서 서서히 보다 안정한 카올리나이트로 변해감을 지지한다. 즉, 심부에서 생성된 약수가 지표 가까이에 도달하면 계속해서 공급되는 강수 등에 의해서 그 화학성분이 희석되므로 보다 안정한 카올리나이트로 변해갈 것으로 사료 된다.

4. Mineral Balance Index

橋는 맛있고 건강한 물의 Mineral Balance Index^[15]를 발표하였는데 즉, K index=(Ca²⁺-0.87 Na⁺)≥5.2(mg/l), O index=(Ca²⁺+K⁺+SiO₂)/(Mg²⁺+SO₄²⁻)≥2.0(mg/l)이다. 여기서 K index는 건강한 물의 지표로서 일본 전국의 도별 뇌졸중 정정사망률과 하천의 화학적 성분사이에서 통계학적 상관관계가 인정되는 것과, 一方石原의 장수로 불리는 지역과 단명으로 불리는 지역에 대하여 음료수의 Mg²⁺/Ca²⁺ 및 Na⁺/K⁺를 Ca²⁺-Na⁺에 대한 그래프로 조사한 결과 장수촌에서는 Ca²⁺-Na⁺값이 크게 Na⁺ 및 Mg²⁺는 작게 나타난 것을 기초로하여 산출한 것이다. 그리고 O

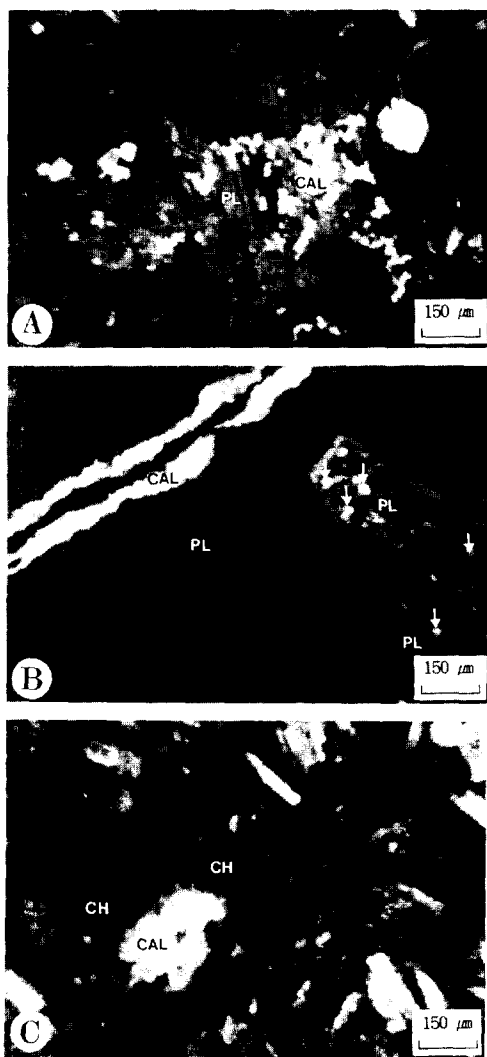


Fig. 4. Photomicrographs showing the lithologic and mineralogic characters. (A) Calcite replacement (CAL) within a large plagioclase grain (PL) in andesite. (B) Calcite (CAL) filling the microfracture and sericite replacement (arrow) within plagioclase grains (PL) in granite. (C) Chlorite (CH) and calcite (CAL) filling the microcavity in basalt.

index 는 일본의 대표적인 음료수, 광천수의 관능시험에 의해 Ca^{2+} , K^+ , SiO_2 가 맛을 좋게 하고 Mg^{2+} , SO_4^{2-} 가 맛을 나쁘게 하는 것이 명백하다고 하여 맛있는 물의 경계를 O index ≥ 2.0 mg/l로 제한 한 것이다. 즉, K index ≥ 5.2 이고 O index ≥ 2.0 이면 맛있고 건강한 물이라 할 수 있으며, K index < 5.2 이고 O

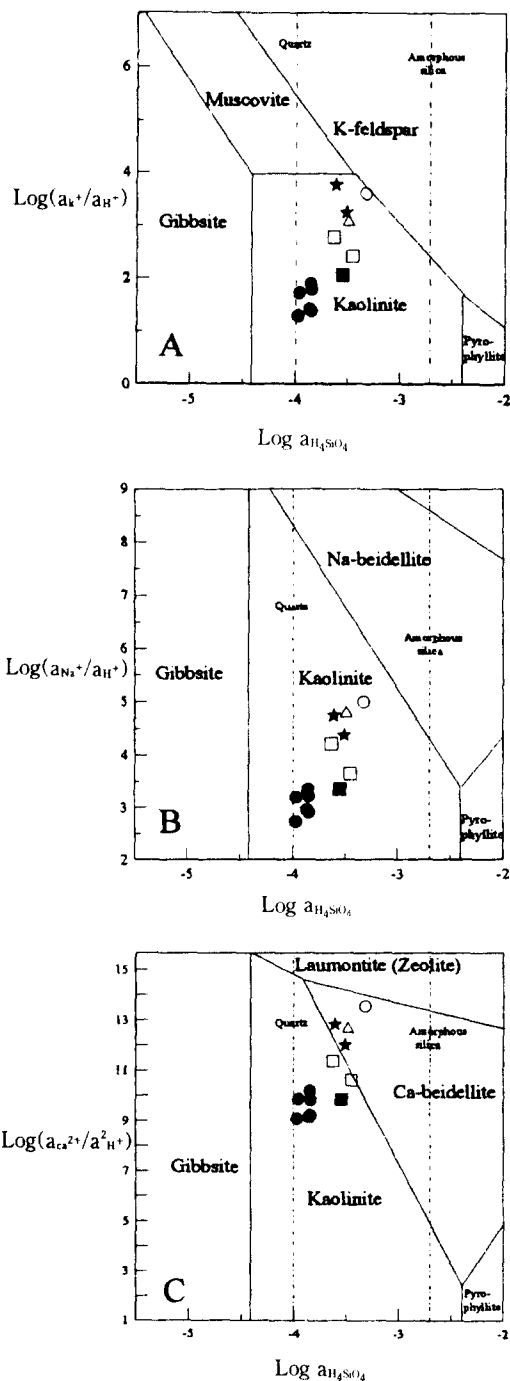


Fig. 5. Mineral stability diagrams showing the chemical compositions of the mineral water in the study area. (A) $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ system, (B) $Na_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ system, (C) $CaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ system, 25°C. Symbols are the same as those of Fig. 2.

Table 7. Free energy values(KJ/mole) used in constructing stability diagrams free energy values cited from Drever(1988)

Species	ΔG° (KJ/Mole)
H ⁺	0
K ⁺	-283.27
Na ⁺	-261.91
Ca ²⁺	-553.58
H ₂ SiO ₄	-1316.6
H ₂ O	-237.13
Gibbsite(Al(OH) ₃)	-1151
Kaolinite(Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	-3800
Pyrophyllite(Al ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂)	-5275
Muscovite(KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂)	-5605
K-feldspar(KAlSi ₃ O ₈)	-3767
Albite(NaAlSi ₃ O ₈)	-3715
Na-beidellite(Na _{0.33} Al _{2.67} Si _{3.67} O ₁₀ (OH) ₂)	-5382
Ca-beidellite(Ca _{0.167} Al _{2.33} Si _{3.67} O ₁₀ (OH) ₂)	-5388
Laumontite(CaAl ₂ Si ₂ O ₇ · 4H ₂ O)	-6711

Table 8. Mineral balance index of the mineral water in the study area

Sample site	K index	O index
S- 1	0.38	1.12
S- 2	2.50	1.48
S- 3	0.07	1.39
S- 4	1.44	1.14
S- 5	1.60	1.18
S- 6	-1.13	1.34
S- 7	31.86	0.74
S- 8	14.34	0.63
S- 9	-0.82	3.36
S-10	8.13	3.58
S-11	3.77	3.15
S-12	24.29	2.67
S-13	40.15	0.69

index<2.0이면 어느것에도 속하지 않는 물이라 할 수 있으며, K index≥5.2 이고 O index<2.0 이면 건강한 물이라 할 수 있다. 그리고 K index<5.2 이고 O index≥2.0 이면 맛있는 물이라 할 수 있다.

물론 이 두가지 지표값에는 폭이 있고, 단정적인 것은 아니나, 맛있고 건강한 물의 표준의 하나로서 채택하는데 간단하고 편리한 방법이라 사료된다.

본 역에서 채수한 약수를 이 지표에 의해 계산하여 Table 8에 나타내었다. Table 8을 보면 S-10과 S-12는 맛있고 건강한 물, S-9와 S-11은 맛있는 물, S-7, S-8 그리고 S-13은 건강한 물이라 생각할 수 있다.

IV. 결 론

본 역에 산재해있는 약수는 현무암 지역에서는 CaSO₄형, 안산암 지역에서는 CaSO₄~Ca(HCO₃)₂형, 화강암 지역 그리고 화강암과 인접해있는 호온펠스 지역은 Ca(HCO₃)₂형 이다.

약수의 화학성분을 군집분석, 인자분석 및 상관관계 그리고 광물안정영역에 의하여 검토한 결과, 약 79.6%정도가 지질조건에 의해, 약 9.1%정도가 오염에 기인한 것으로 나타났다. 즉, 약수의 화학적 특성이 거의 기반암의 종류에 의해 결정됨을 알 수가 있다. 즉, 수중에 존재하는 SiO₂, Ca²⁺ 그리고 Na⁺는 사장석이 카올리나이트로 풍화되면서, K⁺는 오염의 영향과 백운모가 카올리나이트로 풍화되면서, Ca²⁺, Mg²⁺ 그리고 HCO₃⁻는 탄산염광물의 용해에 의해서, F⁻는 화강암과 안산암에 함유되어 있는 각섬석이 풍화되면서 주로 공급되었을 것이다.

그리고 Mineral balance index평가에 의해, 본 역에서 채수한 약수중 S-10과 S-12는 맛있고 건강한 물에 S-9와 S-11은 맛있는 물에 S-7, S-8 그리고 S-13은 건강한 물에 해당되어 진다.

감 사

본 연구에 대한 전략광물자원연구센터의 부분지원에 대하여 감사드린다.

참고문헌

- 1) Gibbs. R. j.: The geochemistry of the Amazon River system. Geol. Soc. Amer. Bull., **78**, 1203-1232, 1967.
- 2) Hem. J. D.: Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. 3rd ed., U.S. Geological Survey Water-Supply Paper, 2254, 1989.
- 3) Stauffer, R., E. and B. D. Wittchen: Effects of silicate weathering on water chemistry in forested, upland, felsic terrane of the U.S.A. Geochimica et. Cosmochimica Acta, **55**, 3267-3269, 1991.
- 4) 이재영, 김영기, 김창동: 대구시 지하수의 수질과 지질환경과의 관계 및 수질오염에 대한 지화학적 연구. 경북대학교 환경과학연구소, 48-51, 1992.
- 5) Banks, D., C. Reimann, O. R yset, H. Skrphagen, and O. Saether: Natural concentrations of major and trace elements in some Norwegian bedrock groundwaters. Applied Geochemistry, **10**, 1-16.

- 1995.
- 6) Reeder, S.W., B. Hitchon, and A.A. Levinson : Hydrogeochemistry of the surface waters of the Mackenzie River drainage basin, Canada(I. Factors controlling inorganic composition). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **36**, 825-865, 1972.
 - 7) Snoeyink, V.L. and D. Jenkins : *Water chemistry*, John, Wiley & Sons, Inc., 1980.
 - 8) 박병구, 손중권, 송재기, 조길호 : 데이터 분석을 위한 SPSS/PC+사용법(고급편). 자유아카데미, 1993.
 - 9) 김영기 : 수리지질학사전. 엔지니어즈, 1995.
 - 10) 유재영, 최인규, 김형수 : 춘천지역의 기반암 종류에 따른 지표수의 지구화학적 특성. *대한지질학회지*, **30**(3), 313-318, 1994.
 - 11) Davies, J. C. : *Statistics and data analysis in geology*. John Wiley, New York, 1986.
 - 12) Grande, J. A., Gonzalez, A., Beltran, R., and D. Sanchez-Rodas : Application of factor analysis to the study of contamination in the Aquifer system of Ayamonte-huelva(Spain). *Gronud Water*, **34**(1), 157-160, 1996.
 - 13) 한국자원연구소 : 지질환경에서 유해원소들의 지구화학적 분산연구 (I). 과학기술처, KR-93(T)-10, 1993.
 - 14) 정찬호 : 물-암석(편마암)반응계에서 유해핵종의 흡착거동에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문, 1996.
 - 15) Drever, J. I. : *The Geochemistry of natural waters*. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1988.
 - 16) 김종훈, 안종수 : 제주도 용천수의 수질 화학적 특성과 연대측정에 관한 연구. *한국화학학회지*, **36**, 734-735, 1992.