

함세영<sup>1</sup>, 안재형, 조명희<sup>1</sup>, 성익환<sup>2</sup>, 이병대<sup>2</sup>, 조병욱<sup>2</sup>, 한석종<sup>3</sup>

부산대학교 지구환경시스템과학부, <sup>1</sup>부산대학교 환경대학원, <sup>2</sup>한국자원연구소 지구환경연구부, <sup>3</sup>부산대학교 기초과학연구소

## 1. 서론

부산 금정산-백양산일대에는 현재 60여군데의 약수터가 분포하고 있으며, 이들 약수는 부산 시민의 식수로 이용되고 있다. 또한 금정산-백양산 줄기의 동편에는 동래온천이 위하고 있고 서편에는 양산단층이 위치하고 있어서(손치무 외, 1978), 이 지역은 지하수 및 심부 지열수의 순환을 연구하기에 적당한 지역이다. 이 지역의 약수는 화강암이나 안산암질암의 절리나 구조대를 따라서 용출하는 샘이나 지하수로서 국지적 또는 광역적 지질구조의 분포와 연관성을 가지는 것으로 보인다. 금정산-백양산 줄기의 각각 동편과 서편에 북북동방향으로 달리고 있는 동래단층과 양산단층 그리고 거의 동서방향으로 발달된 지질구조가 이 지역의 광역적인 지하수 유동을 구제하는 것으로 보인다.

본 연구에서는 이러한 지질구조를 따라 지하수가 흐르면서 물-암석 반응에 의한 화학성분의 변화와 인위적인 오염의 영향을 파악하고자 한다. 이를 위하여 1999년 2월 23일부터 1999년 3월 3일까지 금정산-백양산일대에 분포하는 약수터 16개소의 지하수 시료를 현장 및 실내분석하였다. 아울러서 이들과 비교하기 위하여 4개소의 지하수공의 시료도 현장 및 실내분석하였다. 현장에서는 pH, EC(전기도도), TDS(총고용물), 염도, 온도, 용출량을 측정하였고,  $\text{HCO}_3^-$ 와  $\text{CO}_3^{2-}$ 는 메틸오렌지-페놀프탈레인을 이용한 산 중화 적정법으로 분석하였다. 실험실에서는  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{SiO}_2$ 를 분석하였다.

## 2. 물리적 특성 및 용존물질의 함량

약수의 TDS는 두 곳을 제외하고는 100mg/l 미만으로 나타났다. 전기전도도(EC)는 TDS와 비례하며, 이 지역에서는 4, 11, 17지점을 제외하고는  $200 \mu\text{S}/\text{cm}$ 미만이다. 이는 지하수의 유동경로와 지하 체류시간이 비교적 짧음을 지시한다. pH는 약수와 지하수간에 큰 차이가 나타나지 않으며 6.21~7.73의 범위로서 거의 중성을 나타낸다. 온도는 4.7~14.8℃이다. 이와 같은 지하수의 온도범위는 지하수에 따라 기온의 영향을 받는 정도가 다르기 때문으로 판단된다.

주성분 양이온의 함량 중 가장 우세한 것은  $\text{Na}^+$ 이고 그 다음은  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ 의 순이다. 한편 주성분 음이온 중에서는  $\text{HCO}_3^-$ 가 가장 우세하고 그 다음은  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 순이다. 본 연구지역 약수와 지하수의 주성분의 수질형을 알아보기 위해서 주성분의 양이온과 음이온의 이온 당량비를 각각 Piper diagram에 도시해 본 결과  $\text{Na}^+-\text{Cl}^-$  형이 가장 우세하고, 그 다음에는  $\text{Ca}^{2+}-\text{HCO}_3^-$  형과  $\text{Na}^+-\text{HCO}_3^-$  형에 속한다. 이는 금정산주변의 지하

수가 대부분  $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$  형에 속하는 것과는 대조를 이룬다(김정숙 외, 1998)

그 외  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{SiO}_2$ 의 함량을 보면,  $\text{Al}^{3+}$ 과  $\text{PO}_4^{3-}$ 는 불검출이며, 암모니아성 질소, 질산성 질소, 불소도 모두 먹는물 기준치이내에 있다.  $\text{SiO}_2$ 는 물-광물 반응에 의해서 만들어지며, 이 지역에서는 15.7-35.7mg/l이다.

### 3. 물-광물 평형

암석이 물과 반응하면 암석 중의 구성광물들이 선택적이고 다양하게 분해되는 화학적 풍화작용을 받게 되며, 이러한 과정을 거치면서 물-암석 반응이 일어난다. 물-암석 반응 모델링은 이온의 활동도, 포화지수, 물-암석 반응에 의해서 형성 또는 소멸하는 2차 광물의 농도를 계산하여 지하수의 용존 화학성분을 결정하는 요인을 추정하는데 이용된다. 특정광물들이 평형상태에서 공존할 수 있는 환경조건을 이해하거나 또는 특정 환경에서 광물이 안정할 수 있는지의 여부를 규명하기 위해  $[\text{Ca}^{2+}/\text{H}^+]^2$ ,  $[\text{Mg}^{2+}/\text{H}^+]^2$ ,  $[\text{Na}^+/\text{H}^+]$ ,  $[\text{K}^+/\text{H}^+]$ 의 대수값을 종축에 그리고  $[\text{H}_4\text{SiO}_4]$ 의 대수값을 횡축으로 하는 각 광물의 안정영역에 시료를 도시한 결과 모두 카오리나이트 안정 영역에 위치한다(Helgeson et al., 1978; Bower et al., 1984).

### 4. 요인분석

약수와 기반암의 화학조성의 관련성을 규명하고 지하수의 인위적인 오염의 영향을 알기 위하여 상관분석과 요인분석을 실시하였다. 요인추출 모델은 PCA(Principal Component Analysis)방식을, 공통인자의 수는 1이상의 고유치(eigenvalue)를 택하였고 varimax 직각 회전방식을 적용하였다.

요인분석의 변수는 온도, EC,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ 로 하였다. 요인분석 결과, 세 개의 요인이 추출되었으며, 요인 1은 온도,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , 불소함량으로 대표된다. 요인 2는  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SiO}_2$ , EC로 대표된다. 또한 요인 3은  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , EC로 대표된다. 전체 자료에 대한 기여율(percent of variance)은 각각 43.19%, 17.12%, 15.78%이며, 요인 1의 고유치가 약 4.75로서 각각 요인 2와 요인3의 고유치인 1.88과 1.74보다 훨씬 큰 값을 나타내므로 전체 분산을 설명하는데 있어서 요인 1이 요인 2와 요인3보다 더 중요하다. 요인 1에 적재되는 이온들은 물-광물 반응에 의한 영향을 받는 것으로 판단된다. 요인 2에 적재되는 이온들은 보다 심부의 지하수 또는 지열수와 관련되는 것으로 추정되나 보다 상세한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 요인 3은 천부의 물-암석반응 또는 오염의 가능성을 생각할 수 있다.

### 5. 결론

약수의 TDS는 거의 100mg/l 미만으로 나타났으며, 전기전도도(EC)는 낮게 나타났다. 또한, pH는 6.21~7.73의 범위로서 거의 중성을 나타낸다. 온도는 4.7-14.8℃이다. 주

성분 양이온의 함량 중 가장 우세한 것은  $\text{Na}^+$ 이고 그 다음은  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ 의 순이다. 한편 주성분 음이온 중에서는  $\text{HCO}_3^-$ 가 가장 우세하고 그 다음은  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 순이다.

본 연구지역 약수와 지하수의 주성분의 수질형을 알아보기 위해서 주성분의 양이온과 음이온의 이온 당량비를 각각 Piper diagram에 도시해 본 결과,  $\text{Na}^+$ - $\text{Cl}^-$  형이 가장 우세하고, 그 외 중금속에 의한 약수의 오염가능성은 낮은 것으로 판단된다.

$[\text{Ca}^{2+}/\text{H}^+]^2$ ,  $[\text{Mg}^{2+}/\text{H}^+]^2$ ,  $[\text{Na}^+/\text{H}^+]$ ,  $[\text{K}^+/\text{H}^+]$ 의 대수값을 종축에 그리고  $[\text{H}_4\text{SiO}_4]$ 의 대수값을 횡축으로 하는 각 광물의 안정영역에 시료를 도시한 결과 모두 카오리나이트 안정영역에 위치한다(Helgeson et al., 1978; Bower et al., 1984). 약수(지하수)와 기반암의 성분을 비교해 본 결과, 대부분의 시료가 기반암의 특성을 반영하는 수질특성을 보이고 있으며, 오염에 의한 영향은 있더라도 크지 않은 것으로 나타난다. 지화학모델링에서 각 광물의 안정영역에 시료를 도시한 결과 모두 카오리나이트 안정영역에 위치한다.

물-광물 반응 모델링에서, 요인 1에 적재되는 이온들은 물-광물 반응에 의한 영향을 받고, 요인 2에 적재되는 이온들은 보다 심부의 지하수 또는 지열수와 관련되는 것으로 추정되나, 보다 상세한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 요인 3은 천부의 물-암석반응 또는 오염의 가능성을 생각할 수 있다.

## 6. 요약

부산 금정산-백양산일대에 분포하고 있는 60여군데의 약수터 중 16곳과 지하수공 4곳의 물 시료를 현장 및 실내분석하였다. 분석된 결과를 이용하여, 물-암석 반응에 의한 화학성분의 변화와 인위적인 오염의 영향을 파악하였다. 먼저 이들의 물리화학적 특성과 용존물질의 함량에 의해서 수질형을 구분하고, 시료들간의 용존물질 함량을 비교·분석하였다. 또한, 상관분석과 요인분석을 통하여 용존성분들간의 상호 관련성을 알아보았다. 지화학모델링 등을 이용하여 분석하였다. 그리고, 물-암석 반응 모델링을 통하여 이 지역 기반암(화강암 및 안산암)과 지하수간의 지화학적 반응을 고찰하였다.

## 참 고 문 헌

김정숙, 1999, 부산 금정지역 지하수의 수리지구화학적 특성 연구, 부산대학교 대학원 석사학위논문, 74p.

손치무, 이상만, 김영기, 김상욱, 김형식, 1978, 동래·월내도폭(1:50000) 및 설명서, 자원개발연구소.

Bowers, T. S., K. J. Jackson and H. C. Helgeson, 1984, Equilibrium activity diagram, Springer-Verlag, Berlin, p. 397.

Helgeson, H. C., J. M. Delany, H. W. Nesbitt and D. K. Brid, 1978, Summary and critique of the thermodynamic properties of rock-forming minerals, Amer. J. Sci., 278-A, p. 1-229.