

부산 금정산일대 용천수, 지하수 및 지열수의 수질 특성 비교

함세영¹, 조명희, 심형수, 성익환¹, 이병대¹, 조병욱¹

부산대학교 지구환경시스템과학부, ¹한국자원연구소 지구환경연구부

1. 서론

부산 금정산에 분포하는 용천수(약수), 금정산, 동래구, 금정구일대의 지하수 그리고 동래온천 지열수간의 수질 특성을 비교·연구하였다. 이를 위하여 16군데의 용천수, 21군데의 지하수 그리고 9군데의 온천수시료를 채취하여 현장분석과 실내 화학분석을 실시하였다. 현장에서는 pH, EC(전기도도), TDS(총고용물), 염도, 온도, 용출량을 측정하였고, HCO_3^- 와 CO_3^{2-} 를 분석하였고, 실험실에서는 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , Al^{3+} , F^- , SiO_2 등을 분석하였다.

용천수는 이 지역의 구성암석인 화강암과 안산암질암의 구조대(절리 또는 단층대)를 따라서 산출하며 용천수의 순환깊이 및 순환시간은 길지 않은 것으로 판단된다. 이에 비해서 지하수는 배출지역인 저지대에 위치하고 있으며, 지하수의 심도는 대체로 100m 내외이다. 따라서, 지하수의 순환깊이 및 순환시간은 용천수보다는 긴 것으로 판단된다. 한편, 온천수의 순환깊이 및 순환시간은 각각 수 km와 수 백년이 될 것으로 추정된다. 이와 같이 용천수, 지하수 및 온천수의 순환경로와 순환시간이 서로 다르므로 이들의 화학 조성 역시 서로 뚜렷한 차이를 보일 것으로 판단된다. 본 연구에서는 이들의 수질조성을 서로 비로 비교하여 지하수의 순환에 따른 화학조성변화를 밝히고자 한다.

2. 물리화학적 특성과 용존성분의 함량

물리화학적 특성과 용존성분의 함량을 살펴보면, pH, EC, TDS, 온도 등은 지열수에서 가장 높고, 지하수, 용천수의 순으로 낮아지고 있다. 또한 HCO_3^- , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , F^- , SiO_2 등의 함량을 보면, HCO_3^- 와 Mg^{2+} 를 제외하고는 지열수에서 가장 높게 나타나고, 지하수, 용천수의 순으로 낮다. 이는 지열수가 더 긴 시간동안 암석과 반응하기 때문이다. NH_4^+ 와 NO_3^- 는 천부지층, 인위적인 오염 또는 대기 중으로부터 유래하므로 지하수와 용천수에서 더 높게 나타난다.

연구지역의 용천수, 지하수 및 지열수의 수질형을 파악하기 위해 Piper diagram에 수질을 도시해 본 결과 용천수 수질형은 Ca^{2+} - HCO_3^- 형과 Na^+ - HCO_3^- 형이 각각 반을 차지하고, 지하수는 대부분이 Ca^{2+} - HCO_3^- 형에 속하는 반면, 지열수는 Na^+ - Cl^- 형에 속한다. 지하수와 용천수에서 HCO_3^- 가 우세한 것은 장석의 용해 및 $\text{CO}_2(\text{g})$ 의 영향을 받고 있음을 지시한다. 그러나, 지열수는 지하 심부 암석 및 해수의 영향으로 Na^+ 와 Cl^- 이 우세하게 나타나며 따라서 Na^+ - Cl^- 형에 속하는 것으로 판단된다.

4. 물-광물 반응

물-암석 반응 모델링은 물-암석 반응에 의해서 생성 또는 소멸하는 2차 광물의 농도를 계산하여 지하수의 용존 화학성분을 결정하는 요인을 추정하는데 이용된다. 연구지역의 용천수, 지하수, 지열수에 존재하는 주요 화학종들의 특정한 광물에 대한 포화지수 값을 구해보면, 용천수와 지하수는 석영과 옥수에 대해서만 과포화 상태에 있고, 비정질 실리카, 돌로마이트, 시데라이트, 석고, 경석고, 아라고나이트, 방해석, 활석에 대해서는 불포화 상태에 있다. 반면에 지열수는 방해석, 아라고나이트, 석영에 대해서는 과포화상태에 있으며 옥수와 활석에 대해서는 과포화 또는 거의 포화상태에 있다. 불포화 광물들은 계속 용해될 수 있음을 의미한다

지하수와 특정광물들이 평형상태에서 공존할 수 있는 환경조건을 알기 위해서 $[Ca^{2+}/H^+]^2$, $[Mg^{2+}/H^+]^2$, $[Na^+/H^+]$, $[K^+/H^+]$ 의 대수값을 종축에 그리고 $[H_4SiO_4]$ 의 대수값을 횡축으로 하는 각 광물의 안정영역에 시료를 도시하였다. $[K^+/H^+]$ 와 $[H_4SiO_4]$ 의 그래프에서 보면, 용천수와 지하수의 경우에는 거의 대부분이 카올리나이트 안정 영역에 위치하는 반면 지열수는 미사장석 안정영역에 위치한다. $[Na^+/H^+]$ 와 $[H_4SiO_4]$ 의 그래프에서는 용천수, 지하수, 지열수 모두가 카올리나이트 안정영역에 속하지만, 지열수가 알바이트 안정영역 쪽에 더 가깝게 위치한다. $[Mg^{2+}/H^+]^2$ 와 $[H_4SiO_4]$ 의 그래프에서도 용천수, 지하수, 지열수 모두가 카올리나이트 안정영역에 속하며 피로필라이트 안정영역 쪽에 몰려있는 경향성을 보인다. $[Ca^{2+}/H^+]^2$ 와 $[H_4SiO_4]$ 의 그래프에서도, 용천수, 지하수, 지열수 모두가 카올리나이트 안정영역에 속하지만, 지열수가 상대적으로 로몬타이트 영역에 더 가깝게 위치한다(Helgeson et al., 1978; Bower et al., 1984).

5. 요인분석

용천수의 요인분석의 변수는 EC, SiO_2 , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- 이다. 요인분석 결과, 세 개의 요인이 추출되었으며, 요인 1은 EC, SiO_2 , Ca^{2+} , HCO_3^- 함량으로, 요인 2는 K^+ , Na^+ , Cl^- , NO_3^- 함량으로, 그리고 요인 3은 Mg^{2+} , SO_4^{2-} 함량으로 대표된다. 요인 1은 사장석의 용해와 관련되고, 요인 2는 유체포유물내의 소금 또는 오염의 영향으로 추정된다. 요인 3에 속하는 Mg^{2+} 와 SO_4^{2-} 간의 상관계수(0.5)가 높지 않은 것으로 보아 서로 다른 거동을 보이는 것으로 판단된다.

지하수의 요인분석의 변수는 pH, EC, SiO_2 , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , HCO_3^- 이다. 요인분석 결과, 역시 세 개의 요인이 추출되었으며, 요인 1은 pH, EC, Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} 및 NO_3^- 함량으로, 요인 2는 Ca^{2+} 및 HCO_3^- 함량으로, 그리고 요인 3은 Mg^{2+} , SiO_2 로 대표된다. 요인 1은 오염의 영향 및 정장석과 운모류의 용해를 지시한다. 요인 2는 주로 사장석 및 방해석의 용해의 영향으로 판단된다. 요인 3을 구성하는 Mg^{2+} 와 SiO_2 는 서로 독립적으로 거동할 가능성이 높다.

지열수의 요인분석의 변수는 pH, EC, SiO_2 , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , HCO_3^- 이다. 요인분석 결과, 세 개의 요인이 추출되었으며, 요인 1은 pH, EC, Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} 및 NO_3^- 함량으로, 요인 2는 Ca^{2+} 및 HCO_3^- 함량으로, 그리고 요인 3은 Mg^{2+} , SiO_2 로 대표된다. 요인 1은 오염의 영향, 정장석과 운모류의 용해 및 염수의 영향을 지시한다. 요인 2를 구성하는 Ca^{2+} 와 HCO_3^- 는 주로 사장석 및 방해석의 용해로부터 유래하는 것으로 판단된다. 요인 3을 구성하는 Mg^{2+} 와 SiO_2 는 서로 독자적으로 거동하는

것으로 추정된다.

6. 결론

HCO_3^- , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , F^- , SiO_2 등의 함량을 보면, HCO_3^- 와 Mg^{2+} 를 제외하고는 지열수에서 가장 높게 나타나고, 지하수, 용천수의 순으로 낮다. 지하수 및 지열수에서 Cu, Cd, Pb, Mn, Al, PO_4 는 거의 또는 전혀 검출되지 않았다.

용천수, 지하수 및 지열수 성분의 epm 비를 Piper diagram에 도시해 본 결과 용천수에서는 $\text{Ca}^{2+}-\text{HCO}_3^-$ 형과 $\text{Na}^+-\text{HCO}_3^-$ 형이 각각 반을 차지하고, 지하수는 대부분이 $\text{Ca}^{2+}-\text{HCO}_3^-$ 형에 속하는 반면, 지열수는 Na^+-Cl^- 형에 속한다

$[\text{Ca}^{2+}/\text{H}^+]^2$, $[\text{Mg}^{2+}/\text{H}^+]^2$, $[\text{Na}^+/\text{H}^+]$, $[\text{K}^+/\text{H}^+]$ 의 대수값을 종축에 그리고 $[\text{H}_4\text{SiO}_4]$ 의 대수값을 횡축으로 하는 각 광물의 안정영역에 시료를 도시한 결과, 용천수, 지하수 및 지열수의 거의 대부분이 카오리나이트 안정 영역에 위치한다.

요인분석에 의하면, 용천수, 지하수, 지열수 모두 3개의 요인으로 구분되며, 광물의 용해, 염수의 영향 및 오염의 영향을 나타내는 것으로 판단된다.

7. 요약

부산 금정산의 용천수(약수), 금정산, 동래구, 금정구일대의 지하수 그리고 동래온천 지열수간의 수질 특성 비교·연구를 위하여 16군데의 용천수, 21군데의 지하수 그리고 9군데의 온천수시료를 채취하여 현장분석과 실내 화학분석을 실시하였다. 분석된 결과를 이용하여, 물시료의 물리화학적 특성 및 시료들간의 용존물질 함량을 비교·분석하고, 용존물질의 함량에 의해서 수질형을 구분하였다. 그리고 물-암석 반응 모델링에 의해서 수질의 변화를 파악하였으며, 요인분석을 통하여 용존물질이 어떤 요인에 의해서 영향을 받고 있는지를 알아보았다.

참 고 문 헌

- 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.