

부산 서북부지역 지하수 및 지열수의 수리지화학적 특성

김정숙, 함세영, 한석중 성익환¹

부산대학교 지질학과,¹한국자원연구소 지구환경연구부

1. 서론

부산은 타 도시에 비해서 지하수 의존도가 큰 편이며, 다량의 지하수가 생활용수, 식수, 공업용수로 개발되고 있다. 부산 서북부지역(금정구와 동래구)에는 천 수백 개의 지하수공 뿐만 아니라 30여 개의 사용 중인 온천공이 분포하고 있다. 본 연구지역의 지질은 백악기 안산암과 불국사화강암으로 이루어져 있으며, 중앙으로 동래단층이 NNE방향으로 지나며 충적층이 이를 피복하고 있다(손치무외, 1978). 이 지역의 서부에는 불국사화강암으로 이루어진 금정산이 위치하고 있다. 따라서, 이 지역의 지하수 및 지열수의 수리지화학적 특성은 화강암이나 안산암과 밀접한 관련을 가지고 있다.

본 연구에서는 화강암 및 안산암과 관련된 지하수 및 지열수의 수리지화학적 특성을 규명하고자 하였다. 또한, 지하수 수질에 오염의 영향이 있는지를 알아보고자 하였다.

2. 물리적 특성 및 용존 물질 함량 분포

지하수공의 심도는 대부분 100~150m이며 지열수공(온천공)의 심도는 210m정도이다. 지하수의 pH는 5.33~7.41의 범위로 나타나는데 비해 지열수는 7.65~8.0의 범위로 지하수에 비해 높게 나타난다. 화강암지역에서 일반적으로 수소이온은 광물을 용해시키면서 소모되므로, 천부지하수에 비해 지열수에서 수소이온의 농도가 낮게 나타난다. 총고용물(TDS), 전기전도도(EC) 및 온도(50.6~66.4℃)가 지하수보다 지열수에서 훨씬 높게 나타나는데 이는 지열수가 지하수보다 훨씬 깊은 곳(적어도 2~3km)에서 상승하면서 많은 광물질을 용해시켰기 때문이다. 주 구성성분(SiO_2 , Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-}) 역시 지열수에서 높은 함량을 보인다.

본 연구지역의 지하수와 지열수에 대한 일반적인 수질을 비교하기 위해 piper diagram에 도시해 본 결과 지하수는 거의 대부분이 Ca^{2+} - HCO_3^- 형에 속하지만, 지열수는 Na^+ - Cl^- 형에 속한다. 이는 Ca^{2+} 이온은 심부로 갈수록 포화

지 과포화상태로 되고, Na⁺이온과 Cl⁻이온의 농도는 증가하게 때문이다.

3. 물-광물 평형

물-암석 반응 모델링은 이온의 활동도, 포화지수, 물-암석 반응에 따라서 형성 또는 소멸하는 2차 광물의 농도를 계산하여 지하수의 용존 화학성분을 결정하는 요인을 추정하는데 있다.

본 역의 지하수와 지열수에 대한 방해석의 포화지수는 지하수의 경우 모두 불포화상태인데 반해 지열수에서는 한 곳을 제외하고 모두 과포화상태이다. 이는 장석이 용해될 때 천부에서는 Ca²⁺와 HCO₃⁻ 이온이 불포화 상태에 있으므로 침전이 일어나지 않으나, 심부의 지열수에서는 과포화상태에 있으므로 침전이 일어나는 것을 의미한다. 석고의 포화지수는 전체적으로 매우 낮으며 지하수와 지열수 모두 불포화상태에 있다.

특정광물들이 평형상태에서 공존할 수 있는 환경조건을 이해하거나 또는 특정 환경에서 광물이 안정할 수 있는지의 여부를 규명하기 위해 광물상 안정 영역을 도시한 결과, 일부 지열수를 제외하고 모두 kaolinite의 안정영역에 도시되었다(Robie et al., 1979).

4. 요인분석

기반암의 화학 조성과 지하수 및 지열수의 화학조성의 관련성을 규명하기 위해서 상관분석과 요인분석을 실시하였으며 요인추출 모델은 PCA(Principal Component Analysis)방식을, 공통인자의 수는 1이상의 고유치(eigenvalue)를 택하였고 varimax 직각 회전방식으로 분석하였다.

우선 지하수에 대한 분석결과를 살펴보면, 요인은 3개로 나타나며, 요인 1은 EC, Mg²⁺, NH₄⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻로 나타나며 이는 기반암과의 반응에 의한 것이라기 보다는 인위적인 오염원에 의한 가능성이 큰 것으로 볼 수 있다. 요인 2는 Na⁺, Ca²⁺, HCO₃⁻로 기반암의 주 구성광물인 사장석의 용해(Na⁺, Ca²⁺)와 천부 토양층에 풍부한 CO₂의 용해로 설명할 수 있으며, 요인 3은 SiO₂와 K⁺로 두 이온의 상관계수가 높지 않은 것으로 보아 서로 다른 거동으로 보이며, K⁺는 장석의 용해에 의해, SiO₂는 장석 및 점토광물의 형성 등의 반응에 관련된다.

지열수에 대한 통계분석 결과는 요인이 2개이며, 요인 1은 EC, Na⁺, Ca²⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻로 주로 장석류의 용해와 황화광물의 산화작용으로 설명되고, 요인 2는 SiO₂, Mg²⁺, HCO₃⁻로 각 이온간의 상관계수가 낮게 나타나므로 서로 다른 거동으로 보이는 것으로 보인다.

5. 결론

심부의 지열수는 높은 온도로 인해서 천부에 해당하는 지하수의 주 구성성분에 비해 그 함량이 높게 나타나며, 지하수와 지열수의 일반적인 수질을 비교하기 위해 piper diagram에 도시해 본 결과 지하수는 거의 대부분이 $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3$ 형에 속하지만, 지열수는 $\text{Na}^+\text{-Cl}$ 형에 속한다. 지하수와 기반암의 성분을 비교해 본 결과, 기반암의 특성을 반영하는 수질특성을 보이고 있으며, 오염의 영향도 받고 있는 것으로 나타난다. 지화학모델링의 결과에서는 방해석과 아라고나이트는 지하수에서는 불포화상태로, 지열수에서는 과포화상태로 나타나며, 이는 방해석과 아라고나이트가 천부에서 심부로 갈수록 포화내지 과포화되는 것을 의미한다. 통계분석에서는 지하수의 경우 인위적인 오염과 기반암의 주 구성광물인 장석의 용해 및 점토광물의 형성에 의한 영향으로 설명할 수 있으며, 사장석, CO_2 및 정장석의 용해와 다른 규산염광물의 용해와 2차 점토류의 형성을 요인으로 하며, 지열수의 용존성분은 주로 장석류의 용해와 황화광물의 산화작용을 주된 요인으로 설명할 수 있다.

6. 요약

부산시 서북부 지역의 지하수와 지열수의 수리지구화학적 특성을 고찰하고 물-암석 반응을 통해 지하수와 지열수의 지화학적 특성이 어떻게 변하는지를 규명하고자 하였다. 또한, 지열수와 일반 지하수와의 상호 관련성을 통계분석과 지화학모델링 등을 이용하여 분석하였다. 부산 서북부지역에 분포하는 지하수공과 온천공을 대상으로 물 시료를 채수하여 현장분석과 실내분석을 실시하였다. 수질성분값을 이용하여 물리적 특성 및 용존 물질 함량 분포를 분석하였으며, 통계분석(상관분석, 요인분석 등)을 통하여 용존성분을 지배하는 요인을 분석하였다. 그리고, 물-암석 반응 모델링을 통하여 이 지역 기반암(화강암 및 안산암)과 지하수 및 지열수간의 지화학적 반응을 고찰하였다.

참 고 문 헌

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

Robie, R.A., B.S. Hemingway, and J.R. Fisher, 1979, Thermodynamic properties of minerals and related substances at 298.15 K and 1 bar(105 pascals) pressure and at higher temperatures, U.S. Geol. Surv. Bull., 1452, 456p.