

함세영¹, 심형수, 조명희, 성익환¹, 이병대¹, 조병욱¹부산대학교 지구환경시스템과학부, ¹한국자원연구소 지구환경연구부

1. 서론

해운대온천은 동래온천과 함께 우리나라의 가장 유명한 온천 중의 하나이다. 해운대온천은 해운대 해수욕장 바로 옆에 위치하고 있으므로 관광산업의 측면에서도 매우 유리하다. 이렇게 전국적으로도 뛰어난 온천자원을 잘 보전하기 위해서는 온천수의 수질과 수량을 잘 감시하여 온천수의 질적 및 양적 저하가 일어나지 않도록 방지하는 것이 최선의 길이다.

이러한 측면에서 본 연구에서는 해운대지역에서 산출하는 지하수와 온천수(지열수)를 대상으로 수리지화학적 특성을 파악하고 지열수와 지하수의 화학적 특성을 비교하였으며, 지열수의 화학적 특성을 통하여 지하 심부의 지열계(geothermal system)를 규명하는 정보들을 얻고자 하였다. 이를 위하여 1999년 4월과 8월 2회에 걸쳐 현장분석을 실시하였으며 1999년 4월에는 실내분석용 물시료를 채취를 채취하여 현장분석과 실내분석을 수행하였다. 시료채취지점 및 시료번호는 해운대온천의 8개 업소(양탕장, 송도탕, 글로리탕원, 파라다이스호텔, 하이아트 호텔, 해운온천 호텔, 조선비치 호텔, 청풍탕)로부터 8개 지열수 시료(HH1~HH8) 그리고 송정동, 좌동, 중동, 우동, 재송동, 반여동에서 14개 지하수 시료(SJ1, CW1, CW2, CW3, CW4, CU1, CU2, CU3, W1, W2, W3, CS1, CS2, PY1)이다.

2. 지형 및 지질

연구지역은 부산시해운대온천 및 그 주변지역이며 서북측에 장산(해발 634m)이 위치하고 북측에 구곡산, 북동쪽에 부흥봉이 위치하고 있다. 연구지역 우측에는 북북동 방향의 일광단층이 지나가며 그것으로 인해 소규모의 단층들이 발달하고 있는 것으로 보인다(손치무외, 1978).

조사지역의 지질은 백악기 유천층군에 속하는 이천리층 및 이를 관입 또는 분출한 안산암질암류와 유문암, 래피리웅회암, 유문반암으로 구성되며, 저지대는 제4기 충적층으로 피복되어 있다.

3. 용존물질의 함량 및 수질특성

Cl⁻ 함량은 지하수의 경우 15.2~74.5mg/l(평균 32.8mg/l)를 보이는 반면, 지열수의 경우는 1080~6250mg/l(평균 2361gm/l)로 지하수보다 훨씬 높다. SO₄²⁻의 함량은 지하수의 경우 1.94~59.5mg/l(평균 20.50mg/l)의 값을 보이고, 지열수는 162~778mg/l(평균 263.88mg/l)를 보인다. HCO₃⁻의 함량은 지하수의 경우 46.18~113.9mg/l(평균 78.06mg/l)를 나타내고 있으며, 지열수의 경우에는 24.63~64.65mg/l(37.71mg/l)를 가진다. 지하수의 Na⁺ 농도는 11.10~40.9mg/l(평균 20.99mg/l)이며, 지열수의 경우에는 214~2250mg/l(평균

905mg/l)를 보인다. Ca^{2+} 의 함량은 지하수의 경우 13.7~78.9mg/l(평균 37.455mg/l)를 보이는 반면, 지열수의 경우에는 30.7~65.2mg/l(53.734mg/l)를 보이고 있다. K^+ 의 함량 지하수의 경우 0.8~5.31mg/l(평균 2.13mg/l)를 보이며, 지열수의 경우 5.9~35.3mg/l(평균 23.7mg/l)를 가진다. SiO_2 는 지하수의 경우 32.7~54.5mg/l(평균 43.71mg/l)를 나타내며, 지열수의 경우에는 25.4~72.3mg/l(평균 56.44mg/l)을 나타내고 있다. 지하수의 Mg^{2+} 의 함량은 1.98~9.34mg/l(평균 6.44mg/l)이고, 지열수의 경우는 0.16~136mg/l(평균 18.95mg/l)을 보인다. NO_3^- 함량은 지열수보다 지하수에서 더 높게 나타나지만, 그 양은 지하수의 경우 평균 2.88mg/l, 지열수는 평균 0.19mg/l로서 오염의 영향은 크지 않은 것으로 판단된다. 그 외에 Cd, Pb, Mn, Al, SiO_2 , PO_4 는 거의 검출되지 않았다.

연구지역의 지하수 및 지열수의 수질형을 파악하기 위해 Piper diagram에 주성분을 도시해 본 결과, 지하수는 대부분이 $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ 형에 속하는 반면, 지열수는 $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$ 형에 속한다. 지하수에서 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 $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$ 형에 속하는 것으로 판단된다.

4. 물-광물 반응 모델링

물-암석 반응 모델링에 의해서 지하수와 특정광물들이 평형상태에서 공존할 수 있는 환경조건을 알기 위해서 $[\text{Ca}^{2+}/\text{H}^+]^2$, $[\text{Mg}^{2+}/\text{H}^+]^2$, $[\text{Na}^+/\text{H}^+]$, $[\text{K}^+/\text{H}^+]$ 의 대수값을 종축에 그리고 $[\text{H}_4\text{SiO}_4]$ 의 대수값을 횡축으로 하는 각 광물의 안정영역에 시료를 도시한 결과 지하수 및 지열수 모두 카오리나이트, 알바이트 또는 피로필라이트 안정 영역에 위치한다 (Helgeson et al., 1978; Bower et al., 1984).

5. 지온계에 의한 지하온도추정

Giggenbach(1988)에 의한 $\text{Na}/1000$, $\text{K}/100$ 및 $\sqrt{\text{Mg}}$ 의 삼각형 다이어그램에 지열수 시료를 도시한 결과, Na/K isothermal line의 140~170°C범위에 도시되는 것을 알 수 있다. K/Na 값의 변화가 일어나고 있는 것은 지열수 그룹이 K와 Na사이에 부분적으로 불균형이 일어난 것이며 그 원인은 지하 천부의 Na가 지하수와 혼합에 기인한 것으로 여겨진다. Anorsson(1985)의 Na-K 지온계, 104~141°C, Fournier(1983)의 Na-K 지온계는 116~148°C, Giggenbach 외(1988)의 Na-K 지온계는 137~168°C이다. 따라서, 지하 심부의 지열수층의 온도는 140~150°C 정도로 추정된다.

6. 결론

지하수 및 지열수의 Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , SiO_2 , Mg^{2+} , NO_3^- 함량을 비교해본 결과, HCO_3^- 와 Mg^{2+} 를 제외하고는 지열수의 농도가 지하수보다 높았다. 지하수 및 지열수에서 Cd, Pb, Mn, Al, SiO_2 , PO_4 는 거의 검출되지 않았다.

Piper diagram에 물시료를 도시해 본 결과, 지하수는 대부분이 $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ 형에 속하는 반면, 지열수는 $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$ 형에 속한다.

$[Ca^{2+}/H^+]^2$, $[Mg^{2+}/H^+]^2$, $[Na^+/H^+]$, $[K^+/H^+]$ 의 대수값을 종축에 그리고 $[H_4SiO_4]$ 의 대수값을 횡축으로 하는 각 광물의 안정영역에 시료를 도시한 결과 지하수 및 지열수 모두 카오리나이트, 알바이트 또는 피로필라이트 안정 영역에 위치한다(Helgeson et al., 1978; Bower et al., 1984).

지온계에 의한 지하온도추정결과, 지하 심부의 지열수층의 온도는 140~150°C 정도로 추정된다.

7. 요약

해운대지역의 8개 온천업소(양탕장, 송도탕, 글로리탕원, 파라다이스호텔, 하이아트 호텔, 해운온천 호텔, 조선비치 호텔, 청풍탕)로부터 8개 지열수 시료 그리고 송정동, 중동, 우동, 재송동, 반여동에서 14개 지하수 시료를 채취하여 현장 및 실내분석하였다. 분석된 결과를 이용하여, 지하수와 지열수의 물리화학적 특성 및 시료들간의 용존물질 함량을 비교·분석하고, 용존물질의 함량에 의해서 수질형을 구분하였다. 그리고 물-암석 반응 모델링에 의해서 수질의 변화를 파악하였다. 마지막으로, Na-K, Na-K-Ca 지온계 등을 이용하여 지하 심부 지열수층의 온도를 추정하였다.

참 고 문 헌

- 손치무, 이상만, 김영기, 김상욱, 김형식, 1978, 동래·월내도폭(1:50000) 및 설명서, 자원개발연구소.
- Arnorsson, S., 1983, Chemical equilibria in Icelandic geothermal systems—Implications for chemical geothermometry investigations, *Geothermics*, 12, 119-128.
- Bowers, T. S., K. J. Jackson and H. C. Helgeson, 1984, Equilibrium activity diagram, Springer-Verlag, Berlin, p. 397.
- Fournier, R. O., 1983, A method of calculating quartz solubilities in aqueous sodium chloride solutions, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, 579-586.
- Giggenbach, W. F., 1988, Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52, 2749-2765.
- Giggenbach, W. F., Gonfiantini, R., Janji, B. L., and Truesdell, A. H., 1983, Isotopic and chemical composition of Parbati Valley geothermal discharges, NW-Himalaya, India, *Geothermics*, 12, 199-222.
- 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.