

문경지역 탄산온천수의 지구화학적 및 동위원소적 특성연구

배대석 · 최현수 · 고용권 · 박맹언* · 정윤희*

한국원자력연구소 심부지질환경특성연구분야
*부경대학교 환경지질학과
(e-mail: choihs@kaeri.re.kr)

ABSTRACT

The hydrogeochemical and isotopic studies on deep groundwater in the Munkyeong area, Kyeongbuk province were carried out. CO₂-rich groundwater (Ca-HCO₃ type) is characterized by low pH (5.8~6.5) and high TDS (up to 2,682 mg/L), while alkali groundwater (Na-HCO₃ type) shows a high pH (9.1~10.4) and relatively low TDS (72~116 mg/L). CO₂-rich water may have evolved by CO₂ added at depth during groundwater circulation. This process leads to the dissolution of surrounding rocks and Ca, Na, Mg, K and HCO₃ concentrations are enriched. The low P_{CO2} (10^{-6.4}atm) of alkali groundwaters seems to result from the dissolution of silicate minerals without a supply of CO₂.

The δ¹⁸O and δD values and tritium data indicate that two types of deep groundwater were both derived from pre-thermonuclear meteoric water. The carbon isotope data show that dissolved carbon in the CO₂-rich water was possibly derived from deep-seated CO₂ gas. The δ³⁴S values of dissolved sulfate show that sulfate reduction occurred at great depths. The application of various chemical geothermometers on CO₂-rich groundwater shows that the calculated deep reservoir temperature is about 130~175°C. Based on the geological setting, water chemistry and environmental isotope data, each of the two types of deep groundwater represent distinct hydrologic and hydrogeochemical evolution at depth and their movement is controlled by the local fracture system.

Key words : Groundwater, hydrochemistry, isotope, CO₂-rich water, evolution

I. 서론

경북 문경지역은 최근에 암갈색 탄산염 침전물을 수반한 다량의 CO₂ 가스를 함유한 탄산온천수의 개발로 인하여 온천휴양지로 각광을 받고 있으며, 대규모 관광단지 조성의 일환으로 1995년도에 굴착된 탄산온천공과 추가적인 탄산온천공이 개발 중에 있다. 이와 더불어 탄산온천지역 주변에서는 pH가 9 이상인 알칼리온천수가 산출되고 있다. 탄산온천공과 알칼리온천공은 모두 화강암을 모암으로 하며, 550m 이상의 심도를 갖고 있다. 탄산온천수와 알칼리온천수는 약 30°C 내외의 채수온도를 보이며, 온천공조사자료에 의하면 온천수 산출지역은 약 2.1 ~ 2.4°C/100m의 지열구배를 나타낸다.

본 연구는 국내에 분포하는 탄산수를 포함한 심부지하수에 대한 지구화학적 연구의 일환으로 수행되었으며, 탄산수의 지구화학적 특성과 환경동위원소 (¹⁸O, ²H, ³H, ³⁴S) 특성을 제시하고 탄산온천수의 지구화학적 진화과정 및 생성환경을 해석하였다.

II. 결과

1. 수리화학적 특성

TDS의 함량은 탄산수가 400 ~ 2,682mg/L이며, 알칼리온천수는 72 ~ 116mg/L이다. 탄산수중 주요 양이온에는 Ca와 Na가 우세하게 나타나면서 K, Mg 등이 다양하게 분포하는 특성을 보여주며, 음이온중에는 HCO₃만이 우세한 특징을 보여준다. 탄산수는 Ca-HCO₃ 유형에 속하는 반면, 알칼리온천수는 Na-HCO₃ 유형으로 뚜렷이 구분된다. 탄산수는 특징적으로 높은 Ca 함량 (최대 492mg/L)을 보이며, 높은 Ca 함량의 원인으로서는 두 가지를 고려할 수 있다. 첫째로는 탄산염광물의 용해가 있지만, 이산화탄소의 분압이나 용존 이온함량 특성을 근거로 할 때 타당하지 않다. 둘째로는 화강암내 사장석의 용해를 고려할 수 있으며, 탄산수내 높은 Ca/Na 비를 Stober and Bucher (1999)는 albite와 anorthite간의 용해도 차이에서 기인한다고 해석한 바 있다.

2. 동위원소적 특성

문경지역 자연수의 산소 및 수소 동위원소 조성은 -10.6 ~ -8.3‰ 및 -83.2 ~ -59.5‰의 범위를 보여주지만, 각 유형별로 고유한 값의 범위를 나타내며, 세계적인 순환 강우선 (Craig, 1961)에서 크게 벗어나지 않고 평행하게 도시되어 모두 순환수 기원임을 나타낸다. 또한 탄산수는 알칼리온천수에 비해서도 낮은 동위원소 조성을 보이고 있어 알칼리온천수보다 더 심부로 순환하는 지하수임을 지시하고 있다.

탄산수와 알칼리온천수의 삼중수소 함량은 거의 0TU에 가까운 값을 보여주며, 국

내 강수의 삼중수소 함량을 고려하면 (고용권 등, 1999), 지하에서 최소 약 50년 이상 체류한 물임을 알 수 있다. 오랜 체류시간은 지하수의 심부 순환을 지시해주며, 따라서 심부 순환 중에 지각 하부로부터 CO₂ 가스가 공급되었을 가능성을 지시한다.

탄산수, 알칼리온천수, 혼합지하수, 천부지하수의 용존 탄소에 대한 동위원소 값 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{TOT}}$)은 각각 -7.8 ~ -2.7‰, -14.8‰, -6.5‰, -16.1 ~ -6.4‰로서 물의 유형에 따라 서로 다른 값을 나타낸다. 지하수내 탄소의 기원으로서는 대기, 유기물과의 반응, 탄산염 광물과의 반응, 심부기원 (변성작용 또는 마그마 가스)의 이산화탄소가 있다. 마그마 기원의 이산화탄소의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 -10.3 ~ -3‰ (Anderson, 1987; Deines and Gold, 1973)로서 문경지역 탄산수의 $\delta^{13}\text{C}$ 값과 유사한 값을 보여 탄소 동위원소 결과만으로는 심부기원 이산화탄소의 기원으로서 변성작용 또는 마그마 기원인지는 구분할 수 없다. 반면 알칼리온천수는 심부지하수 입에도 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 -14.8‰로서 유기물 기원의 이산화탄소가 크게 기여하고 있음을 보여준다.

문경지역 자연수내 용존 SO₄의 황동위원소 조성 ($\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$)은 유형별로는 탄산수와 혼합지하수는 각각 +6.1 ~ +12.2‰, +24.7‰로 특이하게 혼합지하수의 $\delta^{34}\text{S}$ 값이 탄산수에 비해 높게 나타나 탄산수와 혼합지하수에 용존되어 있는 황산염-황의 기원이 다르거나 황 동위원소 분별작용이 상이했음을 지시한다.

탄산수에 대한 석영 지온계의 적용결과는 72 ~ 159℃를 보여주며, Na-K 지온계는 실리카 지온계와 비교하여 다소 높은 값을 보여준다. 다성분계의 평형상태를 이용한 온도추정을 위해 SOLVEQ 컴퓨터 프로그램 (Reed, 1982)을 이용하였으며, 대표적인 탄산수에 대해 적용한 결과 실리카 및 Na-K 지온계에서 계산한 결과 비교적 일치하는 결과를 보여주었다.

III. 토의 및 결론

문경지역에서 산출되는 탄산수는 낮은 pH와 높은 이온함량을 보이는 것이 특징이며, 화학적으로는 Ca-HCO₃ 형을 보여주는 반면 알칼리온천수는 높은 pH를 보이며 Na-HCO₃에 해당한다. 탄산수의 형성과정은 심부로 순환하는 지하수가 심부로부터 CO₂ 가스의 공급을 받고 이의 결과로 활발한 물-화강암 반응이 진행되었으며 단열대를 따라 지표로 유동한 것으로 사료된다. 산소 및 수소 동위원소 결과는 탄산수는 심부로 순환하는 지하수에 의해 형성되었음을 뒷받침해주며, 탄소 동위원소 결과는 심부기원의 이산화탄소 기원과 일치하고 있다. 이와는 달리 알칼리온천수는 탄산수와 인접하게 산출됨에도 불구하고 상이한 지화학적 특성을 보여준다. 이는 심부지하수의 유동을 지배하는 문경지역의 단열특성과 연관지을 수 있으며 이러한 심부지하수의 유형은 심부로부터 이산화탄소의 공급여부에 지배를 받는다고 할 수 있다

참 고 문 헌

- 고용권, 배대석, 김천수, 김건영 (1999) 포항 및 대전지역 강수의 삼중수소 함량, 지하수환경, 6, p. 129-132.
- Anderson, T. (1987) Mantle and crust components in a carbonatite complex and the evolution of carbonatite magma: REE and isotopic evidence from the Fen complex, southeast Norway, Chem. Geol., 65, p. 147-166.
- Craig, H. (1961) Isotopic variations in meteoric water, Science, 133, p. 1702-1703.
- Deines, P. and Gold, D. P. (1973) The isotopic composition of carbonatite and kimberlite carbonates and their bearing on the isotopic composition of deep-seated carbon. Geochim. Cosmochim. Acta, 37, 1709-1733.
- Reed, M. H. (1982) Calculation of multicomponent chemical equilibria and reaction processes in systems involving minerals, gases and an aqueous phase, Geochim. Cosmochim. Acta, 46, p. 513-528.
- Stober, I. and Bucher, K., 1999, Deep groundwater in the crystalline basement of the Black Forest Region, Appl. Geochem., 14, p. 237-254.