

포천 지역 암반지하수의 수리지구화학적 특성

채기탁¹⁾ · 윤성택¹⁾ · 김이섭¹⁾

경기도 포천군 일동면 일대에 부존하는 심층지하수(12개소, 심도 170~1,004m), 천층지하수(16개소, 심도 20~250m), 지표수(3개소)를 대상으로 이화학 및 환경동위원소(O, H, C, S) 분석 연구를 수행하였다. 평형열역학 모델링을 통하여 수/암 반응을 밝히고, 특히 환경동위원소를 포함한 질량 보존 모델링을 통하여 용존 탄소와 용존 황의 진화 모델을 제시하였다. 아울러, 지하 수문계의 수리적 부존 특성 규명에 도움이 되고자 최근의 M3 모델링(다변량 통계 분석, 혼합 모델, 질량 보존 모델을 함께 적용하는 것)을 수행하였다.

연구지역 유형별 자연수의 산소 및 수소 동위원소 자료는 모두 순환 강우 기원임을 지시한다. 다만, 심층지하수의 O-H 동위원소 함량비가 천층지하수에 비해 상대적으로 낮은 것은 심층지하수가 상대적으로 높은 지역에서 충전되어 심부 순환하였음을 지시한다. 심층지하수는 심부 순환에 따라 상대적으로 긴 체류시간 동안 충분한 수/암 반응을 한 결과로 Na, Li, Ba, Cl, F, HCO₃, H₂S 등의 함량이 특징적으로 증가하며, Ca와 SO₄ 함량은 현저히 감소하고 있다. 광물의 포화지수와 상안정도에 대한 열역학적 해석 결과, 심층지하수에서는 방해석의 용해/침전 반응이 동적 평형 상태에 놓여 있으며, 사장석 등 주요 조암광물의 용해 반응도 거의 평형에 접근하고 있다. 심층지하수는 Eh의 감소와 더불어 SO₄ 함량의 감소와 H₂S 함량의 증가를 나타내는데, 이는 용존 황의 거동이 미생물이 관여하는 황산염 환원반응에 의해 지배되고 있음을 지시한다. 실제로 심층지하수의 황동위원소비(0.9~16.4‰)는 천층지하수(-2.3~0.3‰)에 비해 높은 값을 보인다. Na-HCO₃ 유형으로 특징되는 심층지하수에서는 Ca 함량의 감소가 뚜렷한데, 이는 동적 평형상태에서의 방해석 침전 반응의 결과 또는/그리고 이차적으로 생성된 점토광물과의 양이온 교환 반응의 결과로 해석된다. 용존 탄소에 대한 탄소동위원소 분석 결과, 심층지하수의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 -14.4~-11.0‰로서 천층지하수(-19.0~-16.6‰)에 비해 높았다. 탄소동위원소 질량보존식을 적용한 결과, 이러한 탄소동위원소 조성 변화는 CO₂ 공급에 의한 방해석의 지속적 용해(지표수로부터 천층지하수) 또는/및 규산염광물의 수화반응과 Ca 이온의 교환 반응(심층지하수)에 의한 결과로 판명되었다.

수리지구화학적 진화 경향을 수리적 부존 특성과 결부지어 종합적으로 나타내기 위하여 M3 모델링을 수행한 결과, 연구지역의 심층/천층 지하수계는 크게 3개의 수체(각각 PCs-2, Pcw-1, PCd-3로 대표) 사이의 다양한 비율의 혼합으로 설명될 수 있다. 또한 혼합과 더불어 규산염광물의 수화반응에 수반된 이차 규산염광물의 침전반응 및 방해석의 용해/침전 반응이 동적 평형에 놓이게 된다. 지질단면도상에 다변량 통계에 의해 도출된 1차 주성분(Na와 HCO₃의 함량 증가와 Ca와 NO₃의 함량 감소로 대표되는, 즉 심층지하수를 대표하는 성분)의 분포를 도시함으로써, 조사 지역 지하수계의 수리적/수리화학적 부존특성을 제안하였다. 특이하게도 천층 지하수인 PCd-1 지역에서 심층지하수의 특성을 나타내는바, 이는 본 지역 지하수계의 수리적 특성과 연관될 것으로 생각된다.

주요어: 포천, 암반지하수, 수리지구화학, 환경동위원소, 규산염 수화반응, 이온교환반응, 황산염 환원반응, M3 모델링

1) 고려대학교 지구환경과학과