

KURT 주변 화강암반 지하수 내 고농도의 불소 및 우라늄의 기원 및 거동

김은영, 권장순, 김진영, 고용권

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번지 111

keyzz@kaeri.re.kr

1. 서론

심부 암반지하수의 수질은 강우가 지표에서 지하로 이동하면서 발생하는 물-암석반응의 결과이며, 암석의 종류에 따라 지질기원의 우라늄(U), 불소(F) 등의 성분들이 지하수에 용해될 수 있다. 본 연구는 화강암을 기반으로 하는 지하수 내 고농도의 불소 및 우라늄의 산출에 대한 수리지구 화학적 환경을 이해하기 위하여 다변량 분석을 통계 화강암 기반 지하수의 수질 특성을 평가하고 이들의 거동 해석 및 농도를 제어하는 인자들을 분석하고자 하였다.

2. 본론

2.1 연구방법

2.1.1 연구지역

연구지역의 지질은 유라기의 중립질 복운모화강암으로서 국지적으로 미약하게 편상조적을 보이기도 하나 연구지역 남서부에 분포하는 편상화강암과는 관계가 불명확하다. 대전도폭에서는 편상화강암을 유라기의 편마상 화강암으로 기재하였고 복운모화강암과 동일 마그마에서 유래된 것으로 보았다[1].

2.1.2 시료 채취 및 분석

한국원자력연구원의 지하처분연구시설(KURT)과 주변 관측공(Y-1, Y-4, D-1)을 대상으로 시료(103개)를 채취하였다. 각 심부시추공은 다중패커시스템을 설치하여 현장에서 지하수 샘플 챔버를 이용하여 대기와의 접촉이 차단된 상태에서 온도, pH, EC, DO, Eh를 측정하고 시료를 채취하였다. 모든 시료는 0.45 μ m 셀룰로즈 막필터로 여과하여, 양이온과 음이온의 분석은 각각 ICP-AES와 IC를 이용하였다. 양/음이온 분석은 물의 전하 균형 오차 $\pm 5\%$ 이내로 분석의 신뢰도를 보였다.

2.1.3 다변량 통계 분석

다변량 통계분석은 최소한의 정보손실을 유지하면서 변수와 케이스의 차원(dimension)을 줄이는 통계분석 체계이다. 본 연구에서는 화학적 성분들의 특성 및 상관성을 평가하기 위하여 통계 프로그램 SPSS 12.0을 사용하여 다변량 통계분석(요인 및 군집분석)을 수행하였다.

통계분석에는 현장측정항목과 이화학분석 자료가 모두 사용되었으며, 성분농도가 분석한계치 이하인 자료에 대해서는 DL/2의 값으로 환산하여 통계분석을 실시하였다[2]. 또한, 각각의 변수가 정규분포를 이루게 하기 위하여 대수변환을 하여 분석에 이용하였으며, 군집분석에서는 데이터나 다중공선성의 오류를 줄이기 위해 지하수 성분농도가 아닌 요인 점수값(Factor score)으로 분석을 실시하였다[3].

2.2 지구화학적 특성

화강암을 기반으로 하는 연구지역 내 지하수 시료에 대한 수질의 유형은 심도별로 Ca(Na)-HCO₃형에서 Na-HCO₃형의 변화하는 양상을 보인다. 수질분석 결과, 화학조성 중 일부시료에서 불소와 우라늄의 함량이 높게 나타나고 있으며, 불소의 경우 0.6~13.7mg/L(평균 7.7mg/L)의 범위를 보이며 심도가 증가함에 따라 그 함량이 증가하는 경향을 보인다. 국내 화강암지역 지하수에서 고불소 함량에 대해 보고되고 있으며, 심도별 불소함량의 증가는 물-암석 반응 정도를 지시하고 있다. 우라늄의 경우 0.1 μ g/L에서 최대 2,668 μ g/L(평균 140 μ g/L)의 함량을 보이며, 이는 연구지역 화강암 내 포함된 함우라늄 광물기원으로 추정된다.

2.3 상관 및 요인분석

연구지역 내 지하수 성분들의 상관성을 평가하기 위하여 Spearman's rank correlation을 적용하여 상관분석을 수행하였다. 불소는 심도, Ca²⁺, Na⁺, CO₃⁻, B과는 높은 양/음의 상관성(> ± 0.72)을 갖고 우라늄의 경우 pH, Na, SiO₂와 높은 상관성(> ± 0.72), HCO₃⁻, Mg²⁺, Mn과는 중간 정도

의 양의 상관성(0.66~0.53)을 갖는다. 반면 불소와 우라늄 모두 지표 오염 물질 기원인 Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- 와는 매우 낮은 상관성(0.34~0.06)을 보여 본 연구지역의 불소와 우라늄은 지질기원임을 확인할 수 있다.

요인분석 결과, 요인 1의 고유값은 약 8.9로 요인 6개 중 가장 큰 비중을 차지하며 전체 분산에 대한 해석에 있어서 주요한 변수로 양의 값을 보이는 Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Sr 등과 음의 값을 보이는 pH, Na^+ , SiO_2 등의 함량으로 규제된다 (Fig 1). 요인 2의 고유값은 3.1로 양의 값을 보이는 심도, T, Na^+ , F, B와 음의 값을 보이는 Ca^{2+} , U, SO_4^{2-} 등 함량으로 규제되는데 이 성분들은 모두 고농도의 불소의 영향인자로 설명된다.

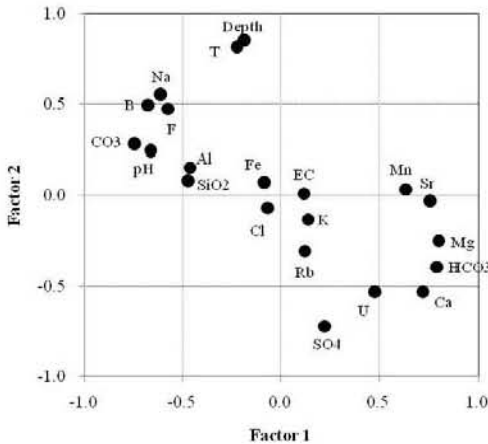


Fig 1. Factor loading diagram for variables, factor 1 vs. factor 2.

2.4 군집분석

군집분석 결과에서 도출된 Dendrogram에 의하면 연구지역 지하수는 크게 4개의 그룹으로 구분된다. 그룹 1과 3은 대부분 Y-1, 4의 심부 지하수에 해당하고 Na-HCO₃형의 지화학 특성을 보인다. 특히 Na⁺와 SiO₂, F의 함량이 높게 나타나며, 이는 물-암석 반응의 영향을 받고 있음을 지시한다. 그룹 2는 Na(Ca)-HCO₃형의 지하수로 특징적으로 우라늄의 함량이 높은 그룹이다. 그룹 4는 대부분이 Ca(Na)-HCO₃형인 천부 지하수로 Ca²⁺와 지표 오염 기원인 Cl⁻로 특징 지어진다. 그룹 간 불소의 함량 증가에 따라 수질 특성은 Ca(Na)-HCO₃ 유형에서 Na-HCO₃ 유형으로 진화

하는 경향이 뚜렷하다.

3. 결론

화강암 기반 지하수의 수질 특성을 평가하고 지하수내 불소 및 우라늄의 산출 경향을 파악하기 위하여 다변량 통계분석을 실시하였다. 연구대상 지하수 중의 불소와 우라늄의 평균 농도는 각각 7.7mg/L, 140µg/L으로 매우 높다. 다변량 통계 분석 결과, 불소의 경우 Na-HCO₃ 형의 지하수에서 심도와 Na⁺, SiO₂와 높은 상관성을 보여 물-암석반응 정도의 영향을 받는 것으로 판단된다. 우라늄의 경우 Na(Ca)-HCO₃ 형의 지하수에서 고함량이 관찰되며, 이는 화강암내 함유우라늄 광물기원으로 추정된다. 추가적으로, 단층과 같은 심부지하수의 지표연결통로나 단층대의 수리지질학적, 지구화학적 조건도 고불소 및 우라늄의 지하수 산출에 영향을 줄 것으로 예상되므로 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

4. 참고문헌

[1] 이상만, 김형식, 나기창, 한국지질도 대전도폭 (1:50,000) 및 도폭설명서, 한국지질자원연구소, pp 26, 1980.
 [2] Stezenbach, K. L., Farnham, I. M., Hodge, V. F. and Johannesson, K. H, Using multivariate statistical analysis of groundwater majorcation and trace element concentration to evaluate groundwater flow in a regional aquifer, Hydrological Processes, Vol. 13, pp 2655-2672, 1999.
 [3] Suk H. and Lee K.K, Characterization of a ground water hydrochemical system through multivariate analysis; clustering into ground water zones, Ground Water, Vol 37, pp 358-366, 1999.