

다변량 통계기법을 활용한 KURT 지하수 수질특성의 이해

김은영, 권장순, 고용권, 오승주

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

keyzz@kaeri.re.kr

1. 서론

최근 후쿠시마 원전사고를 계기로 원자력에 대한 관심이 높아진 가운데 사용 후 핵연료의 처분에 관한 중요성도 높아지고 있다. 사용 후 핵연료의 지하 처분은 당장 지하수에 대한 관심을 불러일으키게 된다. 물은 느린 속도지만 먼 거리를 이동할 수 있으며, 수문계의 보다 빨리 이동하는 영역으로 들어갈 수도 있다. 때문에 방사성폐기물 처분이라는 관점에서 국내 지질 환경하에서의 부존하는 지하수의 지화학/물리적 자료는 매우 중요한 자료가 된다. 한국원자력연구원 내에는 방사성폐기물 처분과 관련하여 화강암 지역에 심부 시추공이 착정된 후 지하수의 수리특성, 화학특성 및 동위원소 특성 등이 모니터링 되고 있다. 본 연구는 화강암을 기반으로 하는 지하수 내 수리 지구화학적 환경을 이해하기 위하여 다변량 통계 분석을 통해 화강암 기반 지하수의 수질 특성을 평가하고 이들의 거동 해석 및 농도를 제어하는 인자들을 분석하고자 한다.

2. 본론 및 토의

2.1 연구방법

2.1.1 연구지역

연구지역인 유성은 경기변성암 복합체 내에 위치하며 주로 중생대의 심성암과 맥암류로 구성되어 있다. 연구지역을 주로 구성하고 있는 중생대 심성암류는 크게 편상화강암과 복운모 화강암으로 나뉘어진다. 이 중 복운모화강암은 편상화강암을 관입하고 있으며 이들을 맥암류와 석영암안이 연구지역 전반에 걸쳐 관입하고 있다. 주 구성광물은 석영, 사장석, 미사장석, 흑운모 등이며 녹니석, 녹염석, 백운모가 2차 광물로 관찰되고 퍼어다이트가 관찰되기도 한다[1].

2.1.2 시료 채취 및 분석

한국원자력연구원의 지하처분연구시설(KURT)

내 D-1공과 주변 관측공(Y-1, Y-4)을 대상으로 시료(77개)를 심도별로 채취하였다. 다중패커 시스템용 지하수 샘플 챔버를 이용하여 각 단열구간에 대한 직접적인 시료채취가 수행되었다. 채취된 시료에 대해서는 현장에서 대기와의 접촉이 차단된 상태에서 온도, pH, EC, DO, Eh를 측정하였다. 모든 시료는 0.45 μ m 셀룰로즈 막필터로 여과하였고 양이온은 고순도 질산을 이용하여 pH를 2이하로 유지하였다. 양/음이온 분석은 물의 전하 균형 오차 $\pm 5\%$ 이내로 분석의 신뢰도를 보였다. 각 분석항목은 RSD(Relative Standard Deviation) 값을 5% 이내로 하여 분석하였다.

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 수질 분석 결과를 이용하여 다변량 통계분석(상관, 요인 및 군집분석)을 수행하였으며 통계프로그램은 SPSS 12.0을 사용하였다.

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 성분 농도가 아닌 요인 점수값(Factor score)으로 분석을 실시하였다[3].

2.2 지구화학적 특성

화강암이 분포하는 연구지역 내 지하수 시료에 대한 수질분석 결과 심도별로 Ca(Na)-HCO₃형에서 Na-HCO₃형의 변화양상을 보인다. 화학조성 중 일부시료에서 불소와 우라늄의 함량이 높은 특징을 보여준다. 불소의 경우 0.2~13.7mg/L(평균 6.4mg/L)의 함량을 보이며 시추공 지하수의 심도에 따라 함량이 증가하는 경향을 보인다. 국

내 화강암지역 지하수는 F⁻ 함량이 높은 것으로 알려져 있으며 심도별 F⁻ 함량의 증가는 물-암석 반응 정도를 지시하는 것이다. 우라늄의 경우 0.2 µg/L에서 최대 3,122µg/L(평균 258µg/L)의 높은 함량을 보인다.

2.3 상관 및 요인분석

요인 1의 고유치는 5.66으로 3개의 요인 중 가장 큰 비중을 차지하며 전체 분산에 대한 해석에 있어서 중요한 변수이다. 요인 1의 주요 성분들은 모두 고농도의 불소의 영향인자로 설명된다. 고불소의 시료들은 F⁻함량이 증가함에 따라 pH, CO₃⁻와 정(+)의 관계를 보이고 불소의 용해도는 형식의 용해도에 좌우되기 때문에 Ca²⁺, EC와는 부(-)의 관계를 보인다. 요인 1의 중요 변수들 간의 상관관계를 보면 99.99%의 유의수준에서 F⁻와 Na⁺, HCO₃⁻와 Ca²⁺, Ca²⁺와 Mg²⁺간에 상관계수가 각각 0.86, 0.85, 0.77으로서 비교적 높은 상관관계를 보인다. 요인 2는 심도(0.77), Na⁺(0.76), 온도(0.74), SiO₂(0.65)에 높은 양의 적재값을 보이며 SO₄²⁻(-0.79)에서는 높은 음의 적재값을 보인다. 연구지역이 규산염광물로 대수층이 구성되어 있어 심도에 따라 Si의 농도도 함께 증가하는 것으로 판단된다.

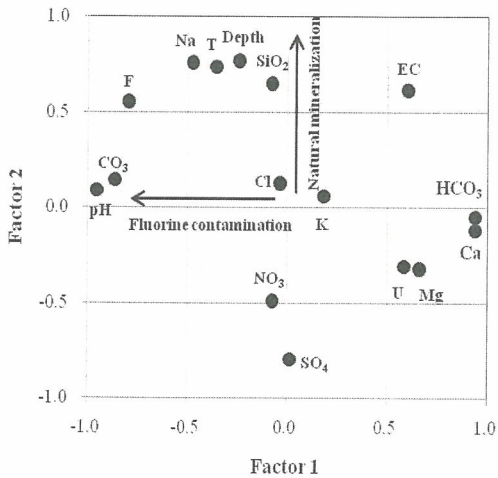


Fig. 1. Factor loading diagram for variables, factor 1 vs. factor 2.

2.4 군집분석

군집분석 결과에서 도출된 Dendrogram에 의하면 4개의 그룹으로 구분된다. 군집 1은 Na(Ca)-HCO₃형의 지하수로 특징적으로 우라늄의

함량이 높은 군집이다. 연구지역이 옥천대 우라늄 광화대 북서쪽에 위치함을 근거로 화강암 내 포함된 우라늄 광물기원으로 추정된다. 군집 2는 Y-1공의 심부(약 170m 이상) Na-HCO₃ 유형의 지하화 특성을 보이며 F⁻의 함량이 높다. 특히 Na⁺와 SiO₂, F의 함량이 높는데 이는 물-암석 반응의 영향을 받고 있음을 지시한다. 군집 3은 Ca(Na)-HCO₃ 유형의 지하수로 주로 천부지하수의 특성을 갖는다. 다른 군집들과 달리 지표 오염기원인 Cl⁻와 SO₄²⁻의 농도가 높은 편이다. 군집 4는 YS 4공의 약 340m구간에 해당하는 것으로 다른 구간들과는 다른 지하화 특성을 보인다. Ca-HCO₃ 유형의 지하수로 pH가 약 6.6으로 낮고 Ca²⁺, SiO₂, HCO₃⁻ 농도가 높다. 반면 SO₄²⁻ 농도는 낮은 편이다. 그룹 간 불소의 함량 증가에 따라 수질 특성은 Ca(Na)-HCO₃ 유형에서 Na-HCO₃ 유형으로 진화하는 경향이 뚜렷하다.

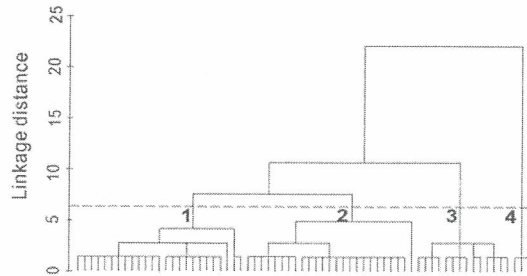


Fig. 2. Dendrogram from hierarchical cluster analysis.

3. 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.