

유성 북부지역 심부시추코아에서 관찰되는 단열 변질대의 원소거동특성

김건영, 고용권, 배대석, 유시원

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

kimgy@kaeri.re.kr

고준위방사성폐기물의 심지층 처분개념에 있어서 불투성인 암반을 처분장으로 할 경우 암반에 분포하는 단열 또는 단열대는 지하수 유동로로서의 잠재성을 지니고 있다. 따라서 이와 관련된 단열광물의 광물학적 및 지화학적 특성연구가 방사성폐기물 처분장 안정성 평가에 중요한 과제중의 하나이다. 유성지역은 고준위방사성폐기물의 처분연구와 관련하여 우리나라의 지형특성이 고려되어 영서형과 영동형으로 구분된 2개의 연구지역 중 하나이며, 주된 연구지역내에는 심부지질환경 해석과 지하수체계의 장기적 모니터링을 목적으로 모두 9개의 NX 크기의 수직조사공이 설치되어 있다. 본 연구에서는 연구지역내의 YS-01과 YS-04 심부 시추코아 시료에 대해 기존에 분석된 단열대 및 단열충전광물 연구와 관련하여 수행되었으며, 이들의 생성 및 변질작용에 의한 원소의 거동에 대한 분석 결과이다.

연구지역의 지질은 경기변성암 복합체에 속하며 주로 선캠브리아기의 편마암류와 중생대의 심성암과 맥암류로 구성되어 있다. 시추위치의 지질은 중립질 내지 조립질의 복운도화강암으로 이루어져 있으며 국지적으로는 미약하나마 편상조적을 보이기도 한다. 시추코아에서는 지표에서부터 심부에 이르기까지 크고 작은 단열대가 다수 발달해 있으며, 이러한 단열대를 중심으로 다양한 물-암석반응에 의한 단열충전광물을 관찰할 수 있다. 이러한 단열대의 일부구간에서는 열수변질양상이 중첩되어 관찰되기도 한다. 시추코아의 화학분석결과에 의하면 염기성 암맥이 지나가는 -105m 구간을 포함하여 -90m~-130m 구간과 -230m~-250m 구간에서 급격한 SiO₂ 함량 감소와 Al₂O₃, CaO, L.O.I값의 증가가 관찰되며, 이러한 시추코아의 수직적인 화학조성변화는 단열광물의 생성 및 기존에 수행된 시추공 검층 및 수리시험결과와 잘 일치하고 있다.

YS-01 및 YS-04 두 시추코아에서 확인된 단열충전광물은 로몬타이트와 방해석, 일라이트, 녹니석, 녹염석, 광석광물 등이다. 이 중 로몬타이트와 방해석이 가장 흔하게 관찰되는 단열충전광물이다. 이들은 흔히 서로 공존하는 상태로 약 1~2mm 두께의 맥상으로 결정화 되어있거나 단열 표면 코팅이나 미세 균열을 충전하는 형태로 산출된다. 녹니석은 주로 단열면을 코팅하는 형태로 산출되며 일라이트는 단열면 뿐 아니라 모암내 장석의 변질물로도 산출된다. 녹염석은 매우 미세한 균열을 충전하는 형태로 산출된다.

이러한 단열대 중심의 변질대를 대상으로 지하수 유동에 의한 물-암석 반응 및 열수변질의 중첩에 의한 단열대에서의 원소거동을 알아보기 위하여 등농도선(isocon) 도시법을 적용하여 보았다. 등농도선 방법은 주로 접촉교대작용 및 열수변질광상에서의 원소거동을 알아내는데 이용되고 있으며, 국내 열수변질 기원 비금속광상의 광물조합에 따른 원소거동의 연구에도 효과적으로 이용된 바 있다. Grant[1]가 Gresens의 기본공식[2]을 이용하여 최적 등농도선(best-fit isocon)의 일반식을 제시하기 전까지는 변질작용동안의 성분과 부피변화에 대한 관계를 그래프상에서 계산하기 위하여 Gresens의 기본공식이 주로 광범위하게 이용되어 왔으나, Grant는 Gresens의 기본공식을 다음과 같이 단순화시켜서 변질된 암석과 변질되기 전의 신선함 모암내의 특정 원소의 농도사이에 일차의 선형관계를 얻을 수 있게 하였다.

$$C_i^A = \left(\frac{M^O}{M^A} \right) \cdot C_i^O$$

C_i^A 및 C_i^O : 각각 변질된 암석과 모암시료내 원소 i의 농도

M^A 및 M^O : 각각 변질된 암석과 모암시료의 질량

이 식으로부터 변질작용동안 특정 원소의 농도와 부피 변화를 간단하게 유추할 수 있다. 또한 이 식을 비유동성 원소들에 대하여 동시에 적용하여 모암과 변질된 암석내의 구성원소들간의 농도관계를 알려주는 등농도선(isocon)을 얻을 수 있다. 이 등농도선은 모암과 변질대의 화학분석결과로부터 원소들의 농도를 도시하였을 경우 일련의 직선을 이루는 원소들에 대해 최적선을 계산하여 구하며 이 등농도선을 계산하는데 참여한 성분들은 변질작용동안 상대적으로 비유동적이었음을 의미한다. 등농도선의 기울기는 변질작용동안의 질량변화를 나타내며 1보다 클 경우는 변질작용동안 질량이 감소하였고, 1보다 작을 경우는 질량이 증가하였음을 지시한다. 등농도선으로부터 모든 원소 성분들의 벗어난 정도는 그 원소에 대한 농도변화 정도를 의미한다. 즉 변질작용동안 비유동적인 성분들은 농도변화가 없기 때문에 등농도선을 이루게 되고 이 등농도선 그래프로부터 다른 원소 성분들의 상대적 증감을 알 수 있게 된다. 이 등농도선 방법을 이용하여 YS-01과 YS-04 심부 시추공의 변질대에서 채취한 시료들에 대하여 원소들의 상대적인 증감과 모암에 대한 상대적인 질량의 증감을 계산하였다. 계산의 기준이 되는 신선한 모암의 화학성분은, YS-01공의 경우는 시추코아에서 채취한 총 10개의 신선한 복운모화강암의 분석결과를 평균하여 사용하였으며, YS-04공의 경우는 3개의 분석결과를 평균하여 사용하였다.

단열대의 화학분석결과로부터 등농도선을 도시한 결과, 대부분 시료에서 SiO_2 도 변질작용동안 비유동적인 것으로 나타났다. 로몬타이트와 방해석이 충전된 단열대는 CaO의 함량이 명확히 증가되었다. 일라이트가 산출되는 단열대는 K_2O 의 증가와 Na_2O 와 CaO의 감소가 함께 나타나기 때문에 대부분의 일라이트는 사장석의 변질로 생성되었음을 알 수 있다. 그러나 소량의 일라이트, 녹니석, 카올리나이트 등의 단열충전광물이 생성된 단열대는 대부분의 원소들이 일련의 등농도선상에 도시되어 원암이 외부로부터의 원소의 추가나 제거 없이 변질되었음을 지시한다. 전체적으로 YS-01공은 변질정도에 따라 -13~+13%의 질량변화가 있었고 YS-04공은 -12~+17%의 질량변화가 있었다. 이와 같이 계산된 결과에 의하면 변질작용동안 질량이 심도에 따라 일정하게 증가하거나 감소하는 경향을 보이지는 않는다. 그러나 모암인 복운모 화강암에 비하여 변질시료들의 낮은 비중을 고려하면, 연구지역의 변질대는 질량의 증감과 상관없이 실제로는 변질작용동안 대부분 부피변화가 증가하는 방향으로 진행되었을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Grant, J. A. (1986) The isocon diagram - a simple solution to Gresens' equation for metasomatic alteration. *Econ. Geol.*, 81, 1976-1982.
2. Gresens, R. L. (1967) Composition-volume relationships of metasomatism. *Chem. Geology*, 2, 47-55.