

## 풍화 화강암내에서 핵종 원소들의 이동 특성

이승엽, 백민훈, 조원진

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

seungylee@kaeri.re.kr

국내 고준위 방사성 폐기물 처분개념은 방사성 폐기물을 안전한 환경 조건을 갖는 지하 심부 환경에 처분하여 인간환경으로부터 격리시키는 것으로서, 여기에는 공학적인 방법과 지질학적인 천연방벽을 모두 고려한 다중방벽 개념을 채택하고 있다. 공학적 방법은 방사성 폐기물 처분장으로부터 핵종 유출을 최대한 차단하도록 설계되지만, 수십만 년에서 수백만 년의 장기간의 걸친 처분장의 안전성을 고려해야 하는 고준위 방사성 폐기물 처분장에서는 지질학적 천연방벽의 역할이 필수적이다.

한국원자력연구소에 건설된 지하처분연구시설(KURT)의 주 구성 암석은 화강암이며 터널 깊이에 따라 풍화 및 변질 정도가 다르다. 화강암질 암석은 50 % 이상의 장석과 흑운모 광물들로 구성되어 있다. 화강암의 풍화는 장석 및 흑운모 광물들의 풍화에 의해 좌우되며, 시간이 흐를수록 점차 화강암 전체 구성 조직의 파괴 및 새로운 이차광물들이 생성된다. 지표면으로부터 지하 심도가 낮은 터널 입구 부근은 풍화가 많이 진행된 상태이며, 터널 막장은 신선한 암반층을 포함하여 단층 및 절리가 발달한 상태이다. 일반적으로 심부 화강암반에 장기간 폐기물을 적치하게 될 때, 풍화의 원인에 의해 서서히 화강암의 변질 및 미세균열과 그 것에 의한 용질 이동이 영향을 받게 되는데, 이에 대한 조사 및 연구는 아직까지 미미한 수준이다. 본 연구의 목적은 KURT의 풍화 화강암을 광물학 및 지화학적 관점에서 면밀히 관찰함으로써, 시간의 흐름에 따라 암석이 변화되고 이러한 현상이 핵종 거동에 끼칠 수 있는 영향을 연구 차원에서 검토하고자 한다.

### - 화학적 풍화에 의한 암석의 변질

오래 전 지질 작용에 의해 지하 심부에서 형성된 화강암은 광물 입자가 균질하며, 주 구성광물은 석영, 장석(K-장석, 사장석), 운모(흑운모, 백운모) 등으로 구성된다. XRD(X-선 회절) 분석 결과에 의하면, 본 연구지역의 화강암은 소량의 녹니석을 포함하고 있으며(그림. 1a), 약한 변성작용을 받은 암석으로 구성되어 있다. 하지만, 화학적 용해 및 풍화에 의해 구성 광물들은 서서히 다른 종류의 광물들로 변해 간다. 그림 1b에서 보는 바와 같이, 풍화 화강암에서 석영 광물만 풍화되지 않고 존재하고 있고 대부분의 광물들은 다른 광물, 즉 점토류인 일라이트, 캐올리나이트, 스멕타이트와 일부 방해석 및 철 산화광물로 변화 및 변질된 것을 확인할 수 있다. 물론, 위의 광물들은 주로 암석 균열대에서 발견되는 광물들이지만, 원암 자체의 광물변화도 이와 유사하게 변화되고 있다.

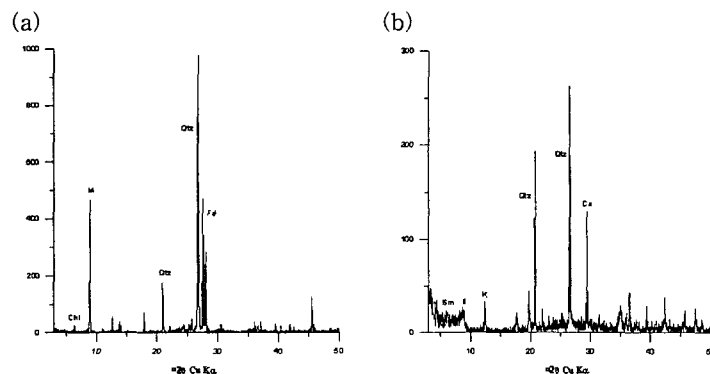


그림 1. 화강암 XRD 분석 data. (a) 신선한 화강암. (b) 풍화된 화강암

- 현장 암석에서 핵종 원소들의 거동

암석이 풍화되면서 암석을 구성하고 있는 광물들의 풍화 및 용해가 시작되고 다른 광물들로 변해 가기 시작한다. 암석 내에 포함된 미량의 방사성 핵종들도 풍화작용에 의해 원래 존재하던 위치에서 다른 곳으로 지하수를 따라 점차 이동해 간다. 그림 2는 흑운모 광물의 풍화를 보여주고 있으며, 흑운모 내부에 부성분 광물로 존재하던 모나자이트(monazite)도 점차 용해되는 모습을 보여준다. 모나자이트 광물 내에는 주성분으로 P를 비롯하여 Ce, La, Nd 및 Th 등의 방사성 원소들이 포함되어 있다. 모나자이트가 용해되면서 Th와 Ce의 이동 특성을 EPMA를 이용해 관찰할 수 있었고, 주로 광물 입자 boundary나 미세 균열을 따라 이동하는 모습을 확인할 수 있다. 전자현미경 관찰 결과, Ce와 Th는 비슷한 거동을 하는 것으로 보이지만, Ce의 확산 및 암석 잔류 특성이 보다 두드러지는 것으로 보인다.

심하게 풍화된 화강암은 토양화되어 점토 성분을 다량 함유하고 있으며, Fe와 Mn과 같은 화학 성분들은 산화되어 암석 내에 비정질로 존재하다가 점차 결정성 산화광물로 변해간다. KURT 내 풍화암을 조사했을 때 나타나는 특징은, 풍화 정도가 약한 암석 내 비정질 철 산화물에는 방사성 핵종들의 선택적인 수착 특성이 관찰되지 않았으나, 풍화가 심화되고 goethite 및 hematite와 같은 결정성 산화철 광물이 발달한 입자 표면에는 핵종 수착이 두드러졌다(그림 3). 이는 풍화 화강암 내부에서 핵종들이 이동할 때, 결정성 산화철 광물들이 이들 핵종 이동을 지연하거나 더디게 하는 역할을 담당하는 것으로 사료된다.

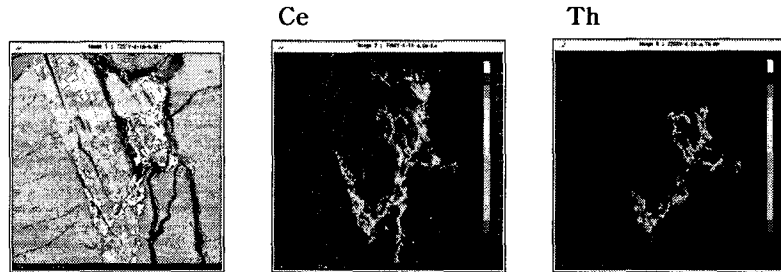


그림 2. 풍화된 흑운모광물의 EPMA mapping data

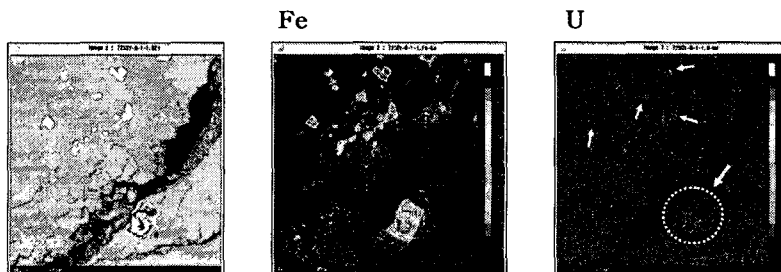


그림 3. 풍화된 화강암의 EPMA mapping data

- 결론 및 향후 계획

고준위 폐기물 지하심부 지질처분시 발생할 수 있는 암석의 변질, 즉 시간에 따른 암석의 화학적 풍화와 핵종 이동 관련성에 대한 natural analogue 연구를 수행 하였다. 암석이 풍화되면 원구성 광물들의 변화가 발생하고 새로운 이차광물들이 만들어지며, 지하수를 따라 이동하는 핵종 원소들의 거동에 큰 영향을 끼칠 수 있다. 본 연구에서 화강암은 풍화에 의해 대부분 이차광물질인 점토광물로 변화하고 주변에 침전된 비정질 철 산화물들은 점차 결정질 철 산화물로 변해간다. 또한, 이러한 광물들의 변화는 핵종 원소들을 선택적으로 수착하거나 흡수하여 핵종들의 이동을 조절하는 특성이 있음을 알 수 있다. 앞으로, KURT 현장에 대한 natural analogue 연구를 보다 심도있게 수행하여 장기간에 걸친 핵종 거동 특성을 명확히 이해하고자 한다.