

한국원자력연구원 지하처분연구시설(KURT)의 단일충전 점토광물과 자연핵종 분포 특성

이승엽, 백민훈

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

seungylee@kaeri.re.kr

방사성폐기물의 처분 부지의 지질로서 화강암과 화강편마암과 같은 결정질 암류를 많은 국가에서 생각하고 있다. 결정질암에서 지하수 유동은 연속성이 좋은 단열(fracture)을 따라 지배되는 것으로 알려져 있다. 이러한 단열의 면은 일차광물, 이차 변질광물, 충전광물 등이 분포한다. 이들은 단열 틈을 막아서 지하수의 유동을 억제하거나, 지하수의 화학적 특성에 영향을 미치고, 유해 핵종에 대한 흡착, 이온교환, 침전, 산화환원반응 등으로 핵종과 상호작용 한다. 또한, 단열 충전 및 변질광물들은 그들이 생성될 수 있는 물리·화학적 환경이 서로 다르므로 생성 당시의 지화학적 환경에 대한 정보를 제공한다.

KURT(KAERI Underground Research Tunnel) 연구실증시설(그림 1)의 지질학적 특징으로는 소규모 단층 및 절리 등이 국부적으로 발달해 있고, 이러한 단층 및 절리를 따라 다양한 종류의 이차광물 혹은 침전물 등이 그 곳을 충전하고 있다. 본 연구는 KURT 내에서 고준위폐기물 처분 연구를 수행하는데 있어서 연구 site의 지질학적 절리 및 단층과 같은 단열대의 중요성과 광물학 및 지화학적 특성을 밝혀 핵종과 같은 방사성 원소들의 지하심부 거동을 이해하는데 주 목적이 있다. 심부 지질환경에서 대부분의 핵종들이 지하수에 의해 단열을 따라 이동하기 때문에, 방사성 핵종 거동을 이해하는 한 방법으로 본 터널의 암석 표면 및 단열면을 조사·분석하였다.

- 시료채취 및 분석

시료 채취는 KURT 공사가 진행 중인 과정에서 이뤄졌으며, KURT 터널 벽면의 균열, 절리, 그리고 단층과 같은 단열에 분포하는 이차충전광물과 일부 암석 등을 대상으로 시료를 채취하였다(그림 2). 시료 채취는 터널 굴착 여건상 발파와 슛크리트 타설 이후 일시적이고 부분적으로 드러난 암반을 대상으로 하였다. 채취된 시료의 광물학적 분석을 위해 실체현미경, X-선 회절분석(XRD), 그리고 주사전자현미경(SEM) 기기를 사용하였고, 미량 화학성분 분석을 위해서는 ICP-MS를 이용하였다.

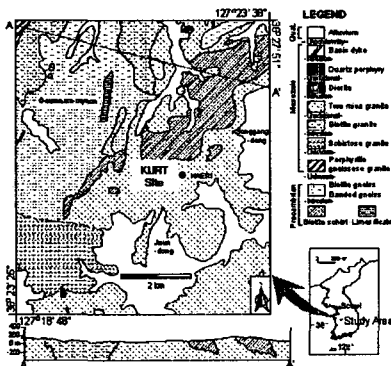


그림 1. KURT 위치 및 주변 지질

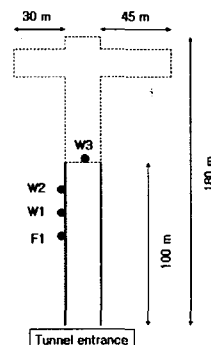


그림 2. KURT 개략도 및 시료채취 표시

- 단일충전물의 특징

KURT 터널 입구부터 곳곳에 균열 및 단층들이 분포하고 있으며, 몇몇 단열면에서 팽창성 층상광물인 스멕타이트(smectite)가 관찰된다. 단일충전물로 존재하는 스멕타이트는 단열을 따라 linear하게 분포하고 있으며, 특징으로는 충전광물의 두께에 변화가 있고 부분적으로 순수한 스멕

타이트 점토질이 풍부히 존재한다. XRD 분석결과, 부 광물로는 일라이트가 소량 섞여 있으며 일부 석영(quartz)도 불순물로 포함되어 있다.

조암광물의 풍화 혹은 변질로부터 이차적으로 형성되는 광물인 일라이트(illite)는 핵종원소 흡착에 중요한 기여를 하는 광물이다. 이러한 일라이트는 본 연구지역의 소규모 단층을 따라 여러 이차광물들과 함께 소량 존재하거나 KURT 막장 우측 연구모듈 지역의 단열을 따라 비교적 순수한 광물 형태로 분포한다. 또한, 암반 단열에 존재하는 일라이트 광물에 대한 XRD 분석결과, 결정성이 좋은 일라이트 외에 스펙타이트, 방해석 및 돌로마이트(dolomite)와 같은 부수 광물들도 함께 존재하는 것으로 나타났다.

- 일부 방사성 핵종들의 분포 특성

암석에는 미량의 방사성 원소들이 잔류하고 있으며, 암석의 지질학적 조건 및 풍화작용 등에 의해 분포 및 농도 특성이 달라진다. 본 연구 site에서 방사성 원소 중 대표적인 핵종인 U, Th, 그리고 Sm을 대상으로 암석 내 분포 특성을 조사하였다. 신선한 암석 및 풍화가 진행된 암석, 그리고 균열 혹은 단층 충전물질로 채워진 부분을 대상으로 시료를 채취하여 분석 하였는데, 비교 대상 화학성분들의 선택적인 농집 현상이 관찰되었다. 특히, 단열충전물 시료는 신선한 암석에 비해 우라늄과 토륨의 함량값이 높았다(표 1). 하지만, REE(희토류원소) 원소인 Sm은 시료 간에 큰 차이가 없었고, 우라늄, 토륨과 달리 특정 부분에 집중되는 현상은 관찰되지 않았다.

표 1. KURT 채취시료에 함유된 핵종농도 함량 ($\mu\text{g/g}$)

	F1	W1	W2	W3	W1-1	W3-1
Sm	8.02	5.76	6.64	4.03	10.00	6.21
Th	13.20	17.40	36.90	17.80	28.80	3.25
U	2.47	2.81	14.70	22.30	22.30	26.60

Note : F1, W1, and W2 - granitic rocks; W3 - granite coated with Fe-oxides;
W1-1 and W3-1 - fracture-filling materials.

- 결론 및 향후 계획

한국원자력연구원 부지내에 건설된 고준위폐기물 지하처분연구시설은 암석 단열대에 다양한 충전광물들을 가지고 있고, 특히 판상구조의 점토질 광물들을 다량 함유하고 있다. 팽창성 층상광물인 스펙타이트는 주로 소량의 일라이트와 함께 산출되어 나오며 입자 크기에 따른 함량비에는 서로 큰 차이가 없으나, 일라이트가 우세한 시료의 경우에는 입자 크기에 따른 함량비에 차이가 있었다. 따라서, 단열을 통한 핵종 거동을 연구할 때, 일라이트가 우세한 단열충전광물의 경우 입자 크기에 따른 광물학적 영향을 고려해야 할 것이다. 녹니석 및 방해석 등은 단열대에 부분적으로 소량 존재하지만, 대규모 변질 산물로 암석의 일정 부분을 구성하고 있다. 또한, 풍화에 의해 녹니석 등의 철함유 광물로부터 용출되어 흘러나온 Fe 성분들은 지하수로부터 산화 및 침전되면서 산화철을 형성하여 핵종 수축에 큰 영향을 끼치고 있다. 신선한 암석과 비교했을 때, 단열충전 광물 및 산화철에 의한 우라늄 및 토륨과 같은 핵종 원소들의 농집 경향을 본 연구지역에서 핵종 수축의 주된 특성주의 하나이며, 향후 KURT 핵종이동연구에 귀중한 자료로 활용될 것이다.