

한국원자력연구원 지하처분연구시설(KURT)의 암석, 광물, 지하수 지화학 특성

김건영, 고용권, 최종원, 최병영, 신선호
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지
kimgy@kaeri.re.kr

1. 서론

국내의 고준위폐기물 처분을 위한 연구개발은 과학기술부가 주도하는 원자력중장기연구개발사업의 일환으로 1997년부터 추진되어, 국내 심부지질환경특성에 대한 연구결과와 한국형처분시스템이 제시된 바 있다. 제안된 한국형처분시스템이 사업화 단계에서 직접 설계에 이용되기 위해서는 처분심도와 유사한 환경에서 직접적인 현지 실증시험을 거쳐 전체적인 검증이 이루어져야 한다. 따라서 실제 처분환경에 접근한 현장 실험을 위하여 한국원자력연구소 부지내에 고준위폐기물처분기술개발을 위한 지하처분연구시설(KURT)이 2006년 11월에 완공되어(총연장 255m의 지하터널, 진입터널 180m, 연구모듈 75m, 지표로부터의 심도 90m) 현재 활발한 연구가 수행 중에 있다. 이번 연구는 앞으로 장기적으로 KURT에서 수행될 실증시험에 대한 모암, 광물 및 지하수에 대한 기초자료를 제공하기 위하여 수행된 연구결과이다.

2. 실험 및 결과

현재 KURT내에는 수리/지화학 연구를 위하여 총 11개(20-200m 심도)의 시추공이 설치되어 있으며 이들 중 일부 시추공에서는 지화학 장기모니터링이 수행되고 있다. 지하처분연구시설을 구성하고 있는 화강암과 그 구성광물에 대한 기초자료를 제공하기 위하여 시설내 시추공으로부터 얻어진 시추코아 시료를 대상으로 모암 및 단열충전광물의 암석/광물학적인 분석을 수행하였다. 또한 지하처분연구시설내 물-광물-암석의 지화학 상호반응을 규명하기 위하여 시추공 지하수의 지화학분석 및 열역학자료를 이용한 지화학조건을 비교평가하고 단열광물생성조건 해석을 위한 지화학 진화과정 모델링을 수행하였다.

지하처분연구시설의 모암은 복운모 화강암으로서 국지적으로 흑운모가 우세한 흑운모 화강암의 양상을 보이며, 시설의 일부 구간에서는 편리가 발달한 편상 흑운모 화강암의 양상을 보이기도 한다. 지하처분연구시설내 터널벽과 시추코아에서는 단열대와 관련되어 다양한 정도의 변질 양상을 보여준다. 특히 시추코아에서 관찰되는 일부구간에서는 세립의 황철석의 산출과 함께 열수변질 양상이 관찰되며 일부 단열대에서는 산화철광물이 세맥상으로 산출된다. 신선한 모암의 장석은 알바이트에서 올리고클레이스까지의 조성을 보이고 흑운모는 앤나이트와 흑운모사이의 좁은 범위의 조성을 보이면서 Al이 결핍된 조성을 보인다. 전체적인 연구지역 화강암의 SiO₂의 함량은 66.4~75.0%로 산성암에 해당되며, 지화학적으로 칼크-알칼린계열 및 I-type에 속하면서 과알루미나 성질을 나타내고, 0.96~1.21범위의 알루미나 포화지수를 갖는다. 전체적으로 SiO₂성분이 증가함에 따라, TiO₂, Al₂O₃, MgO, FeO^T, CaO, P₂O₅는 감소하는 경향을 보이면서 K₂O는 증가하는 일반적인 화강암의 분화경향을 나타낸다. 총 REE함량은 19.1~108.0ppm의 범위를 나타내며, 시추코아의 단열대 시료를 제외하고는 (La/Yb)_N의 비율이 2.1~37.3으로써, LREE가 부화되고 HREE가 결핍된 양상을 보이면서, 낮은 Eu이상 (Eu/Eu*=0.38~0.88)을 나타낸다. 시추코아의 단열대 및 변질대에서는 일라이트, 로먼타이트, 녹니석, 녹염석, 몬모릴로나이트, 카올리나이트 등의 단열충전광물들이 감정되었다(Fig. 1). 특히 기존의 KURT 주변 YS시추코아들에서는 지하수 화학분석결과와 열역학데이터를 이용한 계산에서만 추정되었던 몬모릴로나이트와 카올리나이트가 확인되었다. 로먼타이트와 방해석이 가장 광범위하게 산출되며, 일라이트는 산출량은 많지 않으나 산출빈도는 가장 높다. 녹니석은 일부 소규모의 단층대를 따라서 주로 산출된다. 주사전자현미경 관찰에서 로먼타이트는 전형적인 주상의 결정형을 보여주며, 일라이트와 카올리나이트는 판상의 결정형태로 산출

되기는 하지만 매우 낮은 결정도를 보인다. 반면에 녹니석은 전형적인 판상의 결정형의 집합체로 산출된다.

KURT내 지하수 화학조성은 대부분 Ca-HCO₃유형에 속하며, 일부 아직 시추수에 의한 영향을 받고 있음을 보여주고 있다(Fig. 2). 또한 Ca-SO₄ 유형의 지하수 시료들은 이들이 주변 벽의 숏크리트와의 반응영향을 지시하고 있다. 지하처분시험시설내의 시추공에서 현재까지 모니터링하고 있는 산화-환원전위 역시 터널의 굴착에 따른 대기환경과의 접촉으로 인한 산화환경으로의 변화특성을 반영하고 있으며, 시간의 경과에 따라 낮아지는 경향을 보이면서 천부지하수의 유입에 의한 변화특성도 함께 보여주고 있다. 이들 지하처분시험시설내 시추공 및 투수성단열대의 지하수 시료 화학분석결과와 열역학데이터를 이용하여 계산한 대표적인 광물의 포화지수를 살펴보면 로먼타이트, 녹니석, 일라이트, 몬모릴로나이트 등에 대하여 과포화 상태에 있으며 이는 시추코아에서 관찰된 단열충전광물과 일치하고 있다. 이러한 지화학 모델링 결과는 실제로 단열대에서 확인되는 단열광물의 광물조합과 잘 일치하고 있으며, 특히 연구지역내에 방해석보다도 광범위하게 분포하는 로먼타이트 및 심부시추코아보다 상대적으로 천부환경인 KURT내의 시추코아에서 주로 관찰되는 몬모릴로나이트의 분포 양상과 일치한다. 또한 KURT내 심부지하수(DB-01, 150m)가 처분장의 건설에 의해 대기과 접촉하는 환경으로 유입될 경우 심부지하수의 지화학적 특성의 변화를 살펴보기 위하여 지표환경(Pco₂=10^{-3.5} atm)과의 평형 모델링을 수행한 결과는 심부지하수가 지표환경과 접하게 되면, pH가 낮아지면서 방해석을 비롯한 탄산염광물들과 녹니석, 운모류 등은 상대적으로 침전조건으로 변하게 되며, 로먼타이트, 일라이트, 몬모릴로나이트 등은 상대적으로 용해조건으로 변하게 됨을 알 수 있다.

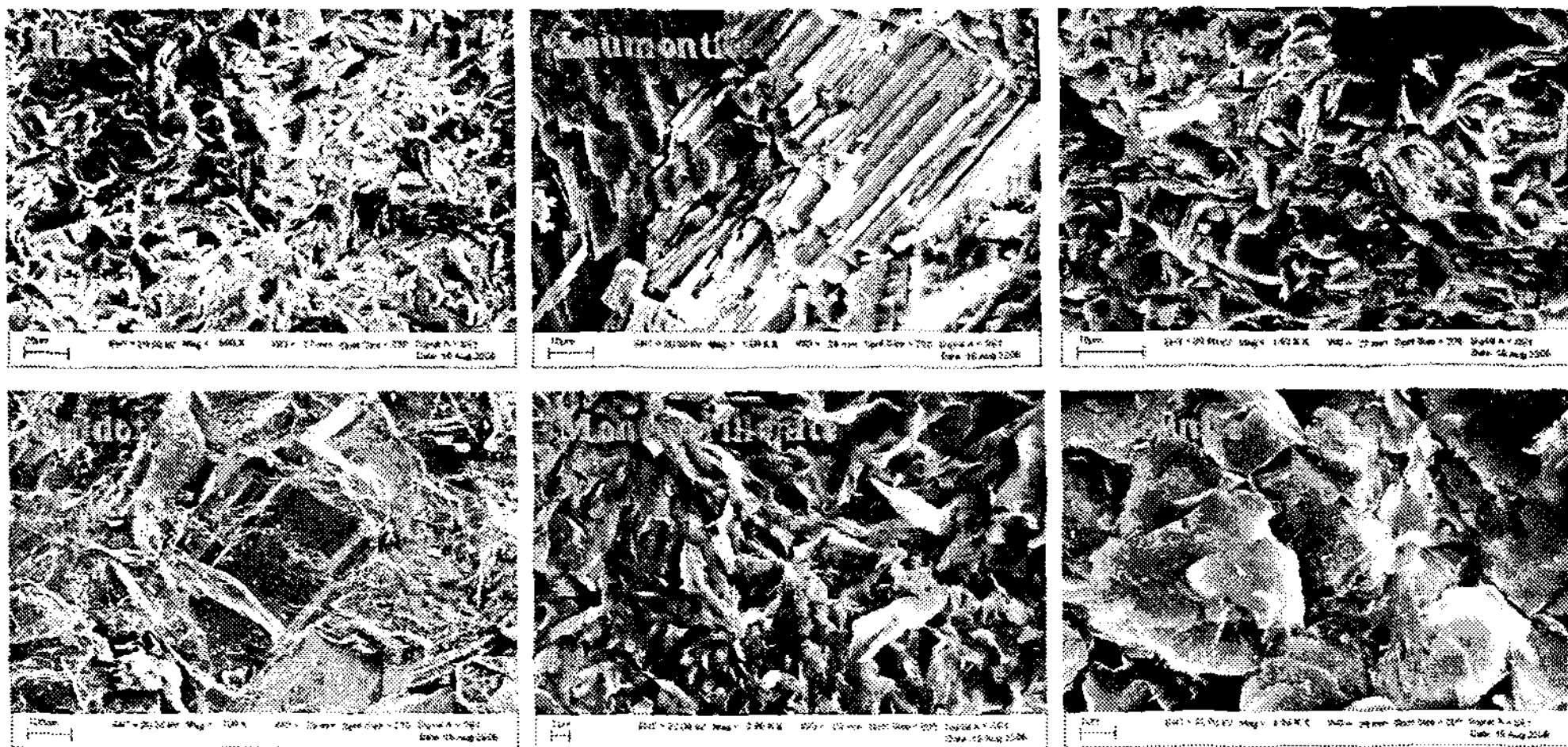


Fig 1. SEM images of fracture-filling minerals in KURT.

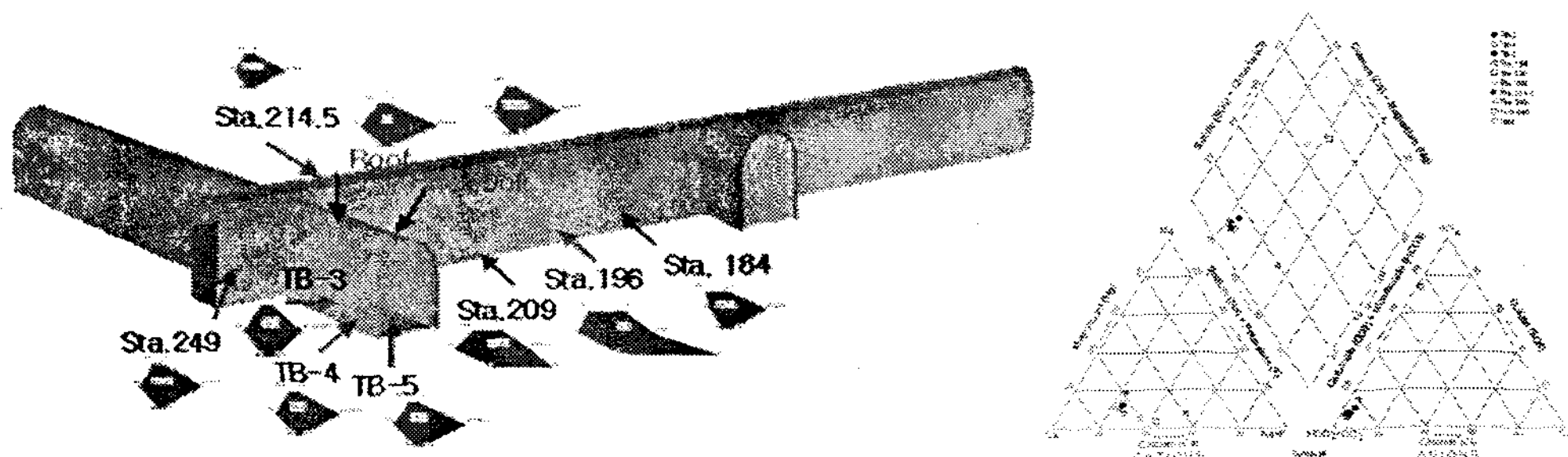


Fig 2. Stiff diagrams and Piper's diagram of water samples from boreholes in KURT.