

지하수의 지중 노출에 따른 지구화학 변화특성 평가: 터널 내 유출지하수 중심

권장순^{1*}, 김지연¹, 고용권¹, 권만재²

¹한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

²한국과학기술연구원, 강원도 강릉시 사임당로 679

*jskwon@kaeri.re.kr

1. 서론

암반지하수의 지구화학적 특성은 강우의 화학 성분 및 충전에 따른 토양 및 기반암의 종류, 물-암석반응의 정도, 지질구조의 발달 등 여러 요인에 의해 결정된다. 따라서 동일 지역 내에서도 부존하는 심도 및 장소에 따라 그 특성이 다르게 나타날 수 있다. 심층 암반 내 설계된 지중시설로부터 기인한 유출지하수의 경우, 특히 암반 내 조암광물과의 반응이 매우 중요하다. 뿐만 아니라, 지중 건설 활동에 따른 수위하강으로 인하여 수두차에 따른 지하수 거동의 변화 및 그라우팅 작업 등은 유출지하수의 화학적 특성에 큰 영향을 미친다. 또한 지하수의 유출과정에서 수반되는 물리화학적 환경의 변화는 지하수의 화학성을 변화시키며, 특히 일부 용존성분(칼슘, 철, 망간 등)의 침전을 야기함으로써 부유/침전물의 양을 증가시키기도 한다. 이러한 부유/침전물의 생성은 지하수의 수질변화는 물론 유출지하수의 배출펌프 및 관로에 스케일링을 야기할 수 있다[1].

그동안 국내 부존 암반지하수 및 유출지하수에 관한 연구는 주로 수량 확보 측면에서 이루어져 왔다. 수리지구화학적 특성과 오염에 관한 연구는 제한적으로 수행되었으며, 대부분 주요 용존 이온의 분포 및 거동 특성 해석과 물-암석반응 규명을 목적으로 이루어졌다[2,3]. 향후 지중처분 시설 등의 건설활동에 있어 유출지하수의 지구화학특성 및 배출작업 중 변화 특성을 예측하고자 연구부지 내 유출지하수 및 부유/침전물에 대한 지구화학특성 조사를 실시하였다.

2. 본론

2.1 연구방법

본 연구에서는 지중 터널 내로 유입되는 지하수의 배출에 있어 유출지하수 및 부유/침전물에 대한 지구화학 현장조사를 수행하였으며, 이를 해석하는

지구화학 모델링을 수행하였다. 유출지하수의 경우 현장에서 간이수질측정과 함께 분석용 시료를 전처리를 실시하여, 양/음이온, 미량원소 및 용존유기탄소(DOC), 환경동위원소 분석을 실시하였다. 관로 및 집수정 내 유출지하수로부터의 부유/침전물에 대한 기초적인 동정(identification)을 위하여 XRD 분석이 수행되었고, 침전물의 주원소 및 미량원소 함량분석이 실시되었다. 또한 침전물 내 미생물 분석을 실시하여 지구화학환경에 따른 미생물의 존재 및 거동양상 해석을 실시하였다.

2.2 연구결과

연구지역 지중 터널 내 유출지하수는 건설활동에 따라 지하수위 하강과 더불어 지하수압 감소로 해당 지역이 해안지역에 위치하는 특성으로 해수의 유입이 진행되고, 특정구간의 이온교환반응 등과 같은 지구화학반응, 그라우팅 등과 같은 인위적인 활동으로 인하여 수질의 특성이 결정되었다.

터널 남서방향 유출지하수의 경우 염수의 영향을 다소 받고 있으며, 이는 유출지하수의 Cl, Br, 산소/수소 안정동위원소비의 정의 상관관계에서 정량적인 증거를 판단할 수 있었다. 해수 유입 특성과 더불어 특히 유출지하수 중 최고 38 mg/L의 용존 Fe의 농도가 분석되었으며, 이는 연구부지 내 널리 산재되어 있는 황철석(pyrite)의 용해반응 결과로 사료된다.

터널 내 관로 및 집수정을 따라 적갈색의 부유/침전물이 발생하고 있으며, 이는 비정질 물질로서 X-선 회절분석을 통한 광물의 동정은 이루어지지 않았으나, 전함량분석 및 지구화학모델링(Phreeqc) 결과 Fe-(oxy)hydroxide임을 유출할 수 있었다. 구간별로 염기성의 유출지하수가 산출되는 지역에서는 탄산염광물의 부유/침전물의 형태도 관찰되었다.

지구화학모델링 결과 대부분의 연구지역 유출지하수는 탄산염광물에 대해 과포화상태로 침전을 지시하고 있다. 이때 탄산염광물 침전은 용존성분의 농도보다 pH가 중요한 인자로 작용하며, pH 8 이상에서 탄산염광물의 침전 조건에 도달함을 확인할

수 있다. Fe-함유 광물의 침전조건은 Fe의 농도에 따라 결정되며, 미량의 용존 Fe의 존재만으로도 쉽게 침전 조건에 도달함을 알 수 있었다. 유출지하수 내 용존 Fe(II)은 대기에 노출되면서 산소와의 접촉에 따라 Fe(III)으로 산화되고, 비정질 철 수산화물 생성 단계를 거쳐 궁극적으로 침전한 것으로 해석된다.

유출지하수의 침전물의 지구화학분석 결과는 미생물 분석 결과와도 현장 환경에 따라 분류되는 유사성을 보였으며, 강한 염기 환경 하에서는 미생물의 존재 역시 감소함을 확인하였다. 특히 해수의 영향을 받고 있는 구간에서는 15% 정도의 황산염 환원 미생물이 우세하고, 호염성 박테리아가 관측되었다. 상대적으로 낮은 pH 환경 내 고농도의 용존 Fe 함량은 나타내는 구간에서는 철산화, 황산화 미생물이 동정되었다.

2.3 지구화학반응 모의 실험

연구지역 지중 터널 내 유출지하수의 배출에 있어 문제가 될 수 있는 수질 항목으로는 용존 Fe(II), high pH, 알칼리 토금속(Ca 및 Mg) 등이다. 그 외 염수의 유입에 따른 염(salt)의 증가, 그라우팅(시멘트 물질)의 영향도 존재한다. 해당 항목은 이화학적 특성 변화에 기인한 지구화학적 반응속도에 따라 크게 변화하며, 특히 유출지하수가 관로를 따라 이동함에 따라 발생하는 DO 및 pH 등의 물리화학적 환경의 변화는 지하수 내 철과 망간, 탄산염광물의 용존 함량과 거동(침전)은 물론 그 양을 지배하게 된다. 연구지역의 과용량 용존 Fe의 경우 관로, 집수정, 배관을 따라 불용성 침전물로 변화하고 있으며, 스케일링은 물론 탁도의 증가를 유발하고 있다.

이에 Fe 함유량이 높은 유출지하수를 대상으로 용존산소(DO) 및 pH의 변화에 따른 수질의 변화 및 침전물의 생성 양상을 파악하기 위하여 지구화학반응 실험(폭기 및 혼합)을 실시하였다. 폭기 시스템은 수계 내 용존산소(DO)의 농도를 높일 뿐 아니라 수계 내 용존 이산화탄소의 탈기(degassing)를 촉진시켜 pH를 상승시키는 역할을 한다. DO 및 pH의 상승은 Fe(II)의 산화 및 침전을 가속화시키는 인자이기도 하다. 하지만 설계된 실험기간 동안 폭기시스템의 운영으로부터 큰 화학적 변화를 관찰하기 쉽지 않았다. 하지만 그라우팅의 영향을 받은 강알칼리성 유출지하수와의 단순 혼합실험에서 급격히 변화하는 pH 및 환경의 변화로 용존 Fe(II)이 제거됨을 확인할 수 있었다.

3. 결론

어떠한 지중 시설이라 하더라도 배출펌프/배출관을 통한 효율적이면서도 안전한 유출지하수의 배출 방식이 필요하다. 이러한 방식의 결정은 유출지하수의 지구화학특성에 따라 조건에 맞는 설계가 필요하다. 이를 위하여 유출지하수의 지구화학특성 뿐 아니라 유량, 유속, 저류 시간, 침전물의 특성 등 다양한 요소를 복합적으로 고려하여야 한다. 특히 해안 지역의 지중 시설 내 유출지하수는 다량의 염분을 함유할 수 있기 때문에, 유출지하수의 배출에 따른 배출관의 부식에 대한 대책도 필히 마련되어야 한다.

4. 감사의 글

본 연구의 지구화학모델링, 환경동위원소/산화-환원지시자 분석 및 해석은 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(핵연료주기사업)입니다.

5. 참고문헌

- [1] K.R. Appline and N. Zhao, "The kinetics of Fe(II) oxidation and well screen encrustation", *Ground water*, 27, 168-174 (1989).
- [2] S.R. Kim, S.T. Yun and G.T. Chae, "Hydrogeochemical characteristics of groundwater from the Youngcheon diversion tunnel: preliminary results", *Proc. of Symp. Korea Inst. Mineral and Energy Resour. Eng.* April 1998, 38-43 (1998).
- [3] S.T. Yun, Y.K. Koh, C.S. Kim and C.S. So, "Geochemistry of geothermal waters in Korea: environmental isotope and hydrochemical characteristics I. Bugok area", *Econ. Environ. Geol.*, 31, 185-199 (1998).