

국내 지하심부 미생물 및 광물의 우라늄 반응 특성

이승엽, 오종민, 백민훈

한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045

seungylee@kaeri.re.kr

1. 서론

지하심부는 지표와는 다른 환경을 가지고 있으며, 대체로 환원상태(낮은 Eh)의 지하수와 단열(fracture)을 가진 암석 등으로 구성되어 있다. 지하심부에는 다양한 종류의 혐기성미생물들이 서식하고 있으며, 이들 중의 일부는 산소가 희박한 조건에서 용존 금속원소들을 환원시키거나 콜로이드와 같은 광물 형성 작용을 일으킬 수 있다. 이와 같은 미생물들을 금속환원미생물이라고 일컫는데, 이들은 에너지원으로 잔존 유기물을 이용하거나 수소(H_2) 혹은 메탄(CH_4) 가스 등을 이용할 수 있다[1]. 자연 조건에서 공급되는 에너지원들은 미생물에게 전자공여체로 이용되며 주변의 용존 산화금속원소 혹은 산화철 광물 등은 환원되거나 광물 변이가 일어난다[2].

본 연구에서는 한국원자력연구원 지하처분연구시설인 KURT(KAERI Underground Research Tunnel)의 지하심부 지하수에 서식하고 있는 금속환원미생물들을 이용하여 방사성폐기물의 주요 핵종인 우라늄의 환원 및 흡착 기작에 의한 용존 우라늄 저감 및 이동억제 현상을 알아보려고 하였다. 또한, 지하 환경에 존재하는 광물들의 영향을 알아보기 위해 철을 함유하고 있는 대표적인 광물로 흑운모와 침철석을 선정하여 미생물과의 상호작용 특성을 관찰하였다.

이와 같이, 일부 광물을 포함한 미생물에 의한 핵종 반응 연구는 국내에서는 거의 다루지지 않았던 연구들이다. 국내의 지하심부에서 채취한 토종 미생물을 이용한 핵종 반응 및 이동억제 연구는, 향후 국내 방사성폐기물 처분에 있어서 핵종에 대한 생지화학적 작용(biogeochemical reaction)의 이해와 더불어 처분 안전성을 보다 향상시키는데 중요한 기초 자료로 활용 될 수 있을 것이다.

2. 본론

2.1 실험방법

실험에 사용된 미생물은 한국원자력연구원 KURT 막장의 좌측모듈의 시추공 아래 약 140 m 부근의

지하수에서 채취되었다. 미생물-광물-우라늄의 상호반응을 알아보기 위해 100 mL 성장배지에서 Fe(III)/glucose에서 배양된 미생물(M1), Mn(IV)/lactate에서 배양된 미생물(M2), 그리고 스와넬라균(SP)이 각각 사용되었다. 우라늄의 초기 농도는 50 μ M 이었으며, 광물로는 흑운모(1.0 g/100 mL)와 침철석(0.03 g/100 mL)이 소량 이용되었다.

2.2 흑운모-미생물-우라늄 상호반응

흑운모가 주요 광물질로 존재할 경우 미생물에 의한 우라늄의 환원 및 흡착 반응에 미치는 영향을 살펴보았다. 스와넬라균(SP)이 있는 경우 실험시작 2일 후에 대부분의 우라늄이 용액상으로부터 제거됨을 알 수 있다(그림 1). 짧은 기간내에 대부분의 우라늄이 스와넬라균에 의해 제거된 반면, KURT 지하미생물은 우라늄을 제거하는 효율이 그다지 좋지 않았다. M1 미생물에 의해 제거되는 우라늄의 양은 극히 미미하였고, M2 미생물에 의한 우라늄 제거는 상대적으로 빠르게 진행(약 1주일 소요) 되었다. M1과 M2는 같은 KURT 지하미생물임에도 불구하고 초기 배양조건의 차이에 의해 매우 다른 결과를 보여 주었다. 특히, 전자수용체에 있어서, M1은 철산화물(β -FeOOH)을 이용하였고 M2는 망간산화물(MnO_4)을 이용한 점이 크게 다른 조건이었다.

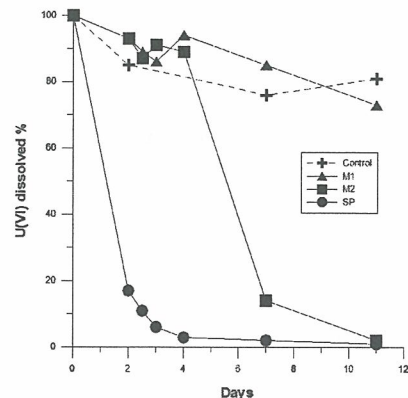


Fig. 1. Aqueous uranium removal by dissimilatory metal-reducing bacteria as biotite particles were suspended in the media

2.3 침철석-미생물-우라늄 상호반응

2.3.1. 흡착 우라늄의 탈착

본 실험에서 침철석이 존재할 때 대부분의 우라늄은 빠른 시간내에 흡착 및 제거되었다(그림 2). 미생물에 의한 우라늄의 환원 및 제거라기 보다는 침철석과 우라늄과의 반응에 의해 대부분의 우라늄이 침철석 표면에 흡착된 것으로 보인다. M1 미생물 시료의 경우 특징적으로 시간이 지나면서 용액상의 용존우라늄 농도가 점차 증가하였다. 이는 실험 초기 침철석에 다량 흡착되었던 우라늄이 미생물에 의해 서서히 탈착되고 있음을 나타낸다.

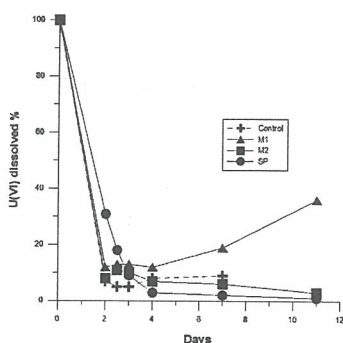


Fig. 2. Aqueous uranium removal by dissimilatory metal-reducing bacteria as goethite particles were suspended in the media

2.3.2. 우라늄 탈착 기작

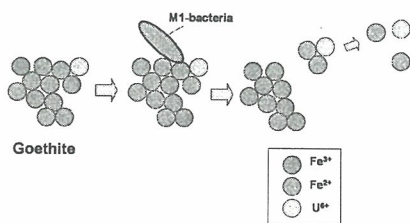


Fig. 3. A schematic illustration for a goethite dissolution by M1-bacteria resulting in the desorption of pre-adsorbed uranium

그림 3은 침철석-미생물-우라늄과의 상호반응에서 우라늄의 거동을 모식적으로 나타낸 그림이다. 대부분의 용존우라늄은 미생물 보다 비표면적이 훨씬 넓은 침철석 표면과 빠르게 반응하여 실험 초기 침철석의 표면에 대부분 흡착된다. 그 이후, 철환원미생물(예: M1 미생물)이 침철석과 반응하고 미생물에 의해 일부 침철석이 Fe(III)로 환

원되면서 점차 침철석의 용해가 시작된다. 이 과정에서 침철석에 흡착된 우라늄도 Fe(III) 이온과 같이 거동하고 해리되면서 용존우라늄의 농도도 더불어 증가한다.

3. 결론

결과적으로, 국내 지하심부미생물 중에서 금속 환원미생물을 활용하여 토양 혹은 지중의 방사성 핵종을 환원시키거나 이동을 저지하는데 사용코자 한다면, 이용하는 미생물의 핵종 혹은 주변 광물과의 반응 특성 등을 잘 살펴야 할 것으로 사료된다. 비록, 금속환원미생물이 일반 핵종들의 환원 및 용해도 감소에 기여를 한다 할찌라도, 특정 미생물의 경우 광물에 흡착되어 있는 핵종들(예: 우라늄)을 용해 혹은 탈착시켜 오히려 핵종들의 확산을 촉진할 우려가 있을 수 있음이 본 실험을 통해 확인되었다. 따라서, 이용하고자 하는 금속환원미생물의 특정 핵종에 대한 환원 특성 뿐만아니라, 주변 광물들(특히, 철함유 광물들)과의 상호작용에 따른 영향 등을 면밀히 조사하여 실제적인 용존핵종들의 농도 저감 및 이동 억제가 실현될 수 있도록 해야 할 것이다.

4. 감사의 글

본 논문은 교육과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 연구비를 지원받아 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] Konhauser, K., 2007, Introduction to Geomicrobiology. Blackwell Publishing, Malden, USA, 425 p.
- [2] Roh, Y., Moon, H.S., 2001, Iron reduction by a psychrotolerant Fe(III)-reducing bacterium isolated from ocean sediment. Geosciences Journal, 5, 183-190.