

지하심부 혐기성 미생물에 의한 우라늄 환원 및 지연특성

이승엽, 백민훈, 노열*, 손우정
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150
 *전남대학교, 광주광역시 북구 용봉로 333
 seungylee@kaeri.re.kr

1. 서론

지하심부에는 다양한 종류의 혐기성미생물들이 서식하고 있으며, 산소가 희박한 조건에서 금속이온들의 환원 및 광물화 작용을 일으킨다. 미생물은 철을 포함한 다양한 금속의 침출 및 유기물 순환 등과 같은 다양한 생지구화학적 과정에 참여할 뿐만아니라, 직접 또는 간접적인 조절작용을 통해 지구화학조정인자와 영향을 주고받는다. 이들 미생물이 유기탄소를 산화시켜 이산화탄소를 생성시키며 이때 내놓은 전자들 철 등 전이금속에 공급하여 철과 산화, 환원에 민감한 금속의 환원제 역할을 하는 등 무기물과 유기물의 순환에 영향을 미친다. 본 연구에서는 한국원자력연구원 지하연구시설인 KURT(KAERI Underground Research Tunnel)의 심부 지하수에 서식하고 있는 혐기성 미생물들을 이용하여 우라늄의 환원 및 수착 기작에 의한 우라늄 제거 및 이동억제 현상을 고찰하였다. 미생물에 의한 핵종 제거 및 이동억제 연구는 국내에서는 거의 이뤄지지 않은 연구로서, 국내에서 발견된 토종 미생물들을 이용한 연구결과가 향후 고준위폐기물 처분 안전성 향상에 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

2. 실험 및 결과

한국원자력연구원 KURT에서 지하 140m 지점의 지하수를 시추공을 통해 채수하였고, 멸균처리한 무산소 serum bottles 100 ml에 소량 주입하였다. 여기에는 두 종류의 serum bottles들이 사용되었는데, 하나는 Fe-citrate(산화철, 액체)가 첨가되어 있는 무산소 용액이고, 다른 하나는 MnO_4 (산화망간, 고체)가 소량 들어있는 용액이다. KURT 미생물을 본 용기에서 한 달 이상 키운 후, 실험에 사용하였다. 실험은 Fe-citrate에서 키운 미생물(M1)과 MnO_4 에서 키운 미생물(M2), 그리고 비교실험을 위해 미국의 *Shewanella putrefaciens*(SP) 등 총 3가지의 미생물을 대상으로 실험하였다.

실험조건은 용액 100ml에 우라늄, 광물, 그리고 미생물을 투입하여, 미생물에 의한 우라늄 농도의 변화 및 광물의 영향 등을 살펴보았다. 초기 우라늄의 농도는 1×10^{-5} M 이었고, 광물은 흑운모(biotite, 1g/100ml)와 침철석(goethite, 0.03g/100ml) 두 종류로 하였다. 미생물 주입량은 각 bottle에 0.3 ml 씩 주사기를 이용하여 주입하였으며, 산소의 침투를 막기 위해 butyl rubber로 병 입구를 봉인하였다. 실험온도는 25°C, pH는 약 7.5 조건에서 11일간 실험하였다. 실험기간 동안에 우라늄 및 용존 무기원소들의 농도 변화를 확인하기 위해 일정한 간격으로 주사기를 이용하여 1ml 씩 채취하였고 0.2 μm syringe filter로 필터링하여 ICP-MS로 우라늄 농도를 분석 하였다.

실험결과를 Fig. 1에 나타내었는데, 11일의 실험기간동안 초기 용존하는 우라늄의 농도는 미생물에 의해 계속적으로 감소하였다. 미생물 중 SP의 우라늄 제거능력이 가장 탁월하였고, M2 역시 일정 기간(4일 후)이 경과한 후 대부분의 용존 우라늄의 농도를 낮추었다(Fig. 1a). 이러한 결과는 미생물에 의한 우라늄 환원작용에 기인된 것으로, +6가 우라늄이 +4가로 환원되면서 용해도가 급속히 감소하여 침전 되었거나 주변 광물 등에 수착된 것으로 보인다. Fig. 1b에서는 초기에 우라늄 농도가 급격히 감소되는데, 이는 광물질로 넣어준 침철석의 우라늄에 대한 탁월한 수착능력 때문인 것으로 추정된다. 여기서, 주목할 사실은 M1 미생물 bottle에서 광물 표면에 수착된 일부 우라늄의 탈착 현상을 관찰할 수 있다. 이는 우라늄이 수착되어 있는 침철석(α -FeOOH) 표면이 미생물에 의해 Fe(III)가 Fe(II)로 환원되면서 광물구성 성분인 Fe이 용해되고(Fig. 2), 공존하던 우라늄도 같이 용탈되어, 용액 내에 우라늄의 농도가 점차 증가되는 것으로 추정된다. Fig. 2에서 보듯이, 다른 미생물보다

M1 미생물에 의한 침철석의 Fe 성분 용해가 훨씬 크게 증가하였다는 사실로부터 미생물에 의한 Fe의 용출이 우라늄의 수확거동에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다(Fig. 1b).

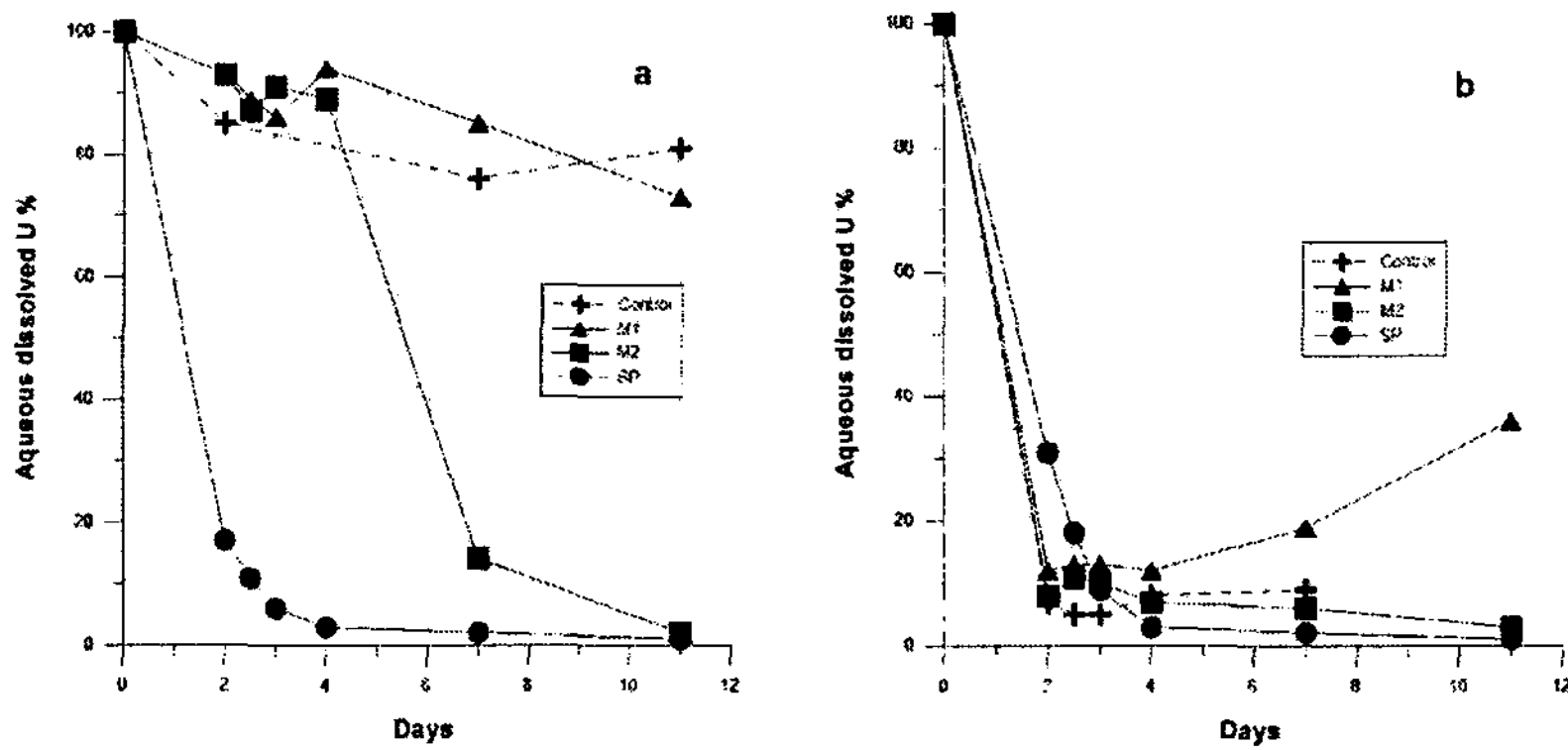


Fig 1. The variation trends of aqueous dissolved U % depending on the effects of microbial activity and surrounding minerals (a: biotite, b: goethite) in the anaerobic aqueous condition

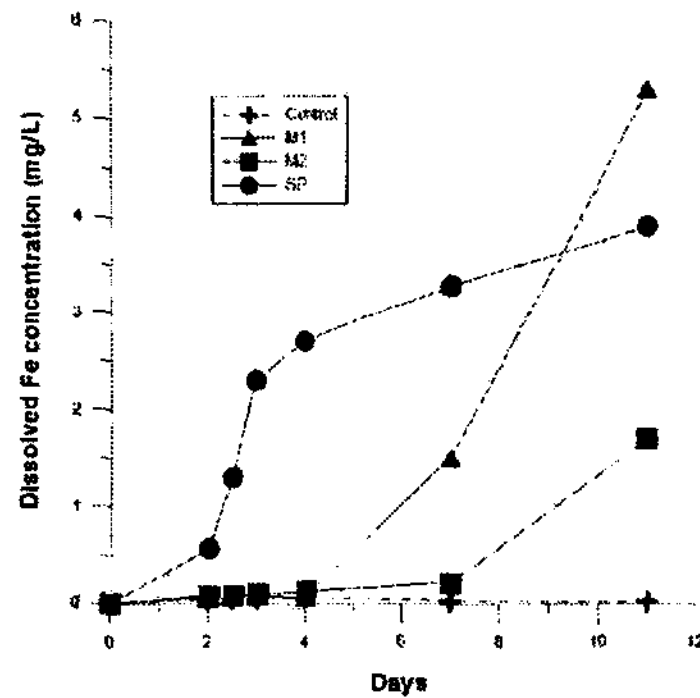


Fig 2. The increase of dissolved Fe concentrations in goethite containing bottles during the experiment

3. 결론

외국의 *Shewanella putrefaciens* 못지 않게 국내 토종 KURT 지하수 미생물도 환원작용을 통한 용액중의 용존 우라늄 제거 능력이 탁월함을 확인할 수 있었다. 현재 본 기사를 주도하는 미생물 개체를 단독배양하지는 못했지만, 추후 실험을 통해 우라늄 환원력이 탁월한 미생물 개체를 확보할 계획이다. 미생물에 의해 광물의 일부가 환원되며, 이에 따른 핵종들의 수확 및 탈착 거동이 영향을 받는다는 사실은 매우 흥미로운 현상이며, 앞으로 이에 대한 심도 있는 연구를 계획 중에 있다.

사 사

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일환으로 수행되었습니다.