

지하미생물에 의한 심부 지하수의 산화/환원 변화 특성

이승엽, 오종민, 백민훈, 정중태

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

seungylee@kaeri.re.kr

1. 서론

본 연구에서는 금속환원미생물들에 의한 지하수의 산화/환원전위(ORP, oxidation/reduction potential) 변화와 특성에 관한 실험을 실시하였다. 일반적으로 지하수는 깊은 심도일수록 산소 농도가 희박해짐과 더불어 Eh(표준수소전극) 값이 점차 낮아진다. 지표수와 같이 산소가 쉽게 녹아 들어갈 수 있는 조건에서는 Eh값이 플러스(+) 수백 mV의 값을 보이지만, 심부지하수는 마이너스(-) 수백 mV의 전위값을 갖는다[1]. 지하수의 낮은 Eh값은 그 지하수가 오랜 기간 산소의 유입이 많지 않았고 지속적으로 환원상태를 유지하고 있었음을 가리킨다. 만약, 그 곳 지하에 시추를 하거나 외부의 산화지하수가 유입된다면, 그 지하수의 pH를 비롯하여 수용액의 화학적 상수 값이 변할 뿐만 아니라, Eh의 급격한 상승을 초래할 수 있다. 특정 지역 지하수의 Eh는 주변 환경 및 산소 농도 변화에 굉장히 민감하다.

pH와 더불어 지하수의 Eh값은 매우 중요하게 취급되는 지화학적 인자(factor)로써, 대부분의 용존 금속이온이나 핵종원소들의 거동은 그 수용액의 pH 및 산화/환원전위 변화에 큰 영향을 받는다. 특히, 철 혹은 망간과 같은 전이금속원소들과 우라늄 및 플루토늄과 같은 핵종원소들은 동일한 pH 조건에서 산화/환원전위 변화에 매우 민감하게 반응하는 원소들이고 자신들의 산화수(oxidation state)가 바뀌게 되며[2], 결과적으로 용해도 및 흡착도가 달라지게 된다. 따라서, 지하환경의 Eh값은 그 곳 용존 화학종들에게 직접적인 영향을 끼치는 지화학적 인자이며, 특별히 원자력 폐기물 관점에서 용존 핵종들의 거동에 큰 영향을 미치는 요소이다.

지금까지 어느 특정 지역의 지하수의 Eh는 단순히 그 지역의 고유값으로만 생각하여 왔다. 하지만, 지하수의 Eh값은 여러 원인(용존산소 농도, 특정 원소(산화 혹은 환원제 역할) 등)에 의해 결정되며, 본 연구에서는 특별히 지하미생물이 산화/환원전위의 변화에 미칠 수 있는 영향에 대해서 살펴 보았다.

2. 본론

2.1 실험방법

실험에 사용된 미생물은 총 3가지로써, KURT (KAERI Underground Research Tunnel) 지하수로부터 채취 및 배양된 미시가넨시스와 바쿨라툼 2종류와 스와넬라 1 종류이다. 지하수는 KURT 지하 230m 지점에서 채수한 물을 대상으로 미생물에 의한 산화/환원 변화를 측정하였다. 미생물의 영향을 알아보기 위해 미생물이 없는 조건에서의 ORP도 측정하였다. 지하수 미생물의 활성을 돕기 위해 lactate 10 mM을 추가로 주입하였다.

2.2 지하수의 Eh 변화

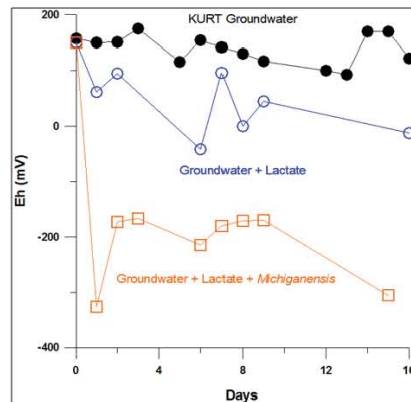


Fig. 1. Changes of Eh value of KURT groundwater by *Michiganensis*.

KURT 철환원 박테리아인 미시가넨시스는 KURT 지하수의 Eh 변화에 큰 영향을 미쳤다(그림 1). Lactate와 같은 전자공여체 혹은 영양분이 전혀 없을 때는 Eh의 변화가 거의 없었지만, lactate가 첨가되었을 때 지하수의 Eh가 약간 감소하는 경향을 보여 주었다. 또한, 실험실에서 배양된 미시가넨시스가 추가로 첨가되었을 때에는 Eh의 감소가 훨씬 두드러졌는데, 약 2주 동안의 실험에서 지하수의 Eh가 약 -300 mV까지 감소하였다.

미시가넨시스 박테리아 외에 황산염환원 미생물인 KURT 바쿨라툼과 다른 철환원 미생물인 스와넬라의 경우에서도 동일하게 지하수의 Eh 변화 및 감소가 나타났다. 더불어 KURT 바쿨라툼에 의해서는 환원광물인 맥키나와이트(FeS)가 다량 만들어 졌다(그림 2). 금속환원 미생물의 활동량이 늘어나면서 지하수의 Eh가 감소하는 경향을 보여주었으나, 미생물의 종류에 따라 감소폭은 서로 달랐다.

2.3 지하환경의 Eh가 핵종 거동에 미치는 영향

지하환경의 산화/환원 조건은 핵종 거동 및 이동에 매우 중요하다. 왜냐하면, 많은 핵종들은 다양한 산화수(oxidation state)를 가지고 있으며, 산화 정도에 따라 화학종들(chemical species)의 거동은 매우 달라진다. 특히, 핵종이 환원 혹은 산화되면서 용해도(solubility) 및 이동도(mobility)가 달라진다. 따라서, 지하환경에서의 Eh는 매우 중요하게 고려되어야 할 요소 중의 하나이며, Eh의 변화 원인 중의 하나가 지하 서식 미생물들임을 주지할 필요가 있다.

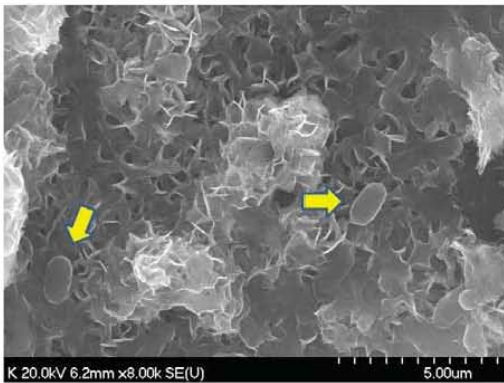


Fig. 2. A scanning electron microscopic image showing mackinawite(FeS) mineral biogenerated by KURT *Baculatum* (arrows).

3. 결론

지하환경에서 핵종들의 거동은 Eh에 의해 크게 영향을 받으며, 더불어 박테리아의 역할과 생광물(biogenic minerals) 형성 작용이 깊숙이 연관되어 있다. 따라서, 지구환경에서의 핵종들의 이동 경향은 핵종 원소들의 화학적인 특성과 더불어 지하미생물들의 역할에 강하게 의존하고 있음을 주지할 필요가 있다.

4. 감사의 글

본 논문은 교육과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 연구비를 지원받아 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] 한정상, 1998, 지하수환경과 오염. 박영사, 서울, 1071 p.
- [2] Zhang, P.C., Brady, P.V., 2002, Geochemistry of Soil Radionuclides. SSSA Special Publication Number 59, Soil Science Society of America, Madison, USA, 252p.