

방사성폐기물 지중처분시 미생물의 역할 및 중요성

이승엽, 백민훈, 최종원

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

seungylee@kaeri.re.kr

1. 서론

방사성폐기물 지중처분시 고려되어야 할 많은 요소들중에 지금까지 간과되어온 항목중의 하나는 지하미생물의 작용 및 영향일 것이다. 지하미생물은 지표면의 토양에서부터 지하 수 km까지 다양하게 분포하고 있는 생명체이다. 지표면 부근 혹은 지하심부에 처분되는 방사성폐기물들은 매질인 토양/암석/광물과 지하수, 그리고 유기물을 포함한 미생물과의 끊임없는 반응을 하게 된다. 지금까지 많은 연구자들이 지표 토양/암석과 지하수의 특성, 그리고 방사성폐기물과의 상호반응관계를 집중적으로 연구하였으나, 지표 및 지하매질 구성성분 중 중요한 요소인 지하미생물의 역할 혹은 중요성에 대해서는 간과해 온 것이 사실이다.

지하미생물의 가장 큰 특징중의 하나는 지하수의 산화/환원력(redox potential)을 쉽게 조절할 수 있는 능력을 가지고 있다는 점이다. 산화/환원 변화과정은 핵종 원소들의 거동에 매우 중요한 영향 인자중의 하나이다. 또한, 미생물은 자기복제(self-reproduction)을 통해 개체수를 기하급수적으로 증가시킬 수 있으며, 편모를 이용하여 원하는 곳으로 이동할 수 있다. 지하미생물들의 이러한 특이한 능력은 오랫동안 장기보관 및 저장될 방사성폐기물들과 매우 밀접하게 관련될 수 있는 특성들이다.

지하미생물적 과정은 처분되는 방사성폐기물에 대해 긍정적인 측면과 부정적인 측면을 동시에 가지고 있다. 본 발표는 이에 대한 구체적인 내용 및 세계적인 연구결과들을 종합 및 검토하여 지하미생물에 대한 이해를 높이고자 한다.

2. 토의

2.1. 지하미생물의 긍정적 측면

2.1.1. 지하수 화학작용 조절

지하미생물은 지하수 화학에 크게 영향을 주며, 환경조건에 맞게 매우 빠르게 변화시킨다. 지하수의 산화/환원 변화에 대해서 무엇보다도 크게 영향을 끼치며, 지하심부의 환원분위기를 주도한다. 특히, 단열대에 존재하는 지하수의 산소를 빠른시간내에 저감시켜 단열대의 화학적 안정성을 도모한다. 지하심부의 미생물들은 산소 없이도 생존할 수 있다. 일부 미생물들은 지중에 산소가 존재하면 죽는 개체도 있다. 하지만, 많은 종류의 미생물들은 만일 지중에 산소가 유입되면 이를 소모하면서 생존할 수 있음이 밝혀졌다[1].

2.1.2. 핵종 침전물 및 광물 형성

바이오-산화철광물은 주로 철을 함유한 환원지하수가 산소를 접하는 환경에서 미생물에 의해 만들어진다. 이렇게 만들어진 바이오-산화철은 핵종 및 미량원소들을 탁월하게 수착한다. Åspö HRL 실험결과에 의하면 바이오-산화철은 무기 산화철에 비해 탁월하게 미량원소들을 수착할 수 있음이 밝혀졌다[2]. 산화되어 이동성이 활발한 액티나이드 핵종원소들은 혐기성박테리아에 의해 환원되면서 용해도가 감소하고 미세 콜로이드 및 바이오광물로 형성되면서 침전된다.

2.1.3. 강한 생존력 및 핵종 수착력

미생물들은 점토 물질 내에서 오랫동안 생존할 수 있는데, 예를 들어 MX-80과 같은 상업용 벤토나이트 내에 황산염환원 박테리아가 다량 생존하고 있다는 사실에서 알 수 있다. 이 박테리아는 *Desulfovibrio africanus*라는 박테리아로 고온 및 높은 염농도를 견딜 수 있다[3]. 또한, 미생물은 표면이 음전하를 띠고 있어서 대부분의 양이온성 핵종들이 쉽게 미생물 표면에 수착될 수 있다. 이러한 핵종 수착이 진행되면서 미생물의 내부 및 외부에서 핵종들의 광물화가 점차 진행되는 과정으로까지 발전한다.

2.2. 미생물의 부정적 측면

인공방벽 내에 존재하는 벤토나이트 버퍼층 및 구리용기의 부식에 대해 미생물적 영향에 관한 연구가 최근에 진행되고 있다. 점토 버퍼층을 지나 구리용기 주변에 존재하는 미생물들은 구리 용기의 부

식을 가져올 수 있다. 구리용기 표면에 바이오막(biofilm)을 형성하거나 황화물을 형성하여 구리용기의 부식을 가속화 시킬 수 있다.

벤토나이트의 주 구성광물인 몬토릴로나이트의 일라이트화 작용이 철환원 미생물 존재시 매우 빠른 속도로 진행될 수 있음이 최근 보고되었다[4]. 또한, 중저준위폐기물과 같이 유기물 및 영양분이 많은 폐기물인 경우, 미생물의 분해작용에 의해 CO₂의 발생이 지속적으로 증가할 수 있다고 알려져 있다[5].

3. 결론

방사성폐기물의 지상 혹은 지중격리 방법은 주로 지질학적, 수리학적, 그리고 물리/화학적 요소만을 고려하고 미생물적 요소는 고려 대상이 되지 못하였다. 하지만, 최근의 연구결과들에 의해 나타나듯이 지하미생물의 작용과 역할이 매우 크고, 특히 방사성 폐기물과 같이 매우 오랫동안 장기 처분 및 보관되며 산화/환원에 민감한 물질들은 그 영향이 매우 크다 하겠다. 국내에서는 유일하게 한국원자력연구원에서 핵종/미생물/광물과의 상호복합반응에 대한 연구를 수행하고 있으며, 지하미생물에 의해 영향받는 다양한 핵종들의 거동특성을 파악하여 안전성평가 자료로 활용함으로써, 향후 보다 체계적이고 안전한 방사성폐기물처분 시스템을 구축하고자 노력하고 있다.

참고문헌

- [1] Kotelnikova, S., Pedersen, K., 1999. SKB TR-99-17, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- [2] Andersen, C.R., Pedersen, K., 2003. *Geology*, 1, 169-178.
- [3] Masurat, P., 2006. Thesis, Göteborg University, Göteborg, Sweden.
- [4] Kim, J.W., Dong, H., Seabaugh, J., Newell, S., Eberl, D., 2004. *Science*, 303, 830-832.
- [5] Wang, Y., Francis, A.J., 2005. *Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences*, 6, 43-50.