

황산염환원박테리아에 의한 핵종의 나노광물포획 특성 연구

이승엽, 오종민, 백민훈, 최종원
 한국원자력연구원, 대전 유성구 대덕대로 1045
 seungylee@kaeri.re.kr

1. 서론

방사성폐기물을 지하처분장에 처분하였을 때, 핵종 누출을 대비한 용기, 벤토나이트 버퍼층, 시멘트 방어벽, 그리고 자연방벽 등 다양한 요소들의 방벽들이 고려되고 있다. 하지만, 이러한 인공 및 자연방벽 외에도 지하에 서식하는 미생물들의 활동에 의해 누출된 핵종들의 이동이 억제될 수 있다는 사실이 최근 보고되고 있다[1, 2]. 지하미생물의 종류는 매우 다양하지만, 핵종 이동에 매우 밀접히 관련된 금속 환원미생물에 대한 연구가 최근 활발히 이뤄지고 있다. 본 연구에서는 금속환원미생물 중에서 지하수의 황산염을 환원시키는 황산염환원박테리아(SRB)에 대한 연구를 수행하였다. SRB는 황산염환원을 통해 황화광물을 쉽게 형성할 수 있는데, 이러한 생황화광물(biogenic sulfide)이 핵종거동에 미치는 영향에 대해 살펴 보았다.

2. 본론

2.1 실험방법

본 실험에 사용된 미생물은 SRB 미생물 중 *Desulfovibrio Vulgaris*와 *Deusulfovibrio Desulfuricans* 두 가지이다. 두 미생물은 *Desulfovibrio*라는 같은 속에 속해 있지만, 다른 종으로써 두 미생물의 차이점을 통해 SRB의 특성을 이해하고자 사용하였다.

두 미생물은 배양액을 통해 일정시간 동안 배양시킨 후, 실험에 사용하였다. 실험용 용액은 다음과 같은 조건으로 100 mL의 용액으로 제조하여 실험에 사용하였다. NaHCO₃ buffer (30 mM), Na-lactate (10 mM), Fe(II)-sulfate (2 mM). 이러한 배경용액에 우라늄을 50 µM 추가하였고, 일정량의 미생물도 같이 주입하여 우라늄의 흡착 및 제거를 관찰하였다. 실험은 glove box에서 수행하였으며, 대기조건은 N₂:CO₂ = 80:20 이었다. 시료는 필요시 매 2 mL씩 채취하여 분석하였으며, 용액의 pH 및 ORP의 변화는 실험기간동안 계속 모니터링하였다. 실험은 약 2

주간 수행하였다.

2.2 결과

미생물에 의해 만들어진 황화광물은 mackinawite(FeS)라는 검은색을 띠는 판상광물이었다(Fig. 1).

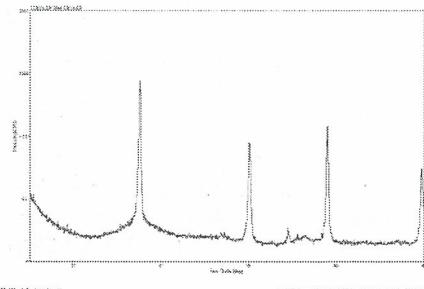
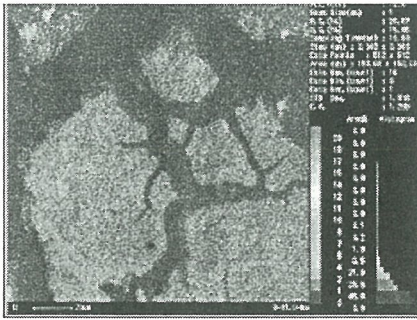


Fig. 1. X-ray diffraction pattern of mackinawite

이러한 mackinawite 광물은 실험시작 후 약 3일이 지난 후부터 생성되기 시작하였으며, 이 광물이 생성될과 동시에 용액의 Eh값은 약 -350 mV 이하로 떨어졌으며, *Desulfuricans*의 경우에는 약 -500 mV 가까이 감소하였다. 이러한 사실은 SRB 미생물에 의해 용액의 환원조건이 강화되고 핵종이동을 저지하는데 매우 특별히 작용될 수 있음을 암시한다.

용액상에 존재하는 우라늄은 황화광물이 형성되면서 일부 우라늄이 황화광물내로 포획(incorporation)되는 현상이 관찰되었다(Fig. 2). Fig. 2에서 보는 것처럼, *Vulgaris*와 *Desulfuricans*에 의해 형성된 mackinawite 광물에 우라늄이 포획된 사실이 전자현미분석에 의해 확인되고 있다. 주목할 만한 사실은 *Vulgaris*에 의해 포획된 우라늄의 양이 *Desulfuricans*에 비해 작다는 사실이다. 이는 미생물에 의해 환원되는 용액의 Eh 감소와 관련성이 있어 보이며, 용액의 환원능력이 우수한 미생물일수록 황화광물에 더 많은 핵종들을 포획할 수 있다는 사실을 알 수 있다.

(a)



(b)

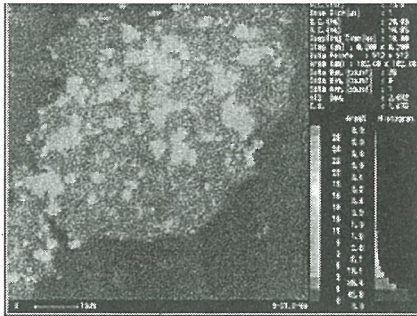


Fig. 2. Uranium distribution patterns onto mackinawite by (a) *Vulgaris* and (b) *Desulfuricans*.

3. 결론

지금까지는 황화광물에 대한 핵종들의 수착 연구가 상당히 진척되었고 황화광물의 핵종수착 능력이 탁월하다는 사실이 어느정도 알려졌다. 하지만, 황화광물에 의한 핵종포획 특성은 아직까지 관찰되거나 규명되지 못하였다. 본 실험은 SRB 미생물에 의해 핵종원소인 우라늄이 mackinawite 라는 황화광물에 포획됨을 관찰하였으며, 보다 낮은 Eh 조건에서 더 많은 핵종들의 포획이 일어날 수 있다는 사실을 알게 되었다.

본 연구는 지하에서 용출되거나 누출되어 이동하는 핵종들을 미생물의 황화광물에 의한 포획과정에 의해 핵종들을 장기적으로 안정하게 이동저지함으로써 지하처분장의 핵종거동 장기안정성을 한층 더 강화하는데 큰 의의가 있는 것으로 사료된다.

4. 감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 원자력연구개발사업의 기금을 지원받아 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

5. 참고문헌

- [1] Suzuki, Y., Kelly, S.D., Kemner, K.M., Banfield, J.F., Nature, Vol. 419, pp. 134, 2002
- [2] Fredrickson, J.K., Zachara, J.M., Kennedy, D.W., Duff, M.C., Gorby, Y.A., Li, S.M.W., Krupka, K.M., Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 64, pp. 3085-3098, 2000