

방사성세슘 바이오-광물화 제거기술 개발

이승엽^{1*}, 황진하¹, 김승수¹, 백민훈¹, 서범경¹, 이민희²

¹한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

²부경대학교, 부산광역시 남구 용소로 45

*seungylee@kaeri.re.kr

1. 서론

후쿠시마 원전사고처럼 '중대사고'가 발생했을 때, 다량의 방사성물질들이 유출되어 주변 생태계를 심각하게 오염시킬 수 있다. 이러한 방사성물질 중에는 '방사성세슘'이라는 반감기가 길고(¹³⁷Cs: half-life 30 y), 물에 용해되면 잘 침전 및 흡착되지 않는 핵종들도 있다. 특히 후쿠시마 사례처럼 다량의 이온들이 공존하는 해수에 용해되었을 때에는 기존의 흡착제들을 이용하여 제거하기가 쉽지 않다.

지금까지 개발되어 온 대표적인 세슘 흡착제로는 제올라이트 및 CST (crystalline silicotitanate), 그리고 metal ferrocyanide 등이 있다. 이러한 흡착제들은 뛰어난 세슘 흡착능을 보여주고 있으나, 소재를 개발하는데 많은 시간과 비용이 소모될 뿐만 아니라 주 제거방식이 '흡착'이어서 추후 처분시 '탈착' 등의 위험을 안고 있다. 이러한 사정때문에 세슘을 흡착한 물질을 다시 안정화시키는 과정이 추가로 필요로 한다.

본 연구에서는 이러한 문제점들을 개선하고자, 미생물을 이용한 새로운 방식으로 방사성세슘을 제거하며 안정화시키는 기술을 개발하였고 이를 소개하고자 한다.

2. 본론

2.1 실험방법

세슘 바이오-광물화 제거 실험을 위해 먼저 자연계에 존재하는 미생물을 배양하였다. 사용된 미생물은 땅속 깊은 곳에 서식하는 황산염환원박테리아 (sulfate-reducing bacteria; SRB)이며, 영양배지를 만들어 주기적으로 배양하였다. 자세한 배양 과정은 오종민 외[1]에 잘 기술되어 있다.

세슘 제거를 위한 용액시료는 다음과 같이 준비하였다. 실험용 용액은 질소가스로 퍼징하여 환원상태로 만들었으며, 담수조건과 해수조건으로 각각 준비하였다. 담수조건에서는 NaHCO₃ (3 mM) 바탕 용액에 FeCl₂, Na₂SO₄, 그리고 lactate 등을 각각

넣어주었고 다양한 농도(0.01-10 ppm)로 세슘이온을 주입하였다. 세슘 농도를 높이지 않은 이유는 후쿠시마 고방사성 세슘 오염수조차도 농도로는 1.0 ppm을 넘지 않기 때문이다. 그 후 미리 배양된 SRB를 주사기로 약 1 ml 주입하고 30°C 조건에서 교반기로 교반하였다. 그리고 주기적으로 주사기를 이용하여 용액시료를 채취하여 0.2 µm로 여과하여 세슘 농도의 변화를 살폈다. 실험용 해수 용액은 서해바다 태안 부근에서 채취한 바닷물을 사용하였으며, 담수 조건과 실험은 동일하나 Fe 농도를 다양하게 하였으며 sulfate는 따로 넣어주지 않았다.

방사성세슘(¹³⁷Cs) 제거실험에서는 방사성 용액을 초기 133 Bq/ml로 준비하였고 일정한 주기로 용액시료를 채취하여, 0.2 µm로 여과한 후 radioactivity를 감마분석기로 분석하였다.

SRB 대사활동 과정에서 침전한 고체 시료는 따로 동결건조한 후, X-선회절분석 및 주사전자현미경 등을 이용하여 광물분석을 실시하였다.

2.2 실험결과

세슘 광물화 실험에서 lactate를 넣어준 이유는 lactate가 미생물에 의해 분해되면서 전자공여체 역할을 수행토록 하고자 하였으며, sulfate는 전자수용체가 되어 황화이온(S²⁻)으로 변화되었다. 황화이온은 매우 반응성이 커서 메탈류 및 알칼리원소들과 결합하여 새로운 결정광물들을 만든다.

담수용액에서 수행한 실험결과를 살펴보면, 세슘 0.1 ppm 조건에서 약 95% 이상의 세슘이 제거되었으며, 0.01 ppm 조건에서는 1 day 이후에 거의 100% 가까운 세슘 제거율을 보여주고 있다(Fig. 1). 이러한 결과는 기존 고가의 흡착제들과 비교해 볼 때 큰 차이가 없으며, 오히려 발생하는 폐기물의 양이 0.1 g/1 L로 극히 작아 큰 장점을 가지고 있다.

본 실험에서 세슘이 제거되는 원리가 환경소재에 흡착되는 것이 아니라 세슘이 광물화되어 침전되기 때문인데, 발생하는 폐기물이 검은색의 '파우토타이트 (pautovite); CsFe₂S₃)'라고 하는 결정성 황화광물로

산출되며, 장점으로는 추후 폐기물 안정화과정이 따로 필요 없다는 것이다.

해수조건 실험에서는 현재 일본 후쿠시마에 사용 중인 미국 'UOP사'의 상업용 흡착제(IONSV R9160-G)와 비교 실험하였다. 실제 방사성세슘 (^{137}Cs)을 해수에 주입하고 동일한 실험 조건하에서 세슘 제거량을 상호 비교하였다. 실험결과 미생물에 의한 세슘 광물화방식이 매우 효과적임을 알 수 있었다.

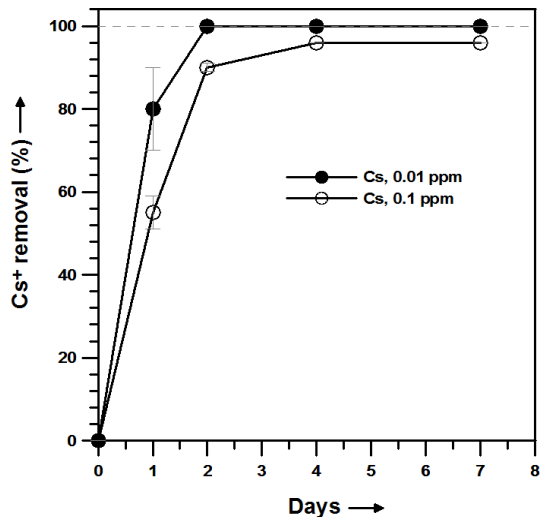


Fig. 1. Characteristic cesium removal patterns for Cs-freshwaters by microbial cesium mineralization.

3. 결론

후쿠시마 원전사고 이후 방사성세슘에 대해서 많은 관심과 연구가 수행되었고, 세슘을 선택적으로 흡착할 수 있는 물질들이 많이 개발되었다. 하지만, 지금까지 빠른 흡착 제거에만 관심을 가지다보니, 처리 비용 및 추후 안정화 방안까지 고려하지 못했던 게 사실이다. 본 연구에서는 이러한 문제점들을 극복하기 위해 최신 바이오테크놀로지를 이용하여 해수조건에서도 세슘을 고효율 광물화 형태로 제거함으로써, 추후 안정화과정이 필요 없이 신속한 지중 처분이 가능토록 하였다.

4. 참고문헌

- [1] 오종민, 이승엽, 백민훈, 노열, "한국원자력연구원 지하심부 미생물에 의한 용존우라늄 제거 및 광물화 특성", 한국광물학회지, 23(2), 107-115 (2010).