

## 저농도 방사성오염토양의 생물학적 정화 방법 연구

박혜민, 김계남, 손동빈, 김기홍\*, 이기원, 정운수  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045  
 \*선광원자력안전(주), 대전광역시 유성구 용산동 553-2  
[hvempark@kaeri.re.kr](mailto:hvempark@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

방사성 오염토양은 원자력시설 주변 지하에 매설된 폐액저장 탱크 및 연결 관들의 노화로 인한 방사성폐액의 누출과 예기치 못하게 발생하는 오염사고로 인해 발생되고 있다. 이 오염토양 전량을 방사성폐기물처분장에 처분할 경우 많은 비용이 소요될 뿐만 아니라 처분장의 포화기간을 앞당기는 문제가 발생한다. 따라서 비교적 낮은 농도로 오염된 방사성 오염토양을 일반매립이 가능한 수준으로 처리한다면 이러한 문제를 해결할 수 있다. 기존 토양으로부터의 오염원 제거에는 일반적으로 토양세척 (soil washing) 기법이 효과적인 정화방식으로 제시되었으나 세척폐액과 같은 2차 오염물질을 발생하는 단점이 있으며 동전기 방법은 처리효율이 높은 편이지만 운전비용이 높은 문제점이 있다. 미생물학적 토양복원 기술은 방사성 오염물질을 섭취하는 미생물을 이용하여 생물학적 용출 (bioleaching) 방법으로 고가의 장치 제작이 필요 없고, 저렴한 비용으로 다량의 오염물질을 제거할 수 있는 방법이다.

예비실험 통해 방사성 핵종을 섭취하는 미생물의 배양 촉진을 위해 효소를 주입함으로써 방사성물질의 제거 가능성을 확인 한 바 있으나, 처리효율이 낮아 실험방법의 개선이 필요하다고 판단되었다. 따라서 본 연구는 고효율 생물학적 방사성 토양 정화 시스템 구축을 위하여 미생물 생장을 향상을 위한 효소의 주입비, pH, 온도 등의 최적 제염 조건 도출을 위한 실험방법 개선 및 평가를 목적으로 한다.

### 2. 실험방법 및 결과

#### 2.1 생물학적 방사성오염토양 정화 예비실험

실험에 사용한 방사성 오염토양은 원자력 연구원 내의 방사성폐기물 저장고에 보관중인 우라늄 오염토양, 코발트와 세슘오염토양을 파쇄기를 이

용하여 1.0 cm 이하로 파쇄한 후 0.375 mm의 체를 이용하여 시료를 균등화하여 사용하였다. 미생물 배양 촉진 효소는 M사에서 제공받아 사용하였으며, 토양 400 g에 증류수 1 L와 미생물 배양 촉진 효소 0.5 %를 주입하였다. 150 rpm으로 혼합 배양 하였을 때 우라늄 오염토양은 반응 20일 후 초기 농도 대비 71.3 % 제거되는 것으로 나타났으며, 코발트·세슘 오염 토양은 반응 42일 후 초기농도의 61.4 %가 제거되는 것으로 나타났다. 실험을 통해 미생물 배양 촉진 효소를 주입함으로써 토양중 방사성 오염원의 처리 가능성을 확인하였으며, 효소 주입비율 등의 조건을 개선한다면 고효율의 생물학적 방사성 토양 정화 시스템 개발이 가능할 것으로 판단되었다.

#### 2.2 생물학적 방사성토양 정화 실험의 개선 방법

고효율 생물학적 방사성 토양 정화 시스템 구축을 위하여 구체적으로 실험을 수행하였다. 미생물을 이용한 토양 정화 시 반응에 영향을 미치는 인자는 처리하고자 하는 오염원을 제거하는 미생물 선정 및 미생물 성장에 관여하는 최적 pH와 온도 등으로 알려져 있어 이러한 영향인자에 변화를 주어 실험을 수행하였다.

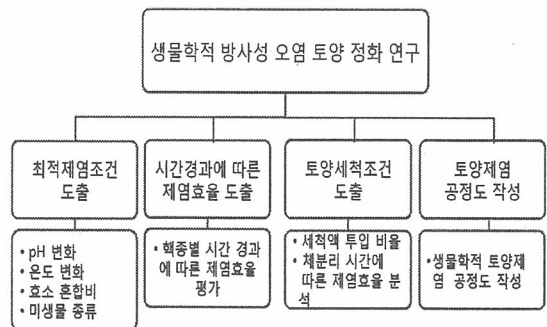


Fig. 1. 생물학적 방사성 오염토양정화 프로세스

본 연구를 통해 수행된 생물학적 방사성 토양 정

화 실험은 Fig. 1 에 나타난 바와 같이 진행된다.

모든 반응 시료는 500 mL 비이커를 반응기로 하여 균등화된 토양 400 g 과 증류수 1000 mL를 넣어 준비하였다. 150 rpm 교반 조건의 shaking incubator에서 미생물 배양 실험을 수행하였다. 반응 기간 동안 일정한 간격으로 토양 시료 20 g 을 채취하여 200 mesh 체 (sieve)에 놓고, 증류수를 사용하여 수차례 뒤집어 주면서 washing 하여 방사성 물질을 포함한 미생물이 물과 함께 제거 되게 한다. 각각의 세부 실험조건은 아래와 같은 조건으로 구성하였다.

(1) 최적 제염조건 도출

① 미생물 배양 촉진 효소 주입비에 따른 토양 제염 평가

- a) 우라늄 오염토양 400 g + D.I water 1000 mL + 미생물 배양 촉진 효소 0.5 %
- b) 우라늄 오염토양 400 g + D.I water 1000 mL + 미생물 배양 촉진 효소 1 %
- c) 우라늄 오염토양 400 g + D.I water 1000 mL + 미생물 배양 촉진 효소 2 %
- d) 우라늄 오염토양 400 g + D.I water 1000 mL + 미생물 배양 촉진 효소 4 %

② pH 변화에 따른 토양 제염 평가

- a) 우라늄 오염토양 400 g + D.I water 1000 mL + 미생물 배양 촉진 효소 1 % (pH 4.5)
- b) 우라늄 오염토양 400 g + D.I water 1000 mL + 미생물 배양 촉진 효소 1 % (pH 6.0)
- c) 우라늄 오염토양 400 g + D.I water 1000 mL + 미생물 배양 촉진 효소 1 % (pH 7.5)

③ 온도 변화에 따른 토양 제염 평가

- a) 우라늄 오염토양 400 g + D.I water 1000 mL + 미생물 배양 촉진 효소 1 % (25℃)
- b) 우라늄 오염토양 400 g + D.I water 1000 mL + 미생물 배양 촉진 효소 1 % (40℃)

(2) 시간경과에 따른 제염효율 도출

① 핵종별 시간경과에 따른 제염효율 평가

- a) 저농도 우라늄 오염토양 400 g + D.I water 1000 mL + 미생물 배양 촉진 효소 1 %
- b) 고농도 우라늄 오염토양 400 g + D.I water 1000 mL + 미생물 배양 촉진 효소 1 %
- c) 저농도 코발트 세슘 오염토양 400 g + D.I water 1000 mL + 미생물 배양 촉진 효소 1 %
- d) 고농도 코발트 세슘 오염토양 400 g + D.I

water 1000 mL + 미생물 배양 촉진 효소 1 %

(3) 토양세척조건 도출

- ① 세척액 투입비율
- ② 체분리 시간에 따른 제염효율 분석

2.3 분석방법

토양 시료의 우라늄과 코발트 와 세슘 농도는 오염토양을 건조한 후 20g을 계측 용기에 담아 MCA(Multi-Channel Analyzer)를 이용하여 측정하였다. 반응 시료의 pH 측정은 pH meter(HI 8014, HANNA instruments)를 사용하여 측정하였다.

3. 결론

예비실험을 통하여 미생물 배양 촉진 효소를 주입함으로써 방사성오염 토양의 정화 가능성을 확인하였다. 효소의 주입 비율, 반응 pH, 미생물 배양 온도 및 반응 후 토양 세척비 등의 실험방법을 개선하여 실험진행 중이며, 만족스러운 결과를 얻을 수 있을것이라 예상된다. 본 연구결과로 최적 제염조건이 도출된다면 경제적인 저농도 방사성 오염토양 복원공정으로 사용될 것이라 기대한다.

4. 참고문헌

- [1] 김계남, 정운호, 이정준, 문제권, 정종현, 정운수, 방사성오염토양 제염을 위한 동전기세정 장치 개발, 방사성폐기물학회지, 6(1),p.1-9, 2008.
- [2] 김성민, 장암, 이종운, 최희철, 김경웅, 김인수, 철산화균의 생물학적 침출을 이용한 함우라늄 흑색세일로 부터의 우라늄 제거, 대한환경공학회지, 24(12), p. 2129-2138, 2002.
- [3] A.J. Francis, Bioremediation of radionuclide and toxic metal contaminated soils and wastes, Environ,Sci, Technol., 32(24), p.3993-3998, 1998.