

방사성오염토양의 생물학적 복원에서 미생물 종류가 제염효율에 미치는 영향

박혜민, 김계남, 손동빈, 김완석, 김기홍, 이건우, 이기원, 문제권
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
hvcmpark@kacri.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. 기존 토양오염복원 공정으로 토양세척 (soil washing) 기법이 효과적인 정화방식으로 제시되었으나 세척폐액과 같은 2차 오염물질을 발생하는 단점이 있으며 동전기 방법은 처리효율이 높은 편이지만 운전비용이 높은 문제점이 있다. 생물학적 토양복원 기술은 고가의 장치 제작이 필요 없고, 저렴한 비용으로 다량의 오염물질을 제거할 수 있는 방법이다. 오염토양의 생물학적 복원을 위해서 오염물질 제거에 적합한 미생물 선정 및 생장률 향상을 위한 효소 주입 비, pH, 온도 등의 영향 파악을 위한 연구가 필요하다. 본 연구는 생물학적 방사성 오염토양 복원 방법에서 주입 미생물이 오염토양 복원에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

2. 본론

실험에 사용한 방사성 오염토양은 원자력 연구원 내의 방사성폐기물 저장고에 저장중인 코발트와 세슘오염토양을 사용하였다. 생물제염에 있어서 미생물의 영향을 관찰하기 위해 *Deinococcus radiodurans*, *Achromobacter*, *Stenotrophomonas sp.*, *Citrobactor*의 배양액을 반응기에 주입하였다. *Deinococcus radiodurans*는 호극성 미생물로 치명적인 수준의 방사선이나 온도, 수분의 결핍이나 유전자 독성 화학물질의 노출에도 영향을 받지 않고 생존할 수 있는 미생물로서 최근 이 균을 이용한 중금속 등의 제거에 관한 연구가 수행되고 있다. *Achromobacter*, *Stenotrophomonas sp.*, *Citrobactor* 등의 미생물은 biosorption 기능을 가진 미생물로 알려져 있는데, biosorption은 금속 혹은 유해 독성 물질이 녹아있는 용액에서

생물의 흡착 성질을 이용하여 제거하는 기술로 미생물을 이용하여 중금속을 선택적으로 분리하여 산업 폐기물에서 중금속의 제거와 고가금속의 회수, 토양에서 오염물질의 제거 등에 이용된다. 따라서 이와 같은 미생물을 반응기에 주입하여 생물학적 제염 실험을 수행하였으며, 각 미생물들의 제염 효과를 분석하였다.

500 mL 비이커를 반응기로 하여 오염토양 200 g과 토양 무게대비 1%의 biopenatron을 주입하였다. 미생물 배양 촉진 효소인 biopenatron은 M사에서 제공받아 사용 하였다. 반응기에 각 미생물 배양액 10%를 주입하고, 혼합을 위해 각 반응기에 물 200 g을 첨가하여 섞어 주었다. 생물학적 반응은 25 °C, 150 rpm 교반 조건의 shaking incubator에서 미생물 배양 실험을 수행하였다. 반응 기간 동안 일정한 간격으로 토양 시료 20 g을 채취하여 200 mesh 체 (sieve)에 놓고, 증류수를 사용하여 세척하여 방사성 물질을 포함한 미생물이 물과 함께 제거되게 하였다. 반응기에서의 미생물 사멸 등을 우려하여 2주 간격으로 미생물 배양액과 biopenatron을 추가 주입 하였고, 대조군으로 미생물을 첨가하지 않고 물과 오염토양만 섞어 반응시킨 토양을 세척하여 잔류 방사성 농도를 측정하였다. 토양 시료의 코발트와 세슘 농도는 오염토양을 건조한 후 20 g을 계측 용기에 담아 MCA(Multi-Channel Analyzer)를 이용하여 측정하였다. 반응 시료의 pH 측정은 pH meter (HI 8014, HANNA instruments)를 사용하여 측정하였다.

반응 60일 경과 후 미생물 종류에 따른 제염 효과를 아래 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 *deinococcus radiodurans* 주입 토양의 경우 초기 코발트 농도 202.4 Bq/kg에서 71.92 Bq/kg로 약 71.9 % 제염되었고 biosorption 기능을 가진 미생물 *Achromobacter*주입 토양은 234 Bq/kg 에서 37.95 Bq/kg로 약 85.8 % 제염되었다. *Stenotrophomonas sp.*, *Citrobactor*는 각

187.4 Bq/kg에서 65.3 Bq/kg로 65.2%, 182 Bq/kg에서 65.4 Bq/kg로 65.4 % 제염된 것으로 나타났다. 세습의 농도 변화는 *deinococcus radiodurans* 주입 토양의 경우 초기 세습 농도 211.13 Bq/kg에서 186.4 Bq/kg으로 약 13.3 % 제염되었고, *Stenotrophomonas sp.*, *Citrobactor*는 각 150.2 Bq/kg에서 121.4 Bq/kg로 19.2 %, 187.6 Bq/kg에서 148.6 Bq/kg로 20 % 제염되었다.

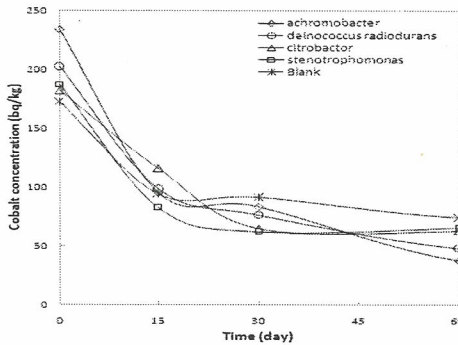


Fig. 1. 반응시간에 따른 방사능 오염토양 중 코발트 농도의 변화.

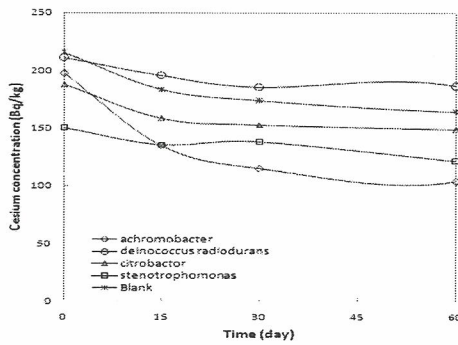


Fig. 2. 반응시간에 따른 방사능 오염토양 중 세슘 농도의 변화.

눈에 띄는 점은 *Achromobacter* 주입 토양의 경우 초기 농도 197.6 Bq/kg에서 104 Bq/kg 로 약 47.4% 제염 되는 것으로 나타났다. 또한 반응 경과 시간에 따라 제염 효율이 점점 향상되어 세습 제염에 효과가 있는 것으로 판단된다. 대조군으로 미생물을 첨가하지 않고 물과 오염토양만 섞어 반응시킨 세척 토양의 방사능 농도 측정결과 코발트의 경우 초기 농도 대비 약 56%, 세습 23.6 % 제염 되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 반응 후 미생물 분리하는 세척과정에서 미세토에 흡착된 오염물질이 제거된

것으로 사료된다. 따라서 세습 제염에 있어서 *deinococcus radiodurans*, *Stenotrophomonas sp.*, *Citrobactor*의 주입 영향은 미비한 것으로 판단되며 토양 세척에 의한 오염물질 농도 감소로 판단된다. 본 결과를 통하여 방사능 오염 토양의 생물학적 복원 공정에 있어서 유효한 미생물은 *Achromobacter* 로 판단된다.

3. 결론

생물학적 방사능 오염토양 복원 방법에서 주입 미생물이 오염토양 복원에 미치는 영향을 파악하기 위한 실험을 수행하였다. 방사능으로 오염된 토양에 *Deinococcus radiodurans*, *Achromobacter*, *Stenotrophomonas sp.*, *Citrobactor* 미생물 배양액을 주입하여 제염효율을 분석한 결과 *Achromobacter* 미생물 배양액을 주입할 경우 코발트 초기농도 234 Bq/kg 에서 37.95 Bq/kg로 약 85.8 %, 세습 초기농도 197.6 Bq/kg에서 104 Bq/kg 로 약 47.4% 제염 되는 것으로 나타났다.

4. 참고문헌

- [1] 김계남, 정윤호, 이정준, 문제권, 정중현, 정운수, 방사성오염토양 제염을 위한 동전기세정장치 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.
- [4] D. R. Lovley, E. J. P. Phillips, Bioremediation of uranium contamination with enzymatic uranium reduction, *Environ. Sci. Technol.* 12(11), p.2228-2234, 1992.
- [5] Hassan Brim, Sara C. McFarlan, James K. Fredrickson, Kenneth W. Minton, Min Zhai, Lawrence P. Wackett, Michael J. Daly, Engineering *Deinococcus radiodurans* for metal remediation in radioactive mixed waste environments, *nature biotechnology*, 18, p. 85-90, 2000.