

# 우라늄 오염 토양의 입도별 세척효율

한규성\*, 김승수, 김일국, 김계남, 구대서, 최종원  
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111  
\*gyuseong@kaeri.re.kr

## 1. 서론

한국원자력연구원 내 우라늄변환시설은 건설된 지 20년 이상 경과하여 설치된 대부분의 장치들이 노후 되어 2001년도부터 이 시설에 대한 해체를 결정한 이래, 현재 모든 해체공정은 완료되었다. 발생된 폐기물은 약 83%가 금속류, 전선류 약 3%, 토양 및 콘크리트 약 6%, 기타 잡고체가 약 3%로 구성되어 있다. 이러한 해체폐기물 중 현장제염이 가능한 폐기물 이외에 토양이나 콘크리트 같은 제염이 어려운 폐기물은 임시저장고에 보관 중이다[1]. 연구원 내에서 보관 중인 우라늄 오염 토양 폐기물은 약 14,000 드럼으로 효과적인 처분을 위해 부피감용이 필요하며, 부피를 감용하기 위한 방법으로 토양세척 방법을 이용하고자 한다.

토양세척기법은 1970년대 말에 유류 유출로 인해 오염된 해안가 모래를 정화하기 위하여 미국환경보호청(United State Environmental Protection Agency: USEPA)에 의해 개발된 방법으로, 적절한 세척제를 사용하여 토양입자에 결합되어 있는 유해 유기물질 및 중금속을 제거하기 위하여 처음 시도되었다[2].

본 연구에서는 우라늄 오염 토양 폐기물을 입도별로 분리하여 입도별 토양세척에 따른 우라늄 제거 효율을 확인하고 세척제염 가능성을 파악하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 실험재료

실험에서 사용한 우라늄 오염 토양은 연구원 내에 임시저장고에 보관 중인 토양을 사용하였으며, 표준체(2 mm)를 이용하여 2 mm이하인 토양을 사용하였다. 세척제는 황산 1M을 이용하였으며, 세척장치는 RPM이 조정가능한 실험용 교반기를 이용하여 150 RPM으로 세척하였다.

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 토양 입도분리

일반적으로 토양세척법에서 세척효율이 효율적인 토양의 입도범위는 2~0.2 mm으로 비교적 큰 모래입경범위로 알려져있다. 따라서, 토양을 표준체 2 mm, 1 mm, 0.45 mm, 0.15 mm를 사용하여 입도분리한 건식분리, 건식분리 후 습식분리한 각각의 농도를 측정하여 비교하였다.

#### 2.2.2 토양세척법

습식분리 후 토양을 이용하여 세척제염을 수행하였으며, 토양과 세척제의 비는 1 g : 2 ml, 세척제는 황산 1 M, 온도 60°C, 3 시간, 2회 세척하여 각각의 입도별 방사능 농도를 측정하였다.

#### 2.2.3 분석방법

우라늄은 알파 핵종으로 토양 중 우라늄 농도를 직접 측정하기가 쉽지 않아, U-238 → Th-234 → Pa-234m의 감쇄체인으로부터 Pa-234m의 감마선(1001 KeV)을 이용하여 간접적으로 측정하였다. 측정기기는 고순도 게르마늄 검출기를 가진  $\gamma$ -spectrometry(Canberra, Genie 2000)을 이용하였으며, 시료용기는 한국표준연구원에서 제작한 80 mL 마리넬리비이커를 사용하였다[3].

## 2.3 결과

초기 입도별 방사능의 농도는 건식분리 후 토양 입도별 방사능 농도는 2~1 mm에서 12.44 Bq/g, 1~0.45 mm에서 10.95 Bq/g, 0.45~0.15 mm에서 25.38 Bq/g으로 각각 나타나 입도가 작아질수록 우라늄 농도가 증가하는 경향을 나타냈다.

위 시료를 습식분리 한 후 우라늄 농도를 측정하였을 때, 2~1 mm에서 6.75 Bq/g, 1~0.45 mm에서 4.72 Bq/g, 0.45~0.15 mm에서 7.42 Bq/g로 나타나 약 45~70%가량의 우라늄이 제거 된 것을 확인 할 수 있었는데, 이는 건식에서 분리되지 않은 미립자들이 습식에서 분리되어 나타난 결과로 판단된다.

위 시료와 세척제를 이용하여 1차 세척한 결과 2~1 mm에서 1.63 Bq/g, 1~0.45 mm에서 1.25 Bq/g, 0.45~0.15mm에서 2.31Bq/g으로 나타났으며, 2차

세척 후 2~1 mm에서 0.79 Bq/g, 1~0.45 mm에서 0.61 Bq/g, 0.45~0.15 mm에서 1.33 Bq/g으로 측정되었다.

초기 농도와 2차 세척 후 우라늄 농도를 비교하여 우라늄 제거효율은 확인한 결과 2~1 mm에서 93.6%, 1~0.45 mm와 0.45~0.15 mm에서 약 94% 제거되어 높은 제거율을 보였다.

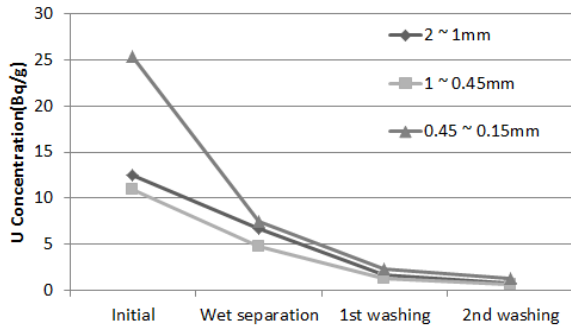


Fig. 1. Uranium Conc. After Wet Separation and Acid Washing with Different Particle Size.

### 3. 결론

연구원 내 보관중 우라늄 오염 토양 폐기물의 효과적인 처분방법으로 부피감용을 위해 토양세척법을 이용하여 토양의 입도별 세척실험을 수행하였다. 2~0.45 mm 입도에서는 약 94%가량 우라늄이 제거되어 우라늄 농도가 0.6~0.7 Bq/g으로 토양세척법이 효과적일 수 있을 것으로 확인되었다. 0.45~0.15 mm에서도 높은 우라늄 제거 효율을 보였으나, 초기 농도가 다른 입도에 비해 약 두배 가량 높아 최종 우라늄 농도가 1.33 Bq/g으로 큰 입도에 비해 높은 농도를 나타내어 세척법으로 제거하기 어려운 범위에 속해 있었다.

토양세척법을 이용하면 연구원 내 보관중인 토양을 부피감용 할 수 있을 것으로 예상되며, 추가적으로 미세입자 토양의 효과적인 처리방안에 대한 연구도 지속되어야 할 것으로 판단된다.

### 4. 참고문헌

[1] Y.D. Choi, D.S. Hwang, K.I. Lee, U.S. Chung, S.T.Hwang, and K.J. Jung, "Decommissioning of Uranium Conversion Plant", Proc. of Korea Nuclear Society Autumn Meeting, vol. 2, 1-7, October 24-26, 2001, Suwon.

[2] S.I. Choi, "Pollution of Groundwater Through Remediation of Contaminated Soil", Korea Society of Soil and Groundwater Environment, 8, 47-60 (1997).

[3] U.K. Pakr, "Decontamination of Uranium-Contaminated Gravel", Journal of Nuclear Fuel Cycle and Waste Technology, 13(1), 35-43 (2015).