

방사성 토양 세척기술(Soil washing) 최적조건개발

손동빈, 김계남, 박해민, 김기홍*, 이기원, 정운수, 문제권

한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045

*선광원자력안전(주), 대전시 대덕구 신일동 1683-1

shondb@kaeri.re.kr

1. 서론

동전기적 제염방법은 토양 내 존재하는 U, Co, Cs를 효과적으로 제거하는 방법이나 오염물질을 용출시키는 시간이 많이 걸린다는 단점이 있다. 이런 단점을 보완하기 위해 짧은 시간에 오염물질을 제거할 수 있는 제염방법인 토양 세척 기술(Soil washing)을 전처리 공정으로 사용하였다.

토양 세척 기술(Soil washing)은 물이나 첨가제가 포함된 수용액을 오염된 토양 등에 주입하여 오염물의 용해도를 높이고 침출되어 나오는 오염물을 추출하여 처리하는 토양 제염 기술이다. 이 방법은 유럽에서 토양 제염을 위한 방법으로 가장 폭 넓게 사용되는 토양 이송 제염법이며, 짧은 시간에 많은 양의 오염된 토양에서 제염이 가능한 기술이다. 그러나 세척용액의 오염성분을 제거하는 화학제의 선정이 어렵고, 세척용액을 처리하는 시설이 필요하다는 문제가 있다.

토양 세척 기술(Soil washing)을 사용할 경우 다량의 폐액이 발생하게 되며, 발생폐액이 동전기적 방법보다 수배이상 발생하므로 Soil washing 폐액을 어떻게 처리하는가에 대한 문제는 Soil washing 방법을 선택하는 중요한 요소가 된다.

본 연구에서는 토양 세척 기술(Soil washing)에 사용하는 적절한 세척용액을 선정하고 몇가지 세척용액에 따른 제염능력과 토양 세척 기술(Soil washing)의 특성을 살펴보았다.

2. 본론

2.1 토양 세척기술(Soil washing)세척용액의 선정

토양 세척 기술(Soil washing)의 운전변수를 최적화하기 위해, 세척용액과 고액 비, 농도를 다르게 하여 세척실험을 실시하였다. 실험 토양은 MCA로 방사능을 측정하였으며, 세척 전 우라늄의 농도가 평균 40 Bq/g 인 토양을 사용하였다. 세척용액을 주입하고 3시간 간격으로 2번 교반하

여 정치시킨 후 상등액을 분리하였으며, 남은 토양을 건조시켜 무게를 측정한 후 방사능을 측정하였다. 세척용액에 따른 우라늄의 농도변화와 제거효율, 토양잔류량 등을 측정하였다.

Table 1.에서 3시간, 1회 세척의 경우 0.5M NaHCO₃, 1M HNO₃ 어떤 세척용액을 사용하더라도 50%전후의 비교적 낮은 효율이 나타나 최소 6시간의 세척시간이 필요한 것으로 나타났다. 또한 세척용액을 선정하기 위하여 HNO₃, HCl, H₂SO₄의 강산과 NaHCO₃을 사용하였으며 각각의 세척용액별 고액비와 교반시간, 교반횟수를 다르게 각각 측정하여 최적의 세척용액을 선정하였다. 1M HNO₃과 NaHCO₃이 세척용액으로 사용한 경우 최적의 제거효율을 나타냈으며, 세척 후 pH의 차이가 극명하게 나타나 사용목적에 따라 선택할 수 있었다.

Table 1. Conditions of Soil washing experiment for soil decontamination

Reagent	0.5M NaHCO ₃	1M HNO ₃	0.5M NaHCO ₃
Mixing ratio	1:5	1:5	1:5
Scrubbing time(hr)	3	3	3
Sieve(mm)	0.075	0.075	0.075
Repetition(time)	1	2	2
Initial conc. (Bq/g)	42.4	42.19	49.6
Removal efficiency (Bq/g)(%)	20 (47.2%)	4.09 (90.3%)	4.09 (90.3%)
Initial weight(g)	40	40	40
Remaining weight(g)	31.46	28.8	26.45
Remaining(%)	78.65	72	66.12

Table 2. Conditions of Soil washing experiment for soil decontamination with concentration

Reagent	1M HNO ₃	2M HNO ₃	4M HNO ₃
Mixing ratio	1:2.5	1:2.5	1:2.5

Scrubbing time(hr)	3	3	3
Sieve(mm)	0.075	0.075	0.075
Repetition(time)	2	2	2
Initial conc. (Bq/g)	49.6	42.1	41.3
Removal efficiency (Bq/g)(%)	4.05 (91.8%)	3.73 (91.1%)	2.10 (94.5%)
Initial weight(g)	40	40	40
Remaining weight(g)	26.45	28.8	24.31
Remaining(%)	66.12	72	60.78

Table 2.의 경우에 HNO₃을 1, 2, 4M의 다른 농도를 사용하고 고액 비를 1g당 2.5ml를 사용하여 결과를 나타내었다. HNO₃의 농도가 높아짐에 따라 조금씩 제거효율이 높아지나 주입한 질산과의 효율을 생각하면 1M의 HNO₃이 최적이라고 판단되며, 혼합비도 1:2.5까지는 1:5와 제거효율의 차이가 크지 않아 1:2.5의 비율로 세척용액을 사용하는 것이 보다 효과적인 것으로 나타났다.

Table 3. Limit Conditions of Soil washing experiment for soil decontamination.

Reagent	Initial conc. (Bq/g)	Removal efficiency (Bq/g)(%)	Remaining (%)
1M HNO ₃	42.19	4.09 (90.3%)	72
0.5M NaHCO ₃	4.09	2.28 (94.6%)	65.9
1M H ₂ SO ₄	2.28	1.92 (95.4%)	58.67
1M HCl	1.92	1.03 (97.6%)	52.85

Table 3.에서는 토양 세척 기술(Soil washing)을 통하여 오염된 토양에서 방사성 우라늄을 얼마나 제거할 수 있는지 한계를 알아보는 세척실험을 실시하였다. HNO₃, HCl, H₂SO₄의 강산과 효과적인 세척제인 NaHCO₃을 사용하여 각각의 세척용액에 3시간 2번씩을 1세트로 하여 2세트의 세척을 실시하였으며 4가지 세척용액으로 총 8번에 걸쳐 세척하여 방사능을 측정 한 결과 오염 전 42.19Bq/g이 1.03Bq/g으로 낮아져 97.6%의 제거효율을 나타냈으나 투입되는 세척용액 대비 낮은 제거효율을 나타냈다. 또한 4가지 세척제와 8번의 세척으로도 1Bq/g이하로 낮추지 못했고, 세척용액을 교환하는 과정에서 토양이 지속적으로 유출되어 세척 후에 52.85%의 잔류량만 남아 토양 세

척 기술(Soil washing)의 제염한계성을 나타냈다. 하지만 2번의 세척으로 동전기 등과 같은 다른 방법에 비해 짧은 시간 안에 높은 제거효율을 나타내었으므로 동전기와 함께 사용할 경우 전처리 과정으로 적절한 방법으로 생각된다.

3. 결론

토양 세척 기술(Soil washing)의 운전변수를 최적화하기 위해, 세척용액과 고액 비, 농도를 다르게 하여 세척실험을 실시한 결과 1M HNO₃과 NaHCO₃이 세척용액으로 사용한 경우 최적의 제거효율을 나타냈으며, 세척용액의 용량은 1g당 2.5ml를 사용할 때 같은 제거효율에서 적은 세척 폐액이 발생될 것으로 생각된다. 또한 오염토양에서 토양 세척 기술(Soil washing)의 한계성을 실험해본 결과 1.03Bq/g까지 낮아지는 결과를 나타냈으나 투입한 세척용액을 생각해볼 때 효과가 낮아 비효율적인 것으로 나타났다. 그러나 짧은 시간 내 높은 제거효율을 나타내므로 동전기 등의 제염방법의 전처리 과정으로 사용할 때 효과적인 것으로 나타났다.

4. 감사의 글

본 연구는 한국정부가 지원하는 한국과학기술재단의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] 김재건 등, 한국방사성폐기물학회, 2009년 춘계학술대회 논문요약집, pp99-100 (2009).
- [2] W. Luo, S.D. Kelly, K.M. Kemner, D. Watson, J. Zhou, P.M. Jardine, and B. Gu. "Sequestering uranium and technetium through co-precipitation with aluminum in a contaminated acidic environment" Environ. Sci. Technol. 43, pp. 7516-7522 (2009).
- [3] P. Zhou, B. Gu, "Extracion of oxidized and reduced forms of uranium from contaminated soils: The effects of carbonate concentration and pH" Environ. Sci. Technol. 39, pp. 4435-4440 (2005).