

실제규모 동전기토양제염장치 개선 및 효율실증

김계남, 손동빈, 박혜민, 김기홍, 김완석, 박진호, 정운수, 이기원, 문제권
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045
 kimsun@kaeri.re.kr

1. 서론

한국의 원자력시설 주변 부지에서 굴착하여 보 관 중인 방사성 오염토양으로부터 우라늄을 제거 하기 위해 부지특성에 적합한 실제규모 동전기 복원장치를 개발하였고, 토양제염기간을 단축하기 위해 전처리공정으로 토양세척제염을 수행하여 토양으로부터 우라늄을 약 80% 제거하였다. 또한, 동전기 기술에 의해 토양으로부터 우라늄을 95% 이상 제거하기 위해 개발된 실제규모 520L 동전기장치를 제작하고 동전기제염실험이 수행하였다. 제작된 동전기 복원장치는 동전기토양셀 (120x120x18cm), 양극실 (120x115x13 cm), 음극실 (120x115x17.5 cm), 세정제 저장조 (60x40x40 cm), 장치지지대, 금속산화물 여과기, pH 조절조, Power Supply 등으로 구성된다. 이 지역은 매립 토이며 수리전도도가 작고 토양의 pH는 5.6이었다. 또한 우라늄오염토양 입자크기에 따른 방사능 농도는 Fig. 1과 같이 입자의 크기가 작을수록 방사능농도는 높아졌다.

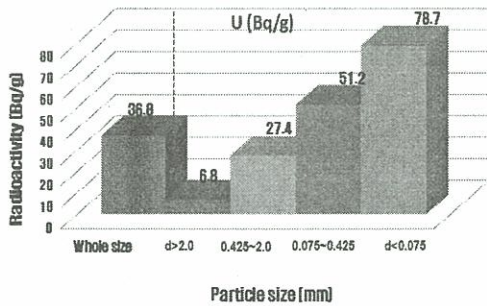


Fig. 1. Radioactivity versus size of a soil contaminated with uranium

한편, 동전기복원실험을 수행하는 동안 음극실 내의 금속산화물발생을 감소시키기 위하여 음극실 전해액을 순환시키고, 금속산화물 여과기를 부착하였으며 음극실내의 pH를 음극실의 pH를 1.0이하로 조정하였다. Fig. 2는 제작된 520 L규모 동전기토양제염장치이며, 연간 약 50개의 200L 드럼을 처리할 수 있다. Fig. 3은 세척된 우라늄

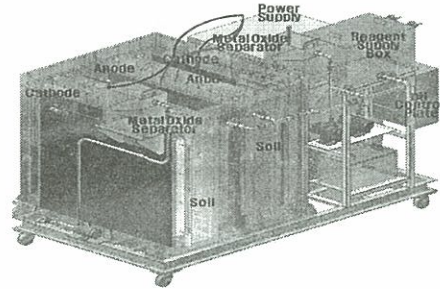


Fig. 2. 520L electrokinetic decontamination equipment

오염토양을 동전기토양제염장치 토양셀에 넣는 사진이며, Fig. 4는 가동 중인 동전기토양제염장치이며, 토양내의 우라늄 등의 금속이온들은 음극



Fig. 3. uranium soil input in a soil cell



Fig. 4. electrokinetic decontamination operation

실로 이동한다. 제작된 실제규모 동전기 토양제염 장치의 문제점을 다음과 같이 개선하였다. 먼저,

양극실의 전해액이 토양셀 양 끝 모서리를 통해 음극실로 누출되지 않도록 토양셀 고정 후 틈새를 실리콘으로 방수 처리하였고, 독립 여과포를 제작하여 여과포 내에 세척토양을 담고 여과포를 토양셀 내에 끼어 넣었다. 양극실 전해액을 자동 공급하기 위해 공급조의 높이를 음극실 전해액 수면이하로 낮추었고, 공급조 내에 pH 조절기를 설치하였다. 토양셀 PVC의 파쇄를 방지하기 위해 강화 PVC를 사용하여 다시 제작하였다.

본 연구에서는 제작된 동전기 토양제염장치의 문제점을 개선하고 개선된 장치의 제염효율을 실증하기 위한 실증제염실험을 수행했다.

2. 토양제염실험

제작된 실제규모 동전기 토양제염장치는 1몰의 질산으로 세척한 토양을 사용하기 때문에 토양세척 시 80% 이상의 금속산화물이 제거되었고, 제작된 장치의 음극실 폭이 17.5 cm로 파일럿장치보다 넓고, 기타 앞에서 설명한 것과 같이 장치를 개선하였기에 동전기 제염기간 동안 단지 미량의 금속산화물이 발생하였고 음전극판을 꺼내어 표면의 금속산화물을 세척하는 번거로운 작업을 하지 않아도 되었다. 또한, 금속산화물 여과기를 이용하여 0.075mm 이상의 금속산화물입자를 제거하였다. Table 1은 동전기 토양제염 시 시간경과에 따른 토양 내의 우라늄 제거효율을 나타낸다. 동전기장치 전해액으로는 질산 0.1 M이 사용되었다. 오염토양의 초기 방사능농도는 17.8 Bq/g이었고, 토양세척 후 3.8 Bq/g 이었다. 동전기 제염 5, 10, 15, 20일 경과 시 우라늄 제거효율은 87.6, 94.8, 96.7, 97.2 %로 증가하였다. 5일 경과 시 제거효율이 높은 것은 전처리 토양세척 시의 제거효율을 포함하였기 때문이다. 유럽에서의 우라늄 토양 자체처분을 위한 ²³⁸U 기준농도가 약 0.4 Bq/g이므로 17.8 Bq/g을 0.4 Bq/g으로 저감하기 위해 필요한 시간을 제염실험을 통해 도출하였다.

동전기 토양셀에 흐르는 전류밀도는 약 20 mA/cm²에 맞추었다. 그러나 초기에는 30 V의 전압 하에서도 전류밀도는 16 mA/cm² 이었다. 그러나 제염시간이 경과됨에 따라 토양셀 내의 토양은 질산전해액으로 포화되어 전도체로 변해가며 압력이 감소하였다. 또한 20일간 발생된 전해폐액은 약 2.2 ml/g이었고, 동전기장치에서의 증발량은 약 10 ml/min이었다. 20일 경과 후 토양 내의

잔류 우라늄 농도 분포는 다음과 같다. 15일후 평균 잔류농도는 0.58 Bq/g이었다. 그러나 20일후 평균 잔류농도는 예측보다 약간 높은 0.5 Bq/g이었다. 이것은 동전기장치의 토양셀 부근의 제작이 잘못되어 음극실의 우라늄 오염 전해폐액이 양극실로 누출되어 양극실내의 전해액이 우라늄으로 오염되었기 때문에 예측했던 것처럼 0.4 Bq/g 이하로 떨어지지 않았다. 그러므로 토양칸막이가 완벽한 방수가 되도록 개선한 후 다시 제염실험을 수행하여 제염효율을 실증할 계획이다.

Table 1. Uranium removal efficiency and waste-solution volume along decontamination elapsed time

Agent (M)	Init. conc (Bq/g)	Elapse time (days)	Removal efficiency of U (%)	Electric current (mA/cm ²)	Volt (V)	Waste-solution volume (ml/g)
Nitric acid (0.1M)	17.8	0	78.7 (3.8)	16	30	
Nitric acid (0.1M)	17.8	5	87.6 (2.2)	19.5	24	
Nitric acid (0.1M)	17.8	10	94.8 (0.92)	19.5	17	
Nitric acid (0.1M)	17.8	15	96.7 (0.58)	19.5	15	
Nitric acid (0.1M)	17.8	20	97.2 (0.50)	19.5	13	2.2

3. 결론

음극전극판에 형성된 금속산화물을 제거할 수 있도록 동전기제염장치를 개선하였고, 초기에 17.8 Bq/g인 토양을 토양세척 후 20일간 동전기 토양제염 시 0.5 Bq/g 이었다.

4. 감사의 글

본 연구는 한국정부가 지원하는 한국과학기술재단의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

[1] G. N. Kim, Y. H. Jung, J. J. Lee, J. K. Moon, C. H. Jung, U. S. Chung, "Development of electrokinetic-flushing equipment for a remediation of soil contaminated with radionuclides", Journal of the Korean Radioactive Waste Society, pp.1-9 (2008).

[2] G.N. Kim, W.K. Choi, C.H. Jung, J.K. Moon, Development of a washing system for soil contaminated with radionuclides around TRIGA reactors, J. Ind. Eng. Chem. 13 (2007) 406-413.