

Radioactivity Analysis of Soils Stored in KAERI for Regulatory Clearance

연구소 내 저장 중인 토양의 규제해제를 위한 방사능 분석

D.S. Hong, T.K. Kim, I.S. Kang, H.S. Cho and J.S. Shon

Korea Atomic Energy Research Institute, P.O.Box 105, Yuseong, Daejeon, Korea

홍대석, 김태국, 강일식, 조한석, 손종식

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

Abstract

In KAERI, about 3,100 drums containing soil have been stored. The soils were generated from the decommissioning process of Seoul office in 1988. Those soils occupy about 27% of the capacity of the radioactive waste storage facility and make it difficult to maintain the storage facility. The major radioactive nuclides contained in the soils were expected to be Co-60 and Cs-137. As 16 years have passed, the radioactivity of those nuclides have decayed a lot. In this study, as a basis of regulatory clearance, radionuclides and radioactivity concentration of soils were analyzed. As a result, there are only Co-60 and Cs-137 in soils as γ -emitters. The total concentration of γ -emitters in soil is analyzed as about 0.01 ~ 0.12 Bq/g. As the soils are expected to be regulatory cleared in 2009, those concentrations will decay to be less than 0.1 Bq/g. This concentration can be meet the regulatory criteria suggested by IAEA. The regulatory clearance will be proceeded based on not only the assessment results of environmental influence but also related regulations.

Key Word : Soil, Regulatory Clearance, Analysis of Radioactivity, Radioactive Waste, Waste Treatment

요 약

현재 원자력연구소의 방사성폐기물 저장시설에는 1988년 서울사무소의 폐쇄 과정에서 발생한 토양 약 3,100여 드럼이 저장되고 있다. 이 토양은 시설 저장용량의 약 27%를 차지하고 있어 포화용량에 도달하고 있는 저장시설의 운영 및 관리를 어렵게 하는 요인이 되고 있다. 그러나 토양 내에 함유되어 있는 주요 핵종이 Co-60과 Cs-137이며 저장한 기간이 16년가량 경과하였으므로 발생초기보다 방사능 농도가 많이 낮추어졌을 것으로 평가되고 있다. 본 연구에서는 토양의 규제해제를 위한 기반작업으로 토양의 핵종 및 방사능평가 작업을 수행하였다. 작업을 위하여 작업절차서의 개발, 밀폐형 작업실의 제작 등이 이루어졌으며, 시료의 채취를 통한 방사선학적 특성 분석이 수행되었다. 분석 결과 토양에 함유된 γ -선 방출핵종은 Co-60과 Cs-137만이 존재하는 것으로 나타났으며, 전체 γ -선 방출핵종의 농도는 약 0.01 ~ 0.12 Bq/g 인 것으로 평가되었다. 현재 토양의 규제해제를 예상하고 있는 시점인 2009년이 되면 이러한 농도는 더욱 낮아져 0.1 Bq/g 미만이며, 이러한 농도는 현재 IAEA에서 제시하고 있는 규제해제 농도를 만족시키는 수준이 될 것이다. 또한, 토양의 규제해제는 이러한 농도 기준 외에도 환경영향평가를 통하여 국내의 원자력법에 적법하도록 처리될 것이다.

중심단어 : 토양, 규제해제, 방사능분석, 방사성폐기물, 폐기물처리

1. 서 론

원자력연구소의 제1 방사성폐기물 저장시설은 연간 320드럼 정도의 방사성폐기물이 지속적으로 발생될 경우 2006년도에는 용량의 포화에 도달하게 된다. 현재 보관하고 있는 방사성폐기물 중에는 1988년 발생한 토양이 시설 저장용량의 약 27%를 차지하고 있어 이의 처리를 통한 저장 공간의 확보가 시급한 실정이다.

그러나 토양 폐기물은 발생 당시부터 방사능 준위가 높지 않았으며, 토양 내 존재하고 있는 주요 방사성 핵종이 Co-60과 Cs-137로 각 핵종의 반감기를 고려하였을 때 16년간의 저장기간 동안 방사능 농도가 많이 낮아졌을 것으로 판단할 수 있다. 따라서 원자력연구소에서는 이러한 토양의 규제해제를 통한 처리를 위하여 토양의 핵종 및 방사능 재평가 작업을 수행하고 있다. 본 논문에서는 이러한 작업을 위하여 개발된 작업절차 및 수행된 방사능농도 분석결과 규제해제 방안 등을 소개하였다.

본 논문에서 제시되는 작업절차 등은 현재 토양폐기물과 혼재되어 있는 콘크리트 파쇄 폐기물의 처리와 향후 원자력시설의 폐쇄 작업에서 발생하는 토양 및 콘크리트의 처리 과정에서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 현황 및 추진일정

원자력연구소의 제1 방사성폐기물 저장시설은 11,500드럼의 용량을 가지고 있으며 연간 320드럼 정도의 방사성폐기물이 지속적으로 발생될 경우 2006년도에는 용량의 포화에 도달하게 된다. 현재 보관하고 있는 방사성폐기물 중에는 1988년 서울사무소의 폐쇄 과정에서 발생한 토양 및 콘크리트 드럼이 4,500드럼 정도가 보관되어 있다. 4,500드럼은 그림 1과 같이 구성되어 있으며 3,150여 드럼의 토양과 1,290여 드럼의 콘크리트로 전체 저장용량의 약 39%를 차지하고 있어 포화용량에 도달하고 있는 저장시설의 운영 및 관리를 어렵게 하는 요인이 되고 있다. 그 중에서도 토양은 시설 저장용량의 약 27%에 해당하고 있으므로 이의 처리를 통한 저장 공간의 확보가 시급한 실정이다.

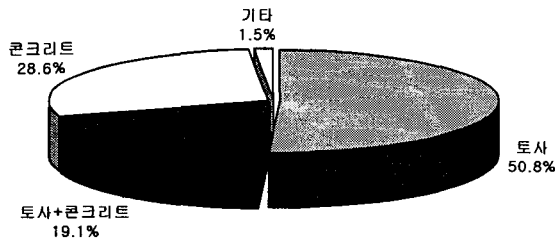


그림 1. 1988년 발생한 토양 및 콘크리트 폐기물의 구성비

원자력연구소에서 고려하고 있는 토양 및 콘크리트의 규제해제 일정은 그림 2와 같이 2004년도 부터 내·외부에서 저장용량 포화에 대한 지적이 있었으며, 2006년도에는 저장용량의 포화에 도달하게 된다.

처리 대상으로 고려하고 있는 토양 폐기물은 발생 당시부터 방사능 준위가 높지 않았으며, 토양 내 존재하고 있는 주요 방사성 핵종이 Co-60과 Cs-137로 각 핵종의 반감기를 고려하였을 때 16년간의 저장기간 동안 방사능 농도가 많이 낮아졌을 것으로 판단할 수 있다. 그러므로 토양을 일차적인 처리 대상으로 고려하고 있으며, 작업이 좀 더 까다로울 것으로 판단되는 콘크리트를 그 이후에 처리하여 규제해제 대상과 방사성폐기물로 분류한 뒤 2009년도 후반에 연구소 내의 부지에 자체처분하는 방안을 고려하고 있다.

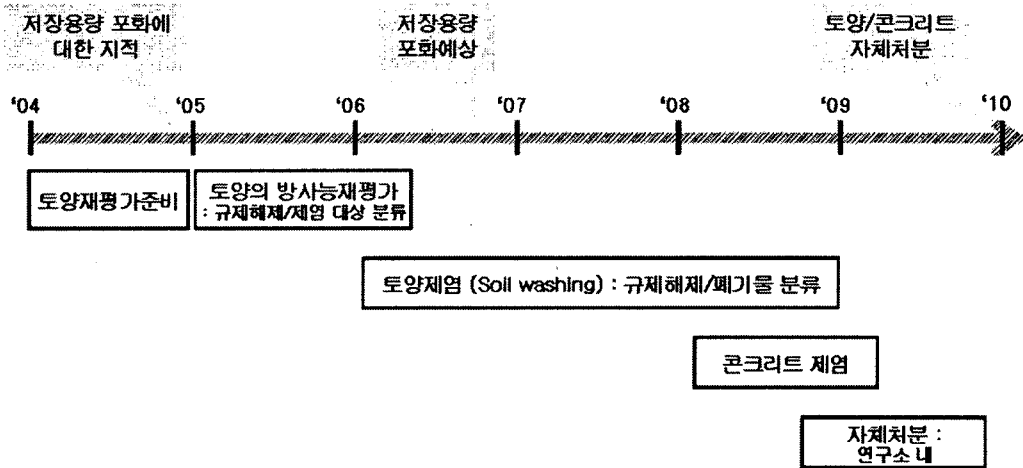


그림 2. 연도에 따른 자체처분 추진방안

3. 토양의 핵종 및 방사능 농도 측정을 위한 작업절차

토양의 핵종 및 방사능 농도 측정을 위하여 개발한 작업절차를 그림 3에 간단히 나타내었다. 본 작업의 대상은 1988년도 포장당시 측정된 표면선량률이 0.3 $\mu\text{Sv/hr}$ 인 드럼 중 내용물이 토양으로 표기된 것들로 제한된다. 이러한 것들은 전체적으로 약 1,500드럼이 된다. 선정된 드럼은 크레인으로 이송되어 밀폐형 작업실에서 개봉을 하게 되고 내용물 확인을 수행하게 된다. 표기된 것과 드럼의 실제 내용물은 다를 경우가 있는데 이를 크게 콘크리트, 토양, 기타로 구분하여 별도로 수집한다. 내용물 확인이 끝난 드럼은 드럼의 전, 후, 좌, 우, 상, 하의 6곳에서 표면선량률을 측정하게 되며 최대값을 기록하게 된다. 표면선량률 측정이 끝난 드럼은 Tray에 내용물을 쏟아 부어 펼치게 된다. 이 단계에서도 토양 이외의 이물질은 별도로 수집하게 되며 드럼의 부식이 확인되어 재사용이 어려울 경우 드럼을 교체한다. Tray에 펼쳐 이물질의 분리가 끝난 토양은 전체적으로 균질하게 섞은 뒤 표면선량률 측정을 하게 되고 선량률이 높게 나오는 부분은 별도로 떼내서 분류한다.

이러한 과정이 끝난 토양의 tray에 미리 만들어 놓은 10×10 grid를 얹어 토양을 전체적으로 100개의 구역으로 나눈다. 그 뒤 임의로 정한 30개의 구역에서 토양을 조금씩 채취하여 2ℓ 용량의 시료채취용 용기에 담고 tray의 나머지 토양은 원래의 드럼 또는 교체된 드럼에 담는다. 채취한 시료 중 일부는 방사능 측정을 위해 사용되고 나머지는 측정 결과의 검증 등을 위해 장기간 보관하게 된다. 방사능 측정결과가 나오면 그 결과에 따라서 전체 γ 선의 농도가 0.4 Bq/g 미만일 경우는 규제해제 대상으로 분류하며 그렇지 않을 경우는 방사성폐기물로 분류하여 지정된 장소에 각각 적재하게 된다. 각 단계 중 몇 가지를 그림 4에 사진으로 나타내었다.

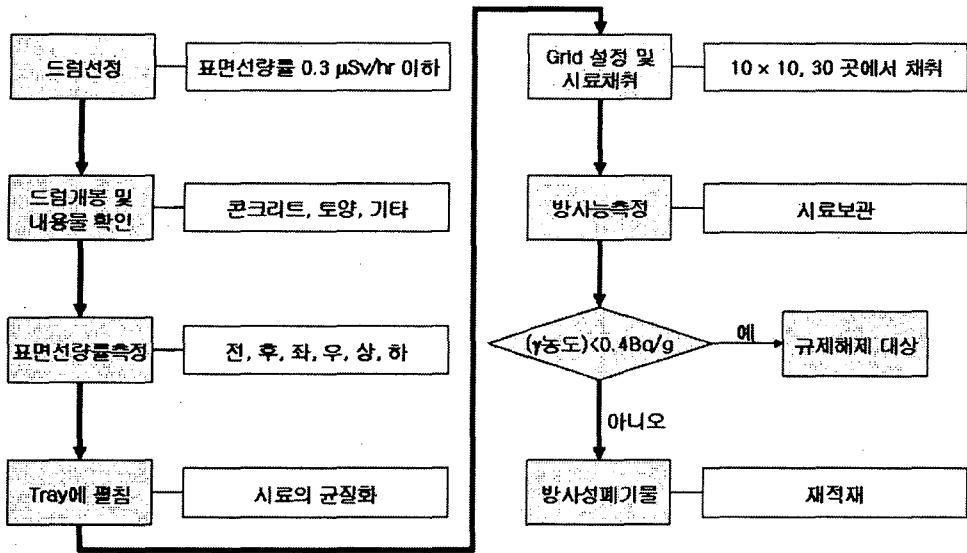


그림 3. 토양의 핵종 및 방사능 농도 평가를 위한 작업절차



그림 4. 토양시료 채취를 위한 작업절차

4. 핵종 및 방사능 농도 평가결과

현재까지 작업한 토양 중 일부분에 대한 핵종 및 방사능 농도분석 결과는 표 1과 같다. 표에서 제시한 결과는 토양만을 약 150 cc 정도 채취하여 분석한 것이며 시료의 무게가 편차를 나타내는 것은 수분함유량 및 입자 크기의 분포가 다르기 때문에 발생하는 것이라 판단된다. 핵종 분석 결과 토양 내에 함유된 γ선 방출핵종은 Co-60과 Cs-137만 존재하는 것으로 분석되었다.

각 핵종의 농도 분포를 살펴보면 표 2에 나와 있는 것처럼 Co-60은 최대 0.093 Bq/g, 평균적으로 0.055 Bq/g의 방사능 농도를 나타내며 Cs-137은 최대 0.070 Bq/g, 평균적으로 0.019 Bq/g의 방사능 농도를 나타내어 Co-60의 방사능 농도가 Cs-137의 방사능 농도보다 비교적 높은 것을 알 수 있다. 자체처분을 고려하고 있는 2009년도를 기준으로 하여 Co-60 ($T_{1/2} = 5.3$ 년)과 Cs-137 ($T_{1/2} = 30.2$ 년)의 방사능을 평가해보면, 현재의 방사능 농도와 비교할 때 Co-60의 경우는 약 58%만이, Cs-137의 경우는 약 81%만이 남게 된다. 이 경우 토양이 가지고 있는 전체 γ 방출 방사성 핵종에 대한 농도는 표 1에 나타나 있는 바와 같이 0.01 ~ 0.08 Bq/g이 된다.

표 1. 토양 시료의 핵종 및 방사능농도 측정결과

시료번호	무게 (g)	핵종	방사능농도 (Bq/kg)	총방사능 농도(Bq/g)	2009년도 예상농도(Bq/g)
1	196.3	Cs-137	7.5±0.5	0.03	0.02
		Co-60	24.0±1.2		
2	222.2	Cs-137	3.7±0.4	0.01	0.01
		Co-60	10.0±0.8		
3	233.7	Cs-137	4.1±0.3	0.01	0.01
		Co-60	10.4±0.7		
4	210.0	Cs-137	11.8±0.6	0.04	0.03
		Co-60	28.2±1.3		
5	242.0	Cs-137	70.7±3.0	0.08	0.06
		Co-60	10.5±0.6		
6	213.8	Cs-137	15.1±0.8	0.06	0.04
		Co-60	42.6±2.0		
7	211.5	Cs-137	11.3±0.6	0.05	0.03
		Co-60	40.1±1.7		
8	210.5	Cs-137	13.1±0.7	0.05	0.03
		Co-60	35.0±1.6		
9	205.6	Cs-137	22.2±1.0	0.07	0.04
		Co-60	43.2±1.9		
10	203.0	Cs-137	14.4±0.7	0.04	0.02
		Co-60	22.8±1.0		
11	230.3	Cs-137	25.3±1.1	0.10	0.06
		Co-60	70.2±2.8		
12	247.5	Cs-137	27.9±1.2	0.12	0.08
		Co-60	93.2±3.8		

표 2. 토양시료 내 방사성 핵종의 평균농도

(단위 : Bq/g)

핵종	최소	최대	평균
Cs-137	0.004	0.070	0.019
Co-60	0.010	0.093	0.036
전체 γ 방출 핵종	0.014	0.121	0.055

5. 규제해제 방안

규제해제는 신규 선원 및 행위를 처음부터 규제 대상에서 제외하는 규제배제와는 달리 기존에 규제대상이던 선원 및 행위를 규제 대상에서 제외하는 것 (Regulatory control is removed)으로 정의될 수 있다[1]. 이러한 규제해제는 방사성폐기물의 경우 시간이 경과함에 따라 방사능이 일정한 비율로 감소되며, 매립·소각·재활용 등의 과정에서 일반폐기물과 혼합됨에 따라 방사능의 농도가 감소될 것으로 예상되므로 타당성이 뒷받침된다.

국내의 규제해제는 선량기준으로 '개인에 대한 연간 피폭방사선량이 10 μ Sv 미만, 집단에 대한 연간 총 피폭방사선량이 1 man·Sv 미만'[2]으로 제시되어 있으며 일부 핵종에서는 농도 기준으로 제시되고 있으나 본 연구에서 대상으로 하고 있는 토양 내 주요 방사성 핵종인 Co-60과 Cs-137에 대해서는 핵종농도 기준이 제시되지 않고 있다.

Co-60과 Cs-137의 규제해제를 위한 IAEA의 잠정적인 기준으로는 각각 0.1 Bq/g이 제시되고 있으며 두 핵종의 농도 합도 0.1 Bq/g을 넘지 않도록 제시되고 있다[3]. 이를 기준으로 표1의 방사능농도 분석결과를 보면 현재로서는 기준치를 넘어서지만, 규제해제를 고려하고 있는 2009에는 모두 기준치를 만족시키는 것으로 판단된다. 그러므로 고려하고 있는 1988년 발생 토양은 분류작업과 방사능 재평가를 통해 2009년도에는 자체처분이 가능할 것으로 예상된다.

원자력연구소에서는 2009년도에 연구소 내 자체처분을 위한 부지를 설정하고 환경영향평가를 통한 자체처분을 고려하고 있으므로 현재의 법체계 및 향후 예상되는 국제적인 기준을 충분히 만족시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한 별도의 처리 없이도 자체처분이 가능한 토양이므로 안전하게 자체처분 및 관리할 수 있을 것으로 판단된다.

6. 결론

원자력연구소의 제1 방사성폐기물 저장시설은 11,500드럼의 용량을 가지고 있으며 2006년도에는 용량의 포화에 도달하게 된다. 현재 보관하고 있는 방사성폐기물 중에는 1988년 발생한 토양이 시설 저장용량의 약 27%에 해당하고 있으므로 이의 처리가 시급한 실정이다.

본 연구에서는 발생당시부터 방사능준위가 낮았으며 저장기간 동안에도 방사성 붕괴를 통하여 준위가 상당히 낮아졌을 토양의 처리를 위하여 작업절차 및 방사능농도 평가를 수행하였다.

작업절차는 크게 드럼선정, 드럼개봉 및 내용물 확인, 표면선량률측정, Tray에 펼침, Grid 설정 및 시료채취, 방사능측정 등으로 구분되어 있으며 총 γ 방출 핵종의 농도를 기준으로 0.4 Bq/g미만인 토양을 규제해제 대상으로 분류하고 있다.

이러한 절차를 따라 작업한 토양의 방사능농도 분석 결과를 보면 0.014 ~ 0.121 Bq/g의 농도를 나타내고 있다. 그러나 핵종별 반감기를 고려할 경우, 규제해제를 예상하는 시점인 2009년도에는 모두 0.1 Bq/g 미만으로 낮아질 것이므로 현재 IAEA에서 제시하고 있는 규제해제를 위한 핵종농도 기준을 만족시킬 것으로 판단되며, 연구소 내 자체처분을 고려하고 있으므로 국내 원자력법의 기준도 충분히 만족시킬 수 있을 것으로 판단된다.

향후 다양한 원자력시설의 폐쇄 과정에서 방사성 오염토양 및 콘크리트의 발생은 필연적이므로 본 연구에서 고려한 작업절차 등의 경험과 자료는 타 연구에서 충분히 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 방사성폐기물 규제기술개발 - 방사성폐기물 규제해제 요건 개발, 한국원자력안전기술원, KINS/RR-144 (2002).
2. <http://www.most.go.kr>, '방사성폐기물의 자체처분에 관한 규정 (고시 2001-30)'
3. Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance, IAEA, Draft Safety Report (2004).