

# 해체 부지 개방기준 평가를 위한 입력인자의 민감도 분석

서범경\*, 홍상범, 문제권, 이기원, 최종원

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

\*sbhong@kaeri.re.kr

## 1. 서론

원자력시설 해체의 최종단계에서 해체부지를 개방을 위해서는 안전성 평가를 통해 핵종별 유도농도기준(DCGL)을 수립한다. 잔류오염도가 개방기준을 초과하지 않음을 증명하기 위하여 부지 조사를 위한 조사계획을 수립하고, 측정된 결과가 개방기준을 만족함을 평가하여야 한다.

본 연구는 연구로 1&2호기 해체사업의 목표인 해체 후 부지를 무제한적 재사용이 가능한 수준으로 만들기 위해서 100  $\mu\text{Sv/y}$ 의 기준으로 핵종별 유도농도기준을 도출함에 있어 주요 입력인자의 민감도를 결정론적 방법으로 평가하였다. 특히 방사성핵종의 거동 특성을 평가하는 중요인자인 흡착분배계수(Kd)는 연구로 토양 시료를 채취하여 측정하였다. 측정된 결과의 분포함수를 이용하여 입력인자의 확률론적 평가를 통해 입력인자의 민감도를 평가하였다. 평가결과 민감도가 높은 인자는 부지특성자료 등을 적절하게 반영하여 선정하여 평가되어야 한다.

## 2. 본론

### 2.1 흡착분배계수의 측정

방사성핵종에 대한 흡착분배계수는 핵종의 지하수를 통해 환경으로 거동하는 특성을 분석하여 피폭선량을 평가하는 중요한 인자로 평가되고 있다. 연구로 해체 부지의 토양에 대한 Cs-137의 흡착실험은 PNNL의 표준방법과 미국 재료시험협회에 제시하고 있는 Batch 평가방법에 기술된 절차에 따라 수행되었다.

연구로 해체부지의 3개 지점에서 채취된 토양 시료는 24 시간 건조 후 불순물을 제거하고 1 mm 이하로 체거름을 수행하였다. 부지 주변에서 지하수를 채취하여 0.45  $\mu\text{m}$  주사기 필터로 여과 후 채취한 지하수 25 mL 용량의 원심분리용기에 토양 1 g과 혼합 후 24 시간 방치 후 고속 원심분리기(Mega 17R, Hanil Science Industrial, Korea)를 이용하여 지하수와 토양을 분리하고 상등액을 제거

하는 정제작업을 3회 반복하였다. 첨가된 지하수는 30 분 동안 6,000 rpm에서 원심분리한 후 상등액을 분리하여 pH meter(ORION STAR A 215, Thermo, USA)로 측정하였다. 지하수와 평형이 조건을 이룬 토양에 Cs-137(100 Bq/g)을 25 mL 첨가하고 7 일 이상 혼합기(SI-300R, JEIO Tech., Korea)에 교반하였다. 흡착 반응이 종료된 시료는 30 분 동안 6,000 rpm에서 원심분리한 후 상등액을 분리하고, 0.45  $\mu\text{m}$  주사기 필터로 여과시켜 최종 세슘의 농도 측정하였다. 감마분광분석은 ISOCS (Canberra, USA)을 이용하였다.

평가결과 연구로 토양의 Cs-137에 대한 흡착분배계수(Kd)는  $1656.6 \pm 344.6$  mL/g으로 측정되었다. 분포함수는 로그정규(Log-normal)로 측정되었고, 상관계수(R)은 0.98로 평가되었다. 구체적인 결과를 Fig. 1과 같다. RESRAD 전산코드에서 흡착분배계수(Kd)의 초기 입력값은 Cs-137에 대하여 4600 mL/g 으로 설정되어 있다. 미국에서 일반토양의 평균값은 1200 mL/g (최소 4 mL/g, 최대 375,000 mL/g)로 보고되어 있다.

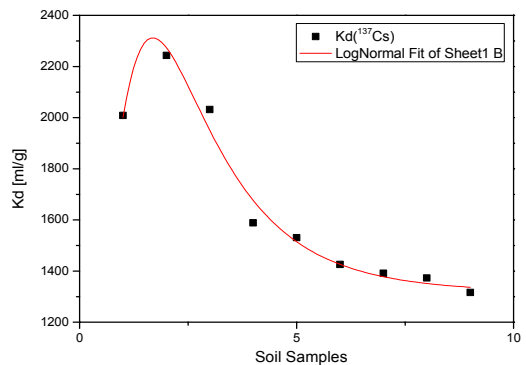


Fig. 1. Kd distribution of the soil from KRR decommissioning site.

### 2.2 결정론적 및 확률론적 입력인자 민감도 평가

연구로 1, 2호기의 해체 부지 재이용을 위한 핵종별 유도농도기준(DCGL)을 연구로 부지특성을 반영하여 RESRAD ver.7.0 전산코드를 이용하여 평

가하였다. 입력인자의 민감도는 결정론적 방법을 이용하여 평가하였다.

유도농도기준을 도출하기 위해 유효선량의 개념을 적용하여 내부피폭 평가는 ICRP 72의 성인(Adult)의 선량계수(Dose Coefficient)를 적용하였고, 외부피폭은 FGR 13 Morbidity를 적용하였다. 평가 대상 핵종은 연구로 해체과정에서 측정된 주요 핵종인 Co-60 및 Cs-137에 대하여 평가하였다. 피폭 시나리오는 보수적으로 오염된 부지에 거주경작(Resident Farmer Scenario) 시나리오를 고려하였다.

결정론적 방법을 적용하여 입력인자의 민감도를 분석하기 위해서 사전선별준위 도출을 위해 적용된 입력자료의 1.5배의 변동범위로 설정하여 입력인자의 민감도를 분석하였다. 평가결과는 정규화된 선량변화(Normalized Dose Difference)로 제시하였으며 평가방법은 아래의 식 (1)와 같이 제시하였다.

$$NDD = \left[ \frac{D_{High} - D_{Low}}{D_{Base}} \right] \times 100\% \quad (1)$$

Co-60 및 Cs-137은 주요 피폭경로가 외부피폭으로 결정론적 평가를 통해 입력인자의 민감도 분석결과 외부차폐인자, 실내외 거주분율, 오염층 밀도, 식물의 뿌리 깊이 순으로 평가되었다.

- Co-60 평가결과 : 오염층 밀도 (DENSCZ, 26.2%), 외부 차폐인자 (SHF1, 41.8%), 실내외 거주분율 (FIND/FDTH, 41.8%), 식물 뿌리 깊이(DROOT, 0.6%)
- Cs-137 평가결과 : 오염층 밀도 (DENSCZ, 19.5%), 외부 차폐인자 (SHF1, 38.2%), 실내외 거주분율 (FIND/FDTH, 38.2%), 식물 뿌리 깊이 (DROOT, 5.3%)

확률론적 평가를 위해 연구로 부지 특성을 반영하여 입력인자로 흡착분배계수, 식물로 전이계수, 육류 및 우유로 전이계수를 선정하였다. 토양의 흡착분배계수(Kd) 연구로 부지 측정 자료를 측정된 결과를 바탕으로 분포함수를 이용하여 확률론적 평가를 수행하였다. 입력인자의 민감도에 대한 상관성분석 지표로 PRCC (Partial Rank Correlation Coefficient)를 이용하였으며 입력인자의 추출방식은 LHS(Latin Hypercube Sampling) 방식을 적용하였다. Cs-137에 대한 피폭선량 평가결과 Fig. 2와 같이 누적확률 분포를 보여주고 있다.

입력인자의 상관성분석(PRCC) 결과는 일반적으

로 상관계수 PRCC > 0.2인 경우 입력인자 민감도가 높은 것으로 판단한다.

- Cs-137 평가결과 : 흡착분배계수(0.61), 식물 전이계수(0.91), 육류 전이계수 (0.41) 및 우유 전이계수 (0.02)

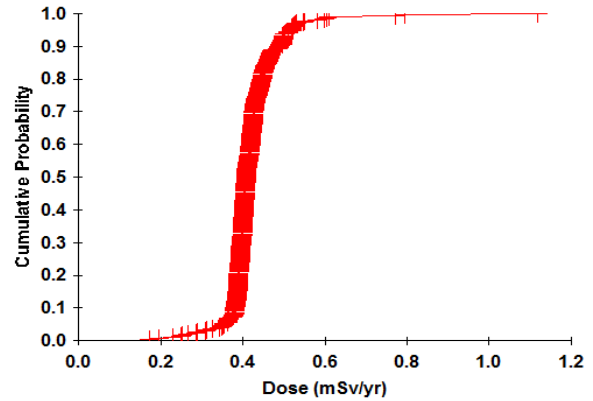


Fig. 2. Cumulative probability evaluation results for Cs-137.

### 3. 결론

결정론적 방법을 이용한 입력인자의 민감도 평가 결과 Co-60 및 Cs-137은 외부차폐인자, 실내외 거주분율, 오염층 밀도 등이 민감도가 높은 인자로 평가되었다. 확률론적 평가 결과 흡착분배계수, 식물전이 계수가 민감도가 높게 평가되었다. 이러한 인자는 해체 부지의 재이용 안전성 평가 시 중요한 인자로 부지특성자료 등을 적절하게 반영하여 선정하여 평가되어야 한다.

### 4. 참고문헌

- [1] S.P. Yim, T. Sullivan, and L. Milian, "Sorpton(Kd) Measurements in Support of Dose Assessments for Zion Nuclear Station Decommissioning," Brookhaven National Laboratory, 2012, New York.
- [2] ANL, "Data collection Handbook to support Modeling Impacts of Radioactive Material in Soil and Building Structures," Argonne National Laboratory, ANL/EVS/TM-14/4, 2015, IL.