

## 해체 부지 선량평가모델의 주요 핵종에 대한 Key parameter 분석

### Key Parameters Analysis of Important Radionuclides in Dose Evaluation Model of Decommissioning Site

Yong-Kyu Lim, Hak-Soo Kim, Jung-Kwon Son, Kyoung-Rock Park, Ki-Doo Kang,  
Kyoung-Doek Kim, Chan-Woo Jeong\*

Nuclear Environment Technology Institute, P. O. Box 149 Yuseong, Daejeon

\*Korea Institute of Nuclear Safety, P. O. Box 114 Yuseong, Daejeon

임용규, 김학수, 손중권, 박경록, 강기두, 김경덕, 정찬우\*

원자력환경기술원, 대전광역시 유성우체국 사서함 149

\*한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성우체국 사서함 114

#### Abstract

In order to analyze key parameters of important radionuclides in dose evaluation model of decommissioning site, a sensitivity analysis was performed. This analysis assumed a resident farmer for an exposure scenario and 0.037Bq/g for the concentration of radionuclides. As a result of sensitivity analysis, the key parameters of radionuclides considered were the area of contaminated zone, external gamma shielding factor and indoor time fraction for Cs-137 and Co-60. The key parameters for C-14 were the environmental parameters and hydrological parameters of unsaturated zone. Also, the key parameter for Sr-90 was the density of contaminated zone.

**Key Words** : Key Parameter, Sensitivity analysis, Exposure scenario, Resident farmer

#### 요약

해체부지 선량평가 모델의 주요 핵종에 대한 key parameter를 분석하기 위하여 민감도 분석을 수행하였다. 본 연구에서 민감도 분석을 수행하기 위한 주요 가정 사항으로서 피폭시나리오는 가장 보수적인 resident farmer를 그리고 방사성핵종의 오염 정도는 0.037 Bq/g로 하였다. 분석결과, 감마 방출 핵종인 Cs-137과 Co-60의 경우에는 오염지역의 면적과 거주관련 변수(외부감마차폐인자와 실내 거주시간분율), C-14 핵종의 경우에는 환경변수와 불포화층의 수문학적 변수가, Sr-90 핵종의 경우에는 오염지역의 토양 밀도가 선량에 미치는 영향이 큰 parameter로 확인되었다.

**중심단어** : Key parameter, 민감도분석, 피폭 시나리오, 거주 농부

## 1. 서 론

원자력시설에 있어 해체는 시설이나 부지를 안전하게 제거하는 것과 허용 준위로 잔류방사능을 감소시키는 것을 의미한다. 원자력발전소 해체에 있어 근본적인 문제중 하나는 해체된 부지에 잔류하는 방사능이 부지개방 후 대중에 대하여 용인할 수 있는 위해도 수준임을 증명하는 것이다. 이러한 위해도는 부지에 잔류하는 방사성물질로부터 잠재적으로 피폭된 대중의 선량을 평가함으로써 증명될 수 있으므로, 부지특성 선량평가에 있어 고려된 많은 변수들 중에서 key parameter를 확인하는 것이 중요하다. 국내의 경우 아직 원자력시설 및 부지의 해체와 관련된 법규 및 규제 지침이 미비한 상태이고, 오염지역의 부지개방 여부를 결정하는데 적용하는 부지개방유도농도기준(DCGL : Derived Concentration Guideline Level) 역시 법적 제한치가 마련되어있지 않은 실정이다. 국내 실정에 적합한 부지개방유도농도기준을 설정하기 위해서는 부지특성변수들에 대한 자료수집과 대표 시나리오의 선정이 우선시 되어야 한다. 따라서 해체부지의 선량평가 모델링에서 고려된 변수들에 대한 민감도를 분석함으로써 각 변수들이 방사성핵종 별로 선량평가에 미치는 영향을 평가하고 핵종별 key parameter를 확인하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 RESRAD code의 입력변수

해체 부지에 대한 선량평가의 초점은 오염된 토양으로부터 기인하는 방사선량을 평가하는 것으로 환경중의 모든 피폭경로를 고려하는 가장 보수적인 시나리오인 resident farmer 시나리오를 대표 시나리오로 선정하였으며, 선량평가 모델링에서 고려된 변수들은 아래 표 1과 같다.

표 1. 선량평가 모델링에서 고려하고 있는 변수들

구분	변수
물리적 변수	토양형태, 밀도, 다공도, 확산계수 등
수문학적 변수	수리전도도, 토양 b 변수, water table 깊이 등
지화학적 변수	분배계수, 침출률, 용해도 등
기상학적 변수	강수량, 증발산계수, 풍속, Run-off 계수 등
소비 변수	흡입, 관개, 섭취, 거주 등

### 2.2 가정사항

섭생관련 자료는 INDAC에서 사용 중인 최대가상개인중 성인에 대한 값을 적용하였으며, 내부 선량환산인자(DCF)는 유효선량 개념을 반영한 ICRP-72의 5 μm AMAD 값과 RESRAD 코드 내에서 권장하는 핵종별 화학적 형태의 성인에 대한 내부선량환산인자 값을 적용하였다. 또한, 부지 특성변수는 고리 1호기 최종안전성분석보고서에 있는 자료를 사용하여 고리 부지의 지질 구조와 토양 종류를 감안한 부지특성변수를 기본값으로 사용하였다.

### 2.3. 고려대상 방사성핵종

해체부지의 잔류방사성핵종의 선정은 Pathfinder, Humboldt 및 Trojan 원자력발전소의 해체시 검출된 19가지 핵종과 RESRAD 코드의 라이브러리, 일반적으로 측정이 용이한 핵종, NUREG-1727에서 토양에 대해 고려하고 있는 핵종, 그리고 중·저준위 방사성폐기물 인도규정

개정안에서 제시하고 있는 핵종 등에서 공통으로 적용되는 Cs-137, Co-60, Sr-90, C-14 및 Ni-59 핵종을 고려대상 방사성핵종으로 선정하고 각 방사성핵종의 농도를 0.037 Bq/g으로 가정하여 평가를 수행하였다.

## 2.4 Key parameters 분석

### 2.4.1 분석방법

key parameters의 분석은 민감도 분석에 의해 수행하였다. 변수들에 대한 민감도는 결과에 영향을 미치는 변수들의 불확실성에 대한 정도로서, 민감도 분석결과는 부지특성변수들의 값을 선정할 경우 총유효선량에 대하여 상대적으로 큰 영향을 초래하는 변수들에 초점을 맞추으로써 시간과 인력을 효율적으로 사용할 수 있도록 하는데 목적이 있다. 본 연구에서 변수들의 민감도는 변수들의 기본값과 상하 50%의 변동 범위에 대한 총유효선량의 상대적인 차이로서 정의하며 다음의 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\left| \frac{TEDE_{ch} - TEDE_d}{TEDE_d} \right| \times 100\% \quad (\text{식 1})$$

여기서  $TEDE_{ch}$  : 상하 50% 범위에 대한 총유효선량

$TEDE_d$  : 기본값을 사용한 총유효선량

### 2.4.2 분석에 사용된 변수값

선량평가 모델에서 고려하고 있는 변수들은 표 1에서 보여지듯이 다양하므로 분석에 사용된 기본값으로는 상기에 언급한 INDAC의 섭생자료, ICRP-72의 내부피폭선량환산인자, 고리부지의 토양 구조와 토양 종류를 감안한 부지특성변수 및 기본변수들에 대해서는 RESRAD 코드의 기본값을 적용하여 선량을 평가하였다. 본 연구에서 수행된 선량평가의 기본값은 표 2에 제시하였다.

표 2. 피폭선량평가에 사용된 변수에 대한 기본값

변수	변수값	변수	변수값
Area of contaminated zone	10,000 m <sup>2</sup>	Saturated zone hydraulic conductivity	100 m/yr
Density of contaminated zone	1.52 g/cm <sup>3</sup>	Saturated zone hydraulic gradient	0.02
Contaminated zone erosion rate	0.001 m/yr	Saturated zone b-parameter	5.3
Contaminated zone total porosity	0.45	Water table drop rate	0.001 m/yr
Contaminated zone field capacity	0.2	Well pump intake depth	18 m
Contaminated zone hydraulic conductivity	10 m/yr	well pumping rate	4,000 m/yr
Contaminated zone b parameter	5.3	Unsaturated thickness	6 m
Evapotranspiration coefficient	0.365	Unsaturated density	1.52 g/cm <sup>3</sup>
Wind speed	2.6 m/s	Unsaturated total porosity	0.45
precipitation	1.5 m/yr	Unsaturated effective porosity	0.2
Irrigation	0.4 m/yr	Unsaturated field capacity	0.2
Runoff coefficient	0.045	Unsaturated hydraulic conductivity	10 m/yr
Watershed area for nearby stream or pond	1.00E+06 m <sup>2</sup>	Unsaturated b-parameter	5.3
Accuracy for water/soil computations	0.001	Indoor dust filtration factor	0.4
Density of saturated zone	1.52 g/cm <sup>3</sup>	External gamma shielding factor	0.7
Saturated zone total porosity	0.45	Indoor time fraction	0.7
Saturated zone effective porosity	0.2	Outdoor time fraction	0.25
Saturated zone field capacity	0.2		

### 3. 결과 및 고찰

민감도 분석을 위해 기본값을 적용하여 계산된 총유효선량은 각각 Cs-137 핵종이 0.035 mSv/yr, Co-60 핵종이 0.11 mSv/yr, Sr-90 핵종이 0.15 mSv/yr, C-14 핵종이 0.035 mSv/yr, Ni-59 핵종이  $6.49 \times 10^{-5}$  mSv/yr이며,  $\pm 50$  %의 범위에 대한 총유효선량과 기본값에 대한 총유효선량의 상대적인 차이는 표 3과 같으며, 그림 1, 2, 3에서는 Cs-137, Co-60 및 C-14 핵종의 경향을 보여주고 있다.

표 3. Key Parameter 선정을 위한 민감도분석 결과

변수	Cs-137	Co-60	Sr-90	C-14	Ni-59
Area of contaminated zone	1.1%	1.4%	0.0%	32.9%	0.0%
Density of contaminated zone	0.0%	0.0%	0.6%	49.3%	0.0%
Contaminated zone erosion rate	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Contaminated zone total porosity	0.0%	0.0%	0.0%	2.2%	0.0%
Contaminated zone field capacity	0.0%	0.0%	0.0%	0.9%	0.0%
Contaminated zone hydraulic conductivity	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%
Contaminated zone b parameter	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.0%
Evapotranspiration coefficient	0.0%	0.0%	0.2%	94.0%	0.0%
Wind speed	0.0%	0.0%	0.0%	79.0%	0.0%
precipitation	0.0%	0.0%	0.2%	139.3%	0.0%
Irrigation	0.0%	0.0%	0.1%	32.2%	0.0%
Runoff coefficient	0.0%	0.0%	0.0%	5.0%	0.0%
Watershed area for nearby stream or pond	0.0%	0.0%	0.0%	19.3%	0.0%
Accuracy for water/soil computations	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Density of saturated zone	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Saturated zone total porosity	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Saturated zone effective porosity	0.0%	0.0%	0.0%	19.7%	0.0%
Saturated zone field capacity	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Saturated zone hydraulic conductivity	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%
Saturated zone hydraulic gradient	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%
Saturated zone b-parameter	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Water table drop rate	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Well pump intake depth	0.0%	0.0%	0.0%	19.3%	0.0%
well pumping rate	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Unsaturated thickness	0.0%	0.0%	0.0%	238.8%	0.0%
Unsaturated density	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Unsaturated total porosity	0.0%	0.0%	0.0%	9.9%	0.0%
Unsaturated effective porosity	0.0%	0.0%	0.0%	238.8%	0.0%
Unsaturated field capacity	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Unsaturated hydraulic conductivity	0.0%	0.0%	0.0%	12.7%	0.0%
Unsaturated b-parameter	0.0%	0.0%	0.0%	31.6%	0.0%
Indoor dust filtration factor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
External gamma shielding factor	22.0%	31.6%	0.1%	0.0%	0.0%
Indoor time fraction	22.0%	31.6%	0.1%	0.0%	0.0%
Outdoor time fraction	11.2%	16.2%	0.0%	0.0%	0.0%

Key Parameters 분석결과 각 핵종별로 아래와 같은 변수들이 key parameter로 확인되었다. 다만, C-14 핵종의 경우는 민감도가 20% 이상인 변수를 key parameter로 선정하였다.

- Cs-137 : 오염지역의 면적(1.1%), 외부감마차폐인자(22%), 실내거주시간분율(22%), 실외거주시간분율(11.2%)
- Co-60 : 오염지역의 면적(1.4%), 외부감마차폐인자(31.6%), 실내거주시간분율(31.6%), 외부거주시간분율(16.2%)
- Sr-90 : 오염지역의 토양밀도(0.6%)
- C-14 : 오염지역의 면적(32.9%), 오염지역의 토양밀도(49.3%), 증발산계수 (94%), 풍속(79%), 강수량(139.3%), 관개(32.2%), 불포화지역의 두께(238.8%), 불포화지역의 유효 공극률 (238.8%), 불포화지역의 b-parameter (31.6%)
- Ni-59 : 변수들이 선량에 미치는 영향 미미.

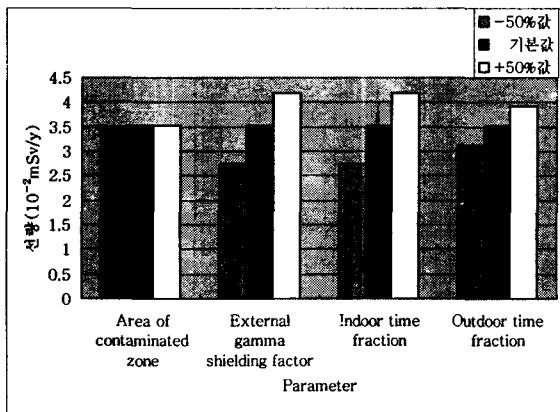


그림 1. Cs-137의 Key parameter

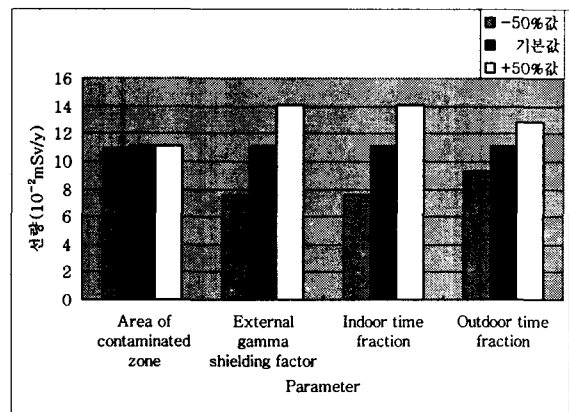


그림 2. Co-60 핵종의 Key parameter

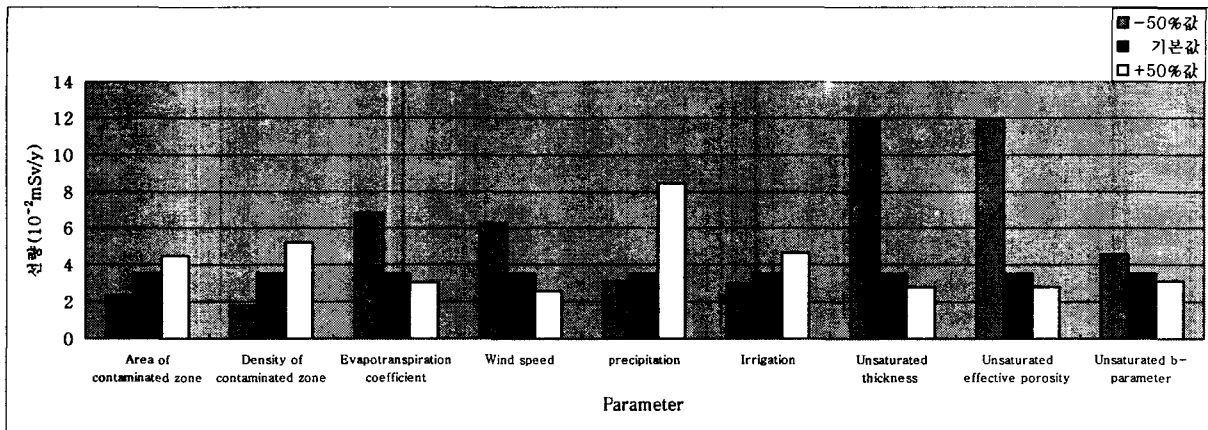


그림 3. C-14 핵종의 Key parameter

#### 4. 결 론

각 변수들의 민감도 분석에 의해 방사성핵종별로 피폭선량에 미치는 영향을 분석한 결과 감마선원인 Cs-137과 Co-60 핵종은 선원하인 오염물질의 면적과 거주관련변수가 선량평가에 미치는 영향이 큰 key parameter로 확인되었으며 Sr-90 핵종은 오염지역의 토양밀도만이 0.6%의 민감도

를 보이는 key parameter로 확인되었다. 또한 C-14 핵종은 환경관련변수와 불포화층의 수문학적 변수가 피폭선량에 미치는 영향이 큰 key parameter로 확인되었으며 Ni-59 핵종은 피폭선량에 미치는 key parameter를 확인할 수 없었다. 핵종별 key parameter의 분석 결과는 해체부지의 선량 평가시 총유효선량에 상대적으로 영향을 많이 미치는 부지특성변수들에 초점을 맞추므로써 부지 특성자료의 수집에 요구되는 시간과 노력을 극대화 할 수 있으리라 판단되며, 본 연구에서 고려치 않은 다른 핵종들에 대하여도 향후에 민감도 분석을 통해 key parameter분석을 수행할 예정이다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 주관하는 원자력중장기 개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

#### 5. 참고문헌

- [1] 신상운 외, "원자력발전소 제염·해체 안전성 평가 방법 개발", 원자력환경기술원, (2002).
- [2] 한국원자력안전기술원, "주민피폭선량 평가지침 및 INDAC 사용지침서", KINS?GR-199, (2000).
- [3] C. Yu, A. J. Zielen etc., "User's Manual for RESRAD Version 6.0", (2000).
- [4] C. Yu etc., "Data collection handbook to support modeling impacts of radioactive material in soil", U. S. Department of Energy, (1993).
- [5] International Commission on Radiological Protection Publication 72, "Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides", CD-ROM, (1996).
- [6] 과학기술부고시, "중·저준위 방사성폐기물 인도규정 개정안"
- [7] U. S. NRC, NUREG-1727, "NMSS Decommissioning standard Review Plan", (2000).