매립 시나리오에 따른 우라늄 폐기물의 자체처분 기준치 평가

강상호, 이승기, 정찬영, 임병우
한국전력기술(주) 용인시 기흥구 마북동 360-9
sangho@kopec.co.kr

국내 원자력법 등 관련법규에 따르면 극저준위 방사성폐기물의 자체처분 기준치는 해당 행위로 인한 피폭선량이 개인에 대해 연간 10 μSv, 집단에 대해 연간 1 person · Sv를 만족하도록 설정되어야 한다. 본 연구는 우라늄이 함유된 토양 성분의 방사성폐기물(이하 '우라늄 폐기물')을 매립의 방법으로 자체처분 할 경우 규제요건을 충족하는 방사능 농도 기준치를 유도하기 위하여 수행되었다. 이러한 평가는 원자력시설 해체 후 부지를 개방하기 위한 토양 내 잔류방사능 해제기준치 (DCGL, Derived Concentration Guideline Limit)를 평가하기 위한 절차와 동일하므로, 본 연구에서 정립된 평가방법론은 추후 원전 등 원자력시설의 부지해제 기준치 평가 시 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

● 시나리오 및 평가방법

우라늄 폐기물을 매립의 방법으로 자체처분 할 경우에는 폐기물의 운송과 매립과정을 거쳐 일반 산업폐기물 매립지에 매립된다. 매립지는 일정한 매립용량을 가지며 한계용량에 이르면 폐쇄 후 녹지 등 기타용도로 재활용되나, 보수적인 평가를 위하여 폐쇄 후 해당 부지에서 주민이 거주하여 농작물을 경작하는 것을 가정한다. 본 연구에서는 위와 같은 매립과정에 의해 피폭되는 시나리오를 세 가지로 분류하였으며 각각에 대한 피폭경로 및 선량평가 방법은 <표 1>과 같다.

<표 1> 자체처분 기준치 평가를 위한 시나리오별 피폭경로 및 평가방법

시나리오	피폭경로				선량평가 방법
	외부	호흡	음식물	음용수	
1. 운송	○				NUREG-1640, VisualShield 코드
2. 매립	○	○			NUREG-1640, VisualShield 코드
3. 매립지 거주민	○	○	○	○	RESRAD 전산코드

● 입력변수 설정

운송 및 매립활동 시나리오에 의한 선량평가는 결정론적 입력변수를 사용하여 수행되었다. 주요 입력변수로는 우라늄 폐기물의 방사선원항, 내·외부 선량환산인자, 피폭 기하구조, 질량부유율, 호흡가능 분율, 호흡률, 피폭시간, 인원 등이며, 해당 시나리오에 대한 현장조사와 적절한 가정을 결합하여 현실적 평가를 수행하였다.

매립지 거주민 시나리오는 입수 가능한 변수에 대해서는 결정론적 변수를 사용하고, 불확실한 변수에 대해서는 확률론적 분석을 수행하는 방법을 적용하였다. 결정론적 변수에는 특정 매립지를 가정하여 해당 매립지의 부지특성을 반영한 지질 및 수리자료를 확보하여 현실적인 수치를 적용하였다. 이러한 입력자료에는 오염지역의 넓이, 불포화대, 포화대의 깊이, 토양 층별 밀도, 수리전도도, 공극률, 침식률, 관개율, 증발산량, 풍속, 강수량, 잔류계수, 양수율, 섭취량, 저장기간, 전이계수, 생체축적인자 등 약 93종의 변수가 포함된다.

● 매립지 거주민 시나리오에 대한 확률론적 분석

부지특성자료가 가용하지 않는 매립지 거주민 시나리오 분석변수는 RESRAD 전산코드의 확률론적 분석 기능을 활용하여 평가되었다. 확률론적 분석방법은 다음과 같다. 우선, RESRAD 입력변수를 그 특성에 따라 물리적, 행위적 및 신진대사적 변수로 구분한다. 행위적 변수와 신진대사적 변수는 부지특성 자료가 있을 경우에는 해당자료를 선택하고, 그렇지 않을 경우에는 RESRAD

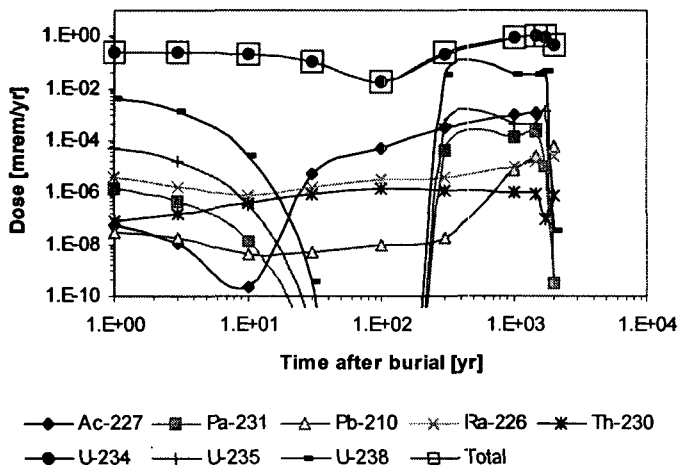
기본값을 입력한다. 물리적 변수의 경우에는 부지특성자료를 우선적으로 적용하고, 없을 경우에는 선량의 기여도에 따라 우선순위 1, 2, 3으로 분류한다. 우선순위가 낮은 3에 해당하는 변수에는 RESRAD 기본값을 입력하고, 1과 2에 해당하는 변수에는 NUREG/CR-6697에 제시된 변수별 분포함수를 선택하여 RESRAD의 확률론적 분석 옵션으로 민감도 분석을 실행한다. 민감도 분석결과로 표시되는 PRCC (Partial Rank Correlation Coefficient)의 절대값이 0.25를 초과하는 변수는 민감한 변수로 분류되는데, (+)의 값인 경우는 분포함수의 75%를 선택하고, (-)의 값인 경우에는 25%값을 선택한다. PRCC의 절대값이 0.25 이하인 경우에는 선량에 대한 민감도가 낮은 변수로 분류되어 RESRAD의 기본값을 적용하게 된다. 이러한 방법을 적용하여 선택된 31개의 민감도 분석변수 및 확률론적 분석결과는 <표 2>와 같다.

<표 2> 확률론적 분석대상 변수 및 결과

민감도 분석변수	PRCC	결정론적 입력값	민감도 분석변수	PRCC	결정론적 입력값
K_d of Ac-227 in CZ	0.03	50	K_d of U-234 in CZ	**0.45**	**1042.8**
K_d of Ac-227 in UZ	0.00	50	K_d of U-234 in UZ	-0.18	50
K_d of Ac-227 in SZ	-0.06	50	K_d of U-234 in SZ	-0.15	50
K_d of Pa-231 in CZ	-0.05	50	K_d of U-235 in CZ	-0.02	50
K_d of Pa-231 in UZ	-0.05	50	K_d of U-235 in UZ	-0.03	50
K_d of Pa-231 in SZ	0.03	50	K_d of U-235 in SZ	0.02	50
K_d of Pb-210 in CZ	0.00	100	K_d of U-238 in CZ	0.00	50
K_d of Pb-210 in UZ	-0.02	100	K_d of U-238 in UZ	-0.14	50
K_d of Pb-210 in SZ	-0.01	100	K_d of U-238 in SZ	-0.09	50
K_d of Ra-226 in CZ	0.06	70	Evapotranspiration coefficient	-0.02	0.5
K_d of Ra-226 in UZ	-0.04	70	Well pump intake depth (m)	-0.05	10
K_d of Ra-226 in SZ	-0.03	70	Indoor dust filtration factor	0.00	0.4
K_d of Th-230 in CZ	0.06	60,000	Ext. gamma shielding factor	0.00	0.7
K_d of Th-230 in UZ	0.02	60,000	Depth of soil mixing layer(m)	0.02	0.15
K_d of Th-230 in SZ	-0.04	60,000	Depth of roots (m)	**0.59**	**3.07**
			Foliar interception fraction	0.04	0.25

* K_d : 분배계수 (Distribution Coefficient, cm^3/g)

● **결과 및 토의**



<그림 1> U-238 핵종 1.7 Bq/g 기준 선량률 변화

각 시나리오에 대한 선량평가 결과, 매립지 거주민 시나리오가 가장 큰 피폭을 초래하는 것으로 나타났다. 최대 선량은 매립 후 1,708년 이후에 U-238의 붕괴로 생성된 U-234의 영향에 의해 나타나며, 이는 매립지 토양내로 침투된 우라늄이 지하수로 유입되고 이를 식수로 이용함에 따른 것으로 분석되었다. 자체처분 선량한도를 만족하기 위한 우라늄 폐기물의 기준치는 U-238 핵종을 기준으로 1.7 Bq/g으로 평가 되었는데, <그림 1>과 같이 이 값을 기준으로 평가한 결과는 1,708년에 1 mrem/yr (=10 μSv/yr)로 나타난다. 한편, 동 기준치는 우라늄의 토양 내 분배계수(K_d) 값에 영향을 받는 것으로 나타났다.