

중·저준위 방사성폐기물 처분에 필요한
평가대상핵종 선정에 위한 피폭선량 계산

Calculation of Exposure Dose in order to Determine Analysis Radionuclide
for Disposal of Low and Intermediate Radioactive Waste

김태욱*, 김경덕, 허영희

한수원(주) 원자력환경기술원
대전광역시 유성구 덕진동 150

요약

방사성폐기물 처분을 위한 평가대상핵종 선정은 처분시설의 위치 및 특성 등이 결정되어야 가능하다. 본 연구에서는 이러한 평가대상핵종 선정에 앞서 일반적인 처분시설에 방사성폐기물을 처분하였을 때 주민이 받게 되는 피폭선량을 핵종별로 계산하고, 전체 주민피폭선량의 99.9%를 차지하도록 방사성핵종을 선정하여 향후 평가대상핵종으로 선정시 참고토록 하였다. 계산코드는 미국 NRC에서 개발한 DandD 코드(ver. 2.1)를 이용하였다. 계산결과 주민피폭선량에 최대영향을 미치는 핵종은 ^{55}Fe 로 나타났으며, ^{55}Fe 와 ^{63}Ni 의 핵종이 전체 피폭선량의 99.9% 이상을 차지하는 것으로 나타났다.

Abstract

The selection of radionuclide to be analyzed for disposal of radioactive wastes can be carried out after the determination of the site and specific characteristics of disposal facility. In this study, prior to the selection of the radionuclides to be analyzed for disposal of radioactive waste, radionuclides causing over 99.9 percent of total dose were selected through the calculation of the exposure dose of population when radioactive wastes are disposed in a general disposal site. The used code was the DandD (ver. 2.1) which was developed by the US NRC in 2001. From the results, a major nuclide affecting the population dose was known as ^{55}Fe and ^{55}Fe and ^{63}Ni caused over 99.9 percent of the total dose.

서론

원전에서 발생하는 중·저준위 방사성폐기물은 방사성폐기물 처분시설에서 안전하게 관리하는 것이 바람직하다. 중·저준위 방사성폐기물은 '중·저준위 방사성폐기물 인도기준(과학기술부고시

제2001-32호)에 명시된 바와 같이 처분하기 전에 핵종별 방사능농도를 분석하여야 한다. 그러나 중·저준위 방사성폐기물에 존재하는 방사성핵종의 종류는 매우 많기 때문에 모든 핵종의 방사능을 분석하는 것은 비용과 시간 소모 측면에서 볼 때 올바른 방법이 아니다. 원자력발전소에서 발생하는 방사성핵종의 종류 많지만 처분시설 운영시 주민선량 영향의 대부분을 차지하고 있는 핵종은 10여 종에 불과한 것으로 알려져 있다. 그러므로 주민피폭의 대부분을 차지하는 핵종을 선정하여 이들 핵종만을 평가한다고 하여도 주민피폭선량을 충분히 평가할 수 있으리라고 판단된다.

미국, 일본, 스페인, 스웨덴, 벨기에, IAEA 등에서는 평가대상핵종으로 20개 이내의 핵종과 반감기 5년 이상의 알파방출핵종의 총방사능 또는 TRU 핵종 등을 선정하여 사용하고 있다¹⁾. 방사성폐기물 처분을 위한 평가대상핵종 선정은 처분시설의 위치 및 특성 등이 결정되어야 가능하며, 우리나라는 아직 처분시설의 파라메타 등이 확정되지 않았으므로 아직 평가대상핵종을 선정하기는 어렵다. 본 연구에서는 이러한 평가대상핵종 선정에 앞서 일반적인 처분시설에 방사성폐기물을 처분하였을 때 주민이 받게 되는 피폭선량을 핵종별로 계산하여 전체 주민피폭선량의 99.9%를 차지하는 방사성핵종을 선정하여 평가대상핵종으로 선정될 수 있는 핵종들을 제시해 보았다. 계산코드는 미국 NRC에서 개발한 DandD 코드(ver. 2.1)를 이용하였다. DandD 코드는 NUREG/CR-5512에 근거하여 원자력시설 해체 후 주민피폭선량을 계산하는 코드로서 본 연구에서는 핵종별 주민피폭선량을 계산하기 위해 파라미터 및 선량환산인자 등을 이용하였다²⁾.

본론

방사성폐기물 처분으로 인한 주민피폭선량을 계산하기 위해서는 대상 폐기물의 핵종 인벤토리를 알아야 한다. 본 연구에서는 폐기물의 핵종 인벤토리로 고리 1호기 운영 중 및 해체하였을 경우 발생하는 방사성폐기물의 방사능농도를 이용하였다.

운영 중 발생하는 방사성폐기물은 RCS의 방사능농도를 측정된 값을 기준으로 하였다. 또한, RCS 방사성핵종 중 측정하기 어려운 핵종에 대해서는 근래에 작성한 영광 3,4 호기 FSAR의 RCS 핵종 방사능농도 값을 이용하여, 부식생성 핵종에 대해서는 ^{60}Co 핵종과의 연관관계를 이용한 해당핵종의 방사능농도를 구하고 핵분열생성핵종에 대해서는 ^{137}Cs 핵종과의 연관관계를 이용한 해당핵종의 농도를 구했으며, TRU 핵종에 대해서는 ^{134}Ce 핵종과의 연관관계를 이용하여 해당핵종의 방사능농도를 구하였다. 해체하였을 경우 발생하는 방사성폐기물의 방사능농도는 ORIGEN 코드를 이용하여 계산한 값을 이용하였다.

원전에서 발생하는 방사성폐기물의 종류는 매우 많으며 주민피폭선량의 대부분을 차지하고 있는 핵종은 불과 10여 종에 불과하기 때문에 모든 핵종에 대하여 주민피폭선량을 구하는 것은 비용 및 시간 면에서 비효율적이다. 따라서 본 연구에서는 반감기가 100일 이상인 핵종만을 대상으로 하였다. 그림 1에 고리 1호기 RCS의 방사능농도를 측정된 값을 나타내었다.

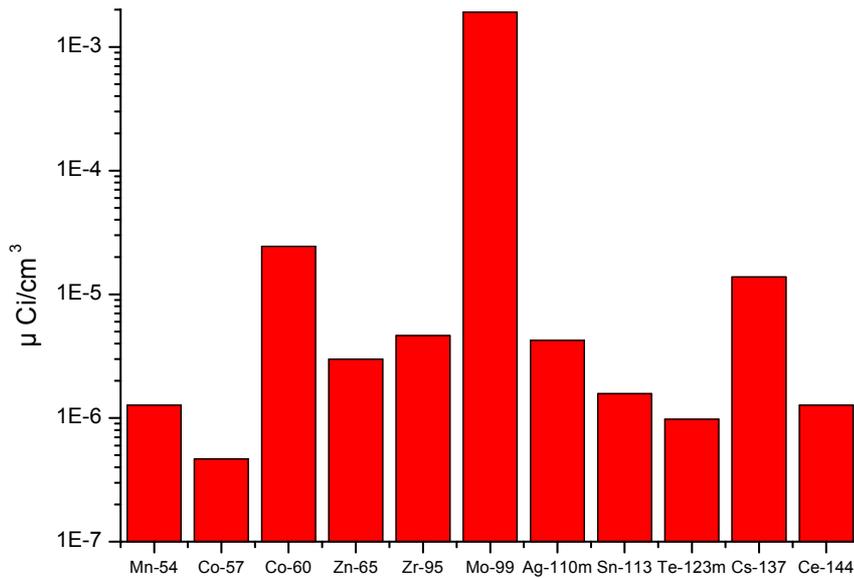


그림 1. 고리 1 호기 RCS 내 방사성핵종의 농도

RCS 방사성핵종 중 측정하기 어려운 핵종에 대한 방사능농도를 구하기 위해 영광 3,4 호기 FSAR의 RCS 핵종 방사능농도 값을 이용하였다. 이들 핵종에 대한 영광 3,4 호기 FSAR의 RCS 내에 존재하는 부식생성핵종 및 핵분열생성핵종 방사능농도의 ^{60}Co 핵종과 ^{137}Cs 핵종과의 연관관계를 이용하여 환산한 방사능농도 값을 그림 2에 나타내었다.

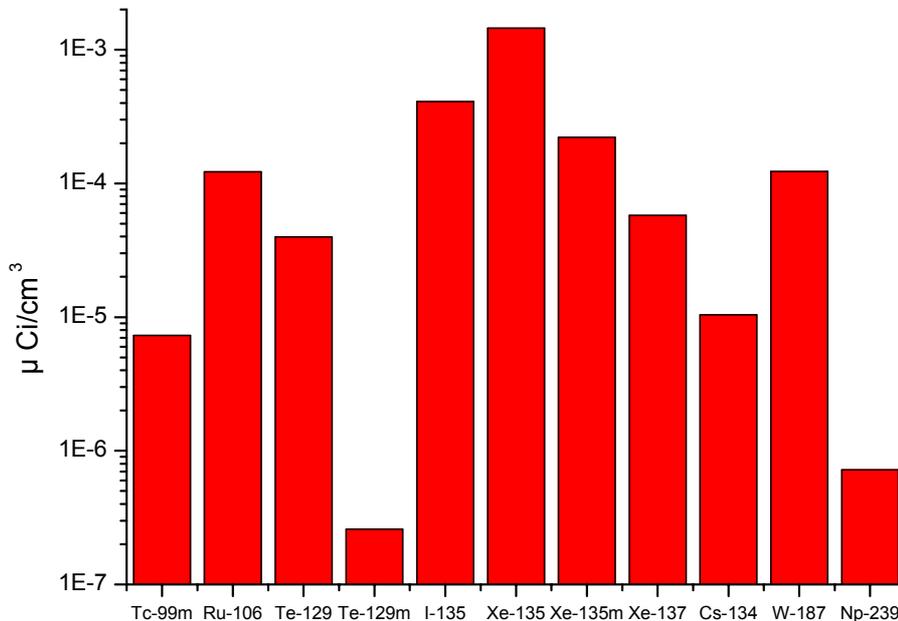


그림 2. 고리 1 호기 RCS 내 측정하기 어려운 방사성핵종들의 방사능농도를 핵종간의 연관관계를 이용하여 구한 방사능농도

원자력발전소를 해체하였을 때 발생하는 방사성폐기물의 방사능농도는 ORIGEN 코드를 이용

하여 고리 1호기를 만 일 동안 가동하였을 때 vessel 및 콘크리트가 방사화되어 생성되는 방사능 농도를 이용하였다. 그림 3 및 4에 vessel 및 콘크리트의 방사능농도를 나타내었다.

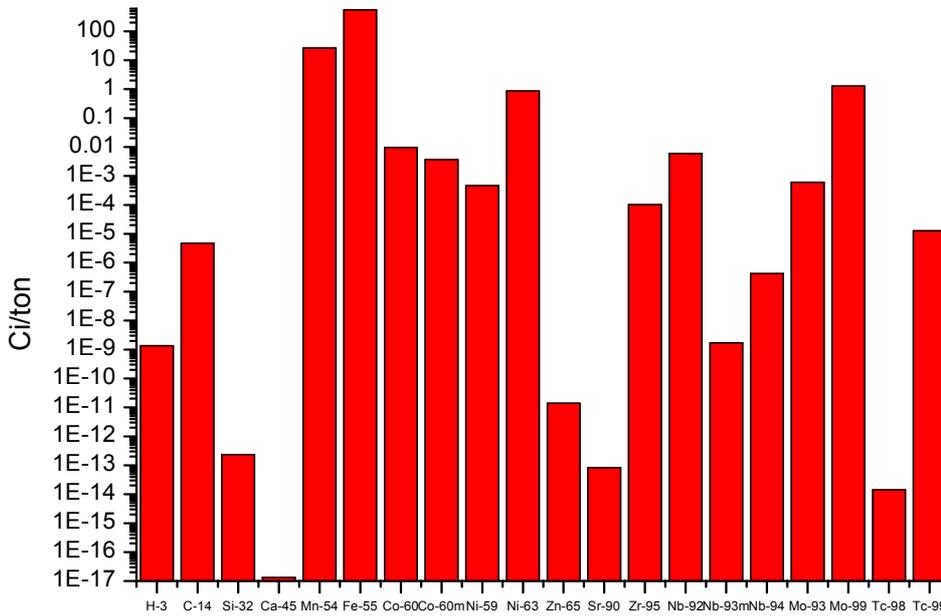


그림 3. 고리 1 호기 vessel 내 방사성핵종의 농도

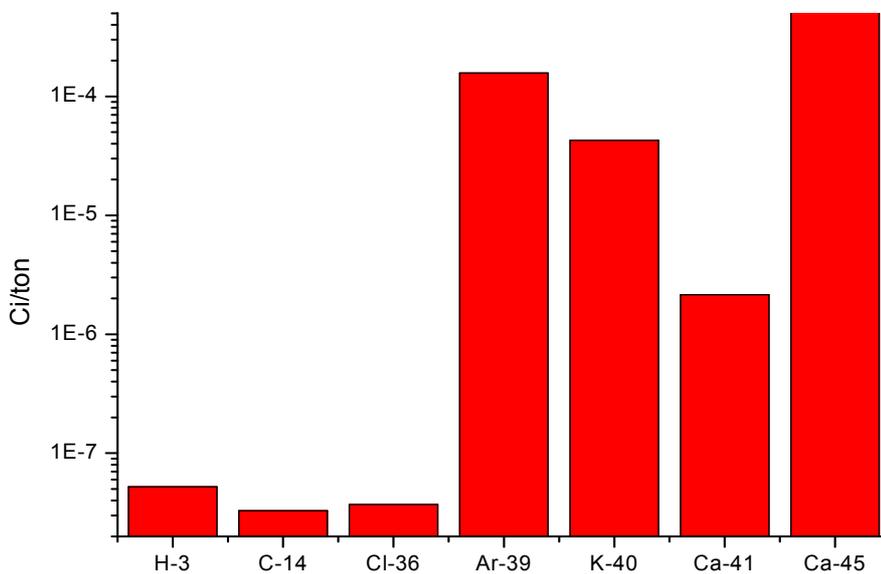


그림 4. 고리 1 호기 concrete 내 방사성핵종의 농도

방사성폐기물이 처분되었을 때 주민피폭선량을 구하기 위하여 핵종별 선량환산인자를 계산하였다. 계산은 DandD ver. 2.1 코드를 이용하였으며 토양 전체에 무한히 고르게 분포하였을 때를 가정하였다. 대상핵종은 반감기 100일 이상인 핵종으로 선정하였으며, 방사성핵종이 붕괴하여 생성된 딸핵종이 방사성핵종일 경우에는 딸핵종으로 인한 피폭선량 값을 어미 핵종의 값에 포함시

켰다. 원전 발생 방사성폐기물에 존재하는 딸핵종이 방사성핵종인 핵종과 반감기 100일 이상인 핵종의 선량환산인자를 표 1 및 표 2에 나타내었다.

표 1. 방사성폐기물에 포함된 딸핵종이 방사성핵종인 핵종

핵종	반감기	딸핵종	핵종	반감기	딸핵종
⁹⁰ Sr	28.60 년	⁹⁰ Y	¹⁴⁴ Ce	284.30 일	^{144m} Pr, ¹⁴⁴ Pr
⁹⁵ Zr	64.02 일	^{95m} Nb, ⁹⁵ Nb	¹⁰⁶ Ru	368.20 일	¹⁰⁶ Rh
⁹⁹ Mo	66.02 시	^{99m} Tc, ⁹⁹ Tc	¹²⁹ Te	69.60 분	¹²⁹ I
^{99m} Tc	6.02 시	⁹⁹ Tc	^{129m} Te	33.60 일	¹²⁹ Te, ¹²⁹ I
^{110m} Ag	249.85 일	¹¹⁰ Ag	¹⁸⁷ W	23.83 시	¹⁸⁷ Re
^{123m} Te	119.70 일	¹²³ Te	²³⁹ Np	2.36 일	²³⁹ Pu, ²³⁵ U, ²³¹ Th, ²³¹ Pa, ²²⁷ Ac, ²²³ Fr, ²²⁷ Th, ²²³ Ra, ²¹⁹ Rn, ²¹⁵ Po, ²¹¹ Pb, ²¹¹ Bi, ²¹¹ Po, ²⁰⁷ Tl

표 2. 방사성폐기물에 존재하는 반감기 100일 이상 방사성핵종의 선량환산인자

핵종	선량환산인자 (mSv/y)/ (Bq/cm ³)	핵종	선량환산인자 (mSv/y)/ (Bq/cm ³)	핵종	선량환산인자 (mSv/y)/ (Bq/cm ³)
³ H	8.84×10^{-2}	⁶³ Ni	1.81×10^{-3}	^{110m} Ag	1.40×10^0
¹⁴ C	1.66×10^{-1}	⁶⁵ Zn	6.43×10^{-1}	^{123m} Te	3.65×10^{-2}
³⁶ Cl	2.03×10^1	⁹⁰ Sr	5.03×10^0	¹²⁹ Te	7.89×10^{-6}
⁴⁰ K	8.89×10^{-1}	⁹⁵ Zr	2.69×10^{-1}	^{129m} Te	6.76×10^{-3}
⁴¹ Ca	1.09×10^{-1}	^{93m} Nb	1.17×10^0	¹³⁵ I	1.53×10^{-3}
⁴⁵ Ca	1.26×10^{-1}	⁹⁴ Nb	2.39×10^{-3}	¹³⁴ Cs	1.20×10^0
⁵⁴ Mn	4.73×10^{-1}	⁹⁹ Mo	4.14×10^{-1}	¹³⁷ Cs	6.20×10^{-1}
⁵⁵ Fe	6.43×10^{-4}	⁹⁹ Tc	7.49×10^{-5}	¹⁴⁴ Ce	3.43×10^{-2}
⁵⁷ Co	4.59×10^{-2}	^{99m} Tc	4.14×10^{-1}	¹⁸⁷ W	1.35×10^{-3}
⁶⁰ Co	1.80×10^0	¹⁰⁶ Ru	1.36×10^{-1}	²³⁹ Np	9.44×10^{-4}
⁵⁹ Ni	6.63×10^{-4}				

표 2의 선량환산인자 값을 이용하여 원전에서 발생되는 방사성폐기물 중 RCS 폐기물을 처분하였을 때, vessel을 처분하였을 때, 콘크리트를 처분하였을 때 각각에 대하여 처분 당시의 주민피폭선량을 계산하고 핵종별 최대값을 채택한 결과 각 핵종별 전체 피폭선량에서 차지하는 비율은 그림 5와 같이 나타났다.

계산결과 주민피폭선량에 최대영향을 미치는 핵종은 ⁵⁵Fe로 나타났으며, ⁵⁵Fe와 ⁶³Ni의 핵종이 전체 피폭선량의 99.9% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 계산에 사용된 핵종 인벤토리는 RCS 냉각수의 경우 방사능측정 결과와 FSAR 결과에서 ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs, ¹³⁴Ce 핵종과의 연관관계를 이용하여 환산한 값을 이용하였다. 그러므로 방사능측정시 누락된 핵종이 존재할 수 있고, 처분 관점에

서는 주요핵종이나 FSAR 상의 안전성 측면에서 누락된 핵종도 존재할 수 있다.

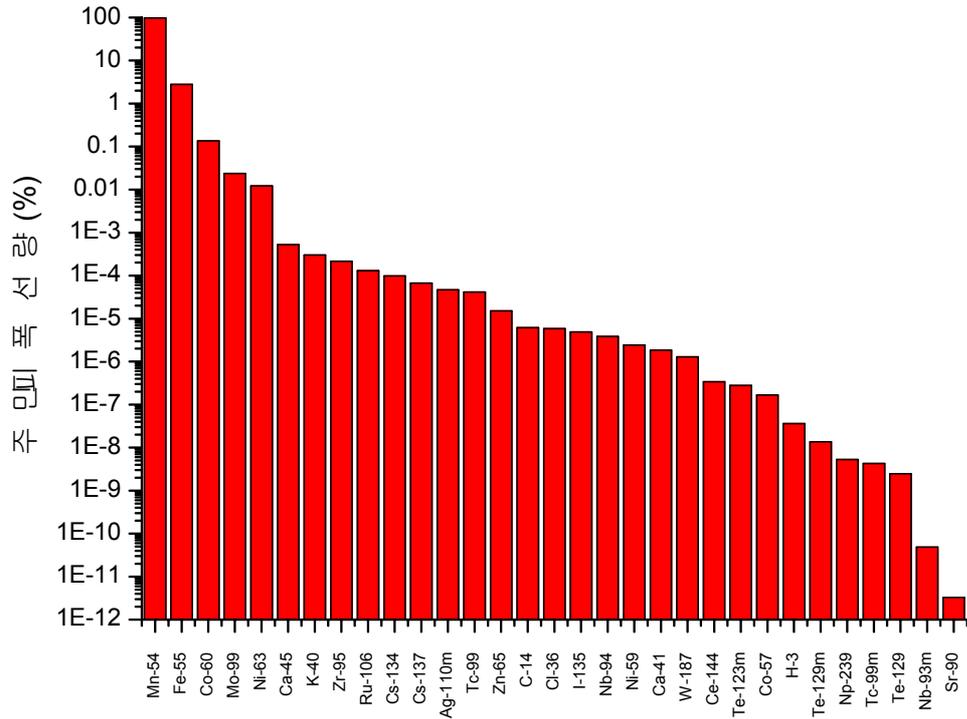


그림 5. 원전발생 폐기물을 처분하였을 때 처분 당시의 핵종별 피폭선량 차지 비율

이러한 계산은 처분 후 1년, 3년, 10년, 30년, 100년, 300년에 대하여 각각 수행하였으며 각각의 경우 주민피폭선량의 99.9%와 99.999%를 차지하는 핵종을 표 3에 나타내었다.

표 3. 처분 후 경과기간에 따른 주민피폭선량 차지 주요핵종

처분 후 경과기간	99.9% 차지 핵종	99.999% 차지 핵종
0년	^{55}Fe , ^{63}Ni	^{54}Mn , ^{45}Ca , ^{106}Ru
1년	^{55}Fe , ^{63}Ni	^{54}Mn
3년	^{55}Fe , ^{63}Ni	
10년	^{55}Fe , ^{63}Ni	^{137}Cs , ^{99}Tc
30년	^{63}Ni , ^{55}Fe	^{99}Tc , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{59}Ni
100년	^{63}Ni	^{99}Tc , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{59}Ni , ^{14}C
300년	^{63}Ni	^{99}Tc , ^{40}K , ^{59}Ni , ^{14}C , ^{36}Cl , ^{135}I

결론

방사성폐기물 처분에 필요한 평가대상핵종 선정을 위해 일반적인 처분시설에 원자로 냉각재 또는 발전소 해체폐기물을 처분하였을 때 주민이 받게 되는 피폭선량을 미국 NRC에서 개발한

DandD 코드(ver. 2.1)를 이용하여 핵종별로 계산한 주민피폭선량에 최대영향을 미치는 핵종은 ^{55}Fe 로 나타났으며, ^{55}Fe 와 ^{63}Ni 의 핵종이 전체 피폭선량의 99.9% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 본 계산의 핵종 인벤토리는 RCS 냉각수의 경우 방사능측정 결과와 FSAR 결과에서 ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{134}Ce 핵종과의 연관관계를 이용하여 환산한 값을 이용하였는데 방사능측정시 누락되거나 또는 처분 관점에서는 주요핵종이나 FSAR 결과에서 방사능측면에서는 주요핵종이 아니나 누락된 핵종도 존재할 수 있다.

참고문헌

1. 한국원자력안전기술원, "방사성폐기물 처분을 위한 핵종재고량 평가방법에 관한 연구(II)," 2003.
2. NUREG/CR-5512, Vol. 2, "Residual Radioactive Contamination from Decommissioning," 2001.