고리 1호기 해체 후 부지 재이용을 위한 방사성핵종 선별 및 DCGLs 유도

이선영, 변지향, 이승욱, 안석영*
부산대학교, 부산광역시 금정구 부산대학로 63번길 2
*sahn@pusan.ac.kr

1. 서론

국내에서 처음으로 가동한 상업용 원전 고리 1호기를 2017년 영구 운전정지하고 해체 준비를 하는 시점에 있다. 국내의 경우 연구로 1,2,호기의 해체 경험은 있으나 상업용 원전의 해체경험은 전무하다. 원전 해체 후, 부지의 재이용을 위해서 초기 방사성핵종 선별 및 농도 그리고 DCGLs을 구하는 것은 매우 중요한 일이다. 본 연구에서는 해체 후 DandD code와 RESRAD-ONSITE code를 이용하여 방사성핵종에 대한 선별 및 DCGLs을 유도하는 방법에 대해서 미국 사례를 중심으로 고리 1호기에 대해서 적용해 보았다.

2. 방사성 핵종의 선별 및 DCGLs의 계산

2.1 방사성핵종 선별

제염 해체 후 부지 평가를 위해서는 잔존 가능 방사성핵종을 선별하여야 한다. 해체과정에서 원자로 내부의 방사화된 불질의 1차 계통내 오염, 사고 등의 이유로 다양한 종류의 핵종이 발생하게 된다. 일반적으로 해체에 걸리는 기간이 5-10 년 이상이므로 단반감기의 핵종은 무시가 가능하다. 보수적인 평가를 위해 2 년 이상의 장반감기를 가지는 핵종들만 고려하게 된다.

2.2 DandD code를 이용한 제외 핵종 검증

다음으로는 기술배경서와 운영이력조사, ORIGEN code를 이용하여 핵종을 선별하여야한다.
먼저 U.S. NRC에서 원전해체과정 전반에 대해서 서술한 NUREG/CR-3474, 4289, 0130 등을 이용하여 잠재 가능 핵종 리스트를 작성한다 [1-3]. 그리고 잠재 리스트의 핵종들의 총 방사선량을 구하고 각 핵종마다 총 방사선량에 대한 분률[pCi/g]을 계산한다. 이 중 분률이 0.1%미만인 핵종들은 잠재 리스트에서 제외가능하다. 대신 DandD 코드를 이용히야 보수적 시나리오에서 선량평가를 실시하여 제외가능에 대한 검증을 하여야 한다. DandD 코드에서 지원하지 않는 핵종의 경우 섭취 피폭-선량 변환계수를 이용하여 평가하여야 한다. 이렇게 농도 및 선량평가를 하는 이유는 선량에 미미한 영향을 미치는 핵종은 제외하고 주요핵종만 고려하기 위함이다. 또한 그에 따른 검증자료의 확보도 필요하다.

2.3 DCGLs 계산방법

앞서 선별한 주요핵종에 대해 RESRAD-ONSITE를 이용하여 DCGLs을 계산한다. DCGLs 계산은 Eq. (1)을 이용한다.

$$DCGL = \frac{0.1 mSv\ per\ pCi/g}{Calculated\ Peak\ Dose\ (pCi/g)} \quad (1)$$

또한, DCGLs 계산에서 개방기준을 위한 선량기준을 정하여야 한다. 선량은 현재 고시안으로 제시된 무제한 이용 및 제한 재이용의 0.1 mSv/yr 기준을 사용하였다.

3. 결과 및 결론

방법론을 이용하여 KINS-297, 444, 1169, NUREG/CR-3474, 4289, 0130, 의 자료를 이용하여 DandD code 및 RESRAD를 이용하여 DCGLs 유도 및 평가를 해보았다. 그 결과 선별한 핵종은 다음과 같다.

Table 1. Theoretical Selection of a Suite of Radiuclides by NUREGs and ORIGENs

Radiouclides	
H-3	C-14
Ni-59	Ni-63
Co-60	Eu-152
Cl-36	Sr-90
Pu-239	Ag-108m

위의 핵종들을 이용해 부지의 무제한적 재이용을 위한 주민선량 시나리오와 제한적 재이용을 위한 종사자선량 시나리오를 비교해보았다. 계산한 DCGLs은 Table 2와 Table 3에 표시하였다.
두 가지 시나리오의 Peak dose 및 DCGLs을 비

교해보면 상대적으로 종사자선량 시나리오에서 더 높은 DCGLs값이 유도된다. 그 이유는 24 시간 거주하는 형태인 거주자 시나리오와 달리 8 시간 내 근무의 형태로 재이용되기 때문이다.

고리1호기의 해체중이나 해체 후에도 고리2-4호기 및 신고리 등 인접 원전이 가동되고 있고 부지 개방기준 0.1mSv/yr의 기준을 맞추기 위해서 무제한 재이용에 따른 주민선량 시나리오는 더 많은 제염을 요구하므로 비용이 상승하게 된다. 따라서 고리1호기는 종사자 선량 시나리오를 이용한 재사용 계획이 현재 인접 원전 운영등을 고려할 때 적합한 것으로 사료되고 그에 따른 DCGLs 유도가 적합하다. 해체경험이 없기 때문에 보수적인 평가를 위해 사용한 Data는 원자로내부의 방사성핵종 및 농도이며 ^{60}Co의 경우 두 시나리오에서 주요핵종이며 최대한 낮은 농도까지 제염이 필요하다.

2017년부터 고리1호기는 운전 중지 및 해체가 시작된다. 앞서 NUREG문서의 방법론을 바탕으로 보수적인 평가를 위해 원자로 내부의 높은 선량을 가지는 자료를 이용하여 평가를 해보았다. 실제 해체 시에는 가장 높은 선량을 띄는 예상 부지의 샘플을 직접 채취하여 평가하여 방사선량을 정량화하여 DCGLs 계산에 사용하여야 할 것이다.

Table 2. Peak Dose and DCGL about Kori Unit 1 for Farmer Scenario

Nuclide	Percent Total	Peak of mean dose (mSv/yr per pCi/g)	DCGL (pCi/g)	Fractions
H-3	2.89×10^{-2}	1.71×10^{-5}	5.85×10^{3}	0.0000
C-14	7.52×10^{-2}	8.78×10^{-3}	1.14×10	0.0025
Cl-36	1.55×10^{-3}	3.57×10^{-4}	2.80×10^{2}	0.0001
Co-60	4.18×10	3.31×10^{0}	3.02×10^{-2}	0.9948
Ni-59	3.60×10^{-1}	2.34×10^{-5}	4.27×10^{3}	0.0000
Ni-63	4.97×10	7.65×10^{-3}	1.31×10	0.0023
Sr-90	3.28×10^{-3}	5.36×10^{-4}	1.87×10^{2}	0.0002
Ag-108m	2.65×10^{-4}	5.03×10^{-6}	1.99×10^{4}	0.0000
Eu-152	6.52×10^{-4}	2.17×10^{-5}	4.61×10^{3}	0.0000
Pu-239	2.79×10^{-5}	1.75×10^{-7}	5.71×10^{5}	0.0000

Table 3. Peak Dose and DCGL about Kori Unit 1 for Worker Scenario

Nuclide	Percent Total	Peak of the mean dose (mSv/yr per pCi/g)	DCGL (pCi/g)	Fractions
H-3	2.89×10^{-2}	1.21×10^{-7}	8.26×10^{5}	0.000
C-14	7.52×10^{-2}	1.41×10^{-8}	7.09×10^{6}	0.000
Cl-36	1.55×10^{-3}	1.37×10^{-9}	7.30×10^{7}	0.000
Co-60	4.18×10	2.64×10^{0}	3.79×10^{-2}	1.000
Ni-59	3.60×10^{-1}	3.31×10^{-8}	3.02×10^{6}	0.000
Ni-63	4.97×10	1.08×10^{-5}	9.26×10^{3}	0.000
Sr-90	3.28×10^{-3}	7.45×10^{-7}	1.34×10^{5}	0.000
Ag-108m	2.65×10^{-4}	5.01×10^{-7}	2.00×10^{5}	0.000
Eu-152	6.52×10^{-4}	1.89×10^{-5}	5.29×10^{3}	0.000
Pu-239	2.79×10^{-5}	5.53×10^{-8}	1.81×10^{6}	0.000

4. 감사의 글

본 연구는 한국 원자력 안전재단의 원자력안전연구 No.1305009-0214-HD130의 지원과 한국연구재단 원자력 연구개발사업 2012M2B2B10055의 지원으로 수행한 연구과제 입니다.

5. 참고문헌

[1] U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), "Long-Lived Activation Products in Reactor Materials", NUREG/CR-3474 (1984).

[2] U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), "Residual Radionuclide Contamination Within and Around Commercial Nuclear Power Plants", NUREG/CR-4289 (1986).

[3] U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), "Technology, Safety and Cost of Decommissioning", NUREG-0130 (1978).

[4] KINS/HR-1169, "대형 해체부지 재이용 및 대량 해체 폐기물 재활용 기준 및 검증지침 개발", 한국원자력안전기술원, 7, (2012).

[5] KINS/HR-297, "방사성폐기물 규제기술개발", 한국원자력안전기술원, 402-407,536, (2005).

[6] KINS/HR-444, 원자력발전소 제염해체 안정성 평가 방법 개발, 한국원자력안전기술원, 31, (2002).