

Determination of Radionuclide Concentration Limit for Low and Intermediate-Level Radioactive Waste Disposal Facility II: Application of Optimization Methodology for Underground Silo Type Disposal Facility

중저준위방사성폐기물 처분시설의 처분농도제한치 설정에 대한 고찰 II: 최적화 방법론 개발 및 적용

Sung-Wook Hong*, Min Seong Kim, Kang Il Jung, and Jin Beak Park

Korea Radioactive Waste Agency (KORAD), 174 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Republic of Korea

홍성욱*, 김민성, 정강일, 박진백

한국원자력환경공단, 대전광역시 유성구 가정로 174 기술연구소

(Received July 4, 2017 / Revised August 4, 2017 / Approved August 22, 2017)

The Gyeongju underground silo type disposal facility, approved for use in December 2014, is in operation for the disposal of low and very low-level radioactive wastes, excluding intermediate-level waste. That is why the existing low-level radioactive waste level has been subdivided and the concentration limit value for intermediate-level waste has been changed in accordance with Nuclear Safety Commission Notice 2014-003. For the safe disposal of intermediate-level wastes, new optimization methodology for calculating the concentration limit of intermediate radioactive level wastes at an underground silo type disposal facility was developed. According to the developed optimization methodology, concentration limits of intermediate-level wastes were derived and the inventory of radioactive nuclides was evaluated. The operation and post closure scenarios were evaluated for the derived radioactive nuclide inventory and the results of all scenarios were confirmed to meet the regulatory limit. However, in case of ^{14}C , it was confirmed that additional radioactivity limitation through a well scenario was needed in addition to the limit of disposal concentration. It was confirmed that the derived intermediate concentration limit of radioactive waste can be used as the intermediate-level waste concentration limit for the underground disposal facility. For the safe disposal of intermediate-level wastes, KORAD plans to acquire additional data from the radioactive waste generator and manage the cumulative radioactivity of ^{14}C .

Keywords: Inventory, Disposal facility, Radioactive waste, Concentration limit, Safety Case

* Corresponding Author.

Sung-Wook Hong, Korea Radioactive Waste Agency (KORAD), E-mail: heart@korad.or.kr, Tel: +82-42-601-5321

ORCID

Sung-Wook Hong <http://orcid.org/0000-0003-1073-1467>

Kang Il Jung <http://orcid.org/0000-0002-4655-3060>

Min Seong Kim <http://orcid.org/0000-0002-8933-735X>

Jin Beak Park <http://orcid.org/0000-0003-3050-2565>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

2014년 12월 사용 승인된 경주 중저준위 방사성폐기물 동굴처분시설은 중저준위 방사성폐기물의 처분을 위해 운영중이나 중준위 방사성폐기물을 처분할 수 없다. 왜냐하면 기존 중준위 방사성폐기물이 원자력안전위원회 고시 2014-003호에 따라 방사성폐기물 준위가 세분화되었으며, 기존의 중저준위 방사성폐기물 핵종별 처분농도제한치 값이 변경되었으나 이를 고려하지 못하였기 때문이다. 중준위 방사성폐기물의 안전한 처분을 위해 IAEA에서 제시한 방법론과는 달리 방사능량 산출 시 적용된 가용데이터를 기반으로 기존의 설정된 극저준위 및 저준위 방사성폐기물의 처분농도제한치를 고려하여 1단계 동굴 처분시설의 중준위 방사성폐기물에 대한 처분농도제한치를 설정하였다. 단, ^{14}C 의 경우 처분농도제한치 외에 추가적인 방사능량 제한이 필요함을 확인하고 우물이용시나리오를 통해 1단계 동굴처분시설의 총방사능량을 제한하였다. 설정된 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치와 ^{14}C 의 총방사능량이 적용된 방사능량에 대해 운영 중 및 폐쇄 후 시나리오의 평가결과가 모두 성능목표치를 만족함을 확인하여, 도출된 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치가 1단계 동굴처분시설의 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치로 사용할 수 있음을 확인하였다. 처분 안전성 증진을 위해 방사성폐기물 발생기관의 데이터를 추가 확보하며, ^{14}C 의 누적방사능량을 관리해 나갈 계획이다.

중심단어: 방사능량, 처분시설, 중저준위 방사성폐기물, 처분농도제한치, Safety Case 구축

1. 서론

2014년 12월 사용 승인된 경주 중저준위 방사성폐기물 동굴처분시설은 중저준위 방사성폐기물의 처분을 위해 운영 중이다. 그러나 2014년 9월 제정된 원자력안전위원회 고시 [1]에 의해 분류된 중준위 방사성폐기물은 동굴처분시설의 사용승인시 허가대상에 포함되지 않아 중준위 방사성폐기물은 처분할 수 없다.

원자력안전위원회 고시[1]는 IAEA에서 제시한 신분류기준[2]에 따라 중저준위 방사성폐기물을 중준위, 저준위, 극저준위 방사성폐기물로 세분화하였다. 그리고 동굴처분시설에 중준위, 저준위, 극저준위 방사성폐기물이 모두 처분 가능하도록 하며, 농도측면에서는 기존 인수기준상 중저준위 방사성폐기물의 처분제한 농도값을 저준위 방사성폐기물 농도상한값으로 변경하였다. 이것은 처분시설의 특성과 방사성폐기물 분류에 따라 처분시설을 체계적으로 개발하기 위함이다.

본 논문에서는 원자력안전위원회 고시[1]와 중저준위 방폐물관리 시행계획[3]에 따른 안전한 처분시설 개발을 위하여 기존 IAEA[4] 방법론 외에 신규 방법론에 따라 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치에 대하여 고찰하고자 한다.

IAEA[4]에서 제시한 접근법과는 달리 1단계 동굴처분

시설의 핵종별 방사능량 산출 시 적용된 데이터를 기반으로 중준위 방사성폐기물의 처분농도제한치를 설정하였다. 다양한 종류의 방사성폐기물의 표면선량, 무게, 부피, 척도인자 등을 고려하였으며 이러한 가용데이터를 통해 핵종별 방사능량을 산출하였다. 산출된 방사능량에 대하여 시나리오별 안전성평가결과가 성능목표치를 초과할 경우, 주요 핵종을 확인하고 이에 대한 결과를 분석하여 중준위 방사성폐기물의 처분농도제한치를 설정하였다.

도출된 결과에 대하여 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치의 1단계 동굴처분시설 적용여부에 대하여 분석하였다.

2. 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치 설정을 위한 평가시나리오

1단계 동굴처분시설 안전성분석 보고서[5]에 사용된 시나리오 및 입력자료를 동일하게 사용하였다.

1단계 동굴처분시설 안전성분석보고서[5]에서 고려된 운영 중 시나리오 중 모든 폐기물을 고려하여 평가하는 저장시설 화재 사고시나리오와 지진 사고시나리오를 선별하였다. 폐쇄 후 안전성평가에서는 IAEA 처분농도제한치 설정 방법론[4]을 참고하여 인간침입 시나리오를 고려하였다.

인간침입 시추시나리오는 시추 후 거주시나리오보다 피폭선량 결과가 낮으므로 배제하고 인간침입 시추 후 거주시나리오와 인간침입 우물이용시나리오를 폐쇄 후 안전성평가 시나리오로 선별하였다.

2.1 운영 중 저장시설 화재 사고시나리오

처분시설 운영 중 외부 충격 등 잠재위험원에 의해 인수저장건물에 보관된 가연성 물질의 인화로 인해 방사성폐기물 포장물로 화재가 발생되어 방사성핵종이 공기중으로 누출되는 사고이다. 이로 인해 흡입에 의한 내부피폭, 방사능운에 의한 외부 피폭이 발생되며 성능 목표치는 5 mSv 이다. 사고 시 인수저장건물 최대저장용량의 1%가 손상되며, 핵종별 누출율은 재고량의 0.1%, 선원항의 방사능량은 사고로 손상된 포장물 방사능량의 5배로 가정하였다[5]. 사고지점과 제한구역경계 사이의 거리 및 최대 대기확산인자(X/Q)는 각각 110 m, $1.05 \times 10^{-2} \text{ sec} \cdot \text{m}^3$ 을 적용하였다[5].

2.2 운영 중 지진 사고시나리오

처분시설에 방사성폐기물이 모두 적치 되었을 때 지진이 발생하여 방사성폐기물이 누출되는 사고이다. 이로 인해 흡입에 의한 내부피폭과 방사능운에 의한 외부 피폭이 발생되며 성능 목표치는 5 mSv이다. 지진으로 인해 사일로, 인수저장건물 및 방사성폐기물건물의 최대 저장용량의 각각 1%, 10%, 10%가 손상되며, 핵종별 누출율은 재고량의 0.1%, 기체상 핵종인 ^3H 과 ^{14}C 의 선원항의 방사능량은 사고로 손상된 포장물 방사능량의 5배로 가정하였다[5]. 사고지점과 제한구역경계 사이의 거리 및 최대 대기확산인자(X/Q)는 각각 110 m, $1.05 \times 10^{-2} \text{ sec} \cdot \text{m}^3$ 을 적용하였다[5].

2.3 폐쇄 후 인간침입 시추 후 거주시나리오

폐쇄 후 관리기간 종료 후 처분시설의 존재를 인지하지 못한 인간이 처분시설을 관통하는 시추 작업을 하며 이로 인해 오염된 토양에서 거주시 피폭영향을 평가하였다. 인간침입 후 시추 작업 및 거주로 인해 발생하는 피폭 경로는 오염된 토양에 의한 외부피폭, 부유물질 흡입과 음식물 섭취에 의한 내부피폭을 고려하였다[5].

2.4 폐쇄 후 인간침입 우물이용시나리오

폐쇄 후 관리기간 종료 후 처분부지 내 처분시설의 존재를 인지하지 못한 인간이 우물을 굴착하며 이를 음용수로 이용시 피폭영향을 평가한다. 우물의 위치는 사일로 주변 88개의 가상 관정 분석을 통해 연간 5만톤 양수 시 6개 사일로에서 유출되는 오염원의 입자가 가장 보수적으로 유입되는 사일로 포함구역 내에 존재한다고 가정하였다[5].

3. 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치 도출 최적화 방법론

1단계 동굴처분시설 방사능량 산출 시 방사성폐기물의 표면선량, 무게, 부피, 척도인자 등이 고려된다. 1단계 동굴 처분시설의 핵종별 방사능량 산출 시 적용된 데이터를 기반으로 중준위 방사성폐기물의 처분농도제한치를 설정하였다.

IAEA 방법론[4]은 입력자료와 모델로부터 시나리오의 성능목표치를 고려하여 허용가능한 방사능량 및 농도가 정해지고 방사성폐기물의 밀도와 처분시설의 부피를 이용하여 처분농도제한치가 도출된다. 본 논문의 최적화 방법론은 이와는 반대로 정치계획, 폐기물 종류, 폐기물의 표면선량, 무게, 부피, 척도인자등을 고려하여 방사능량을 도출하며, 이 값을 입력자료와 모델을 통하여 시나리오의 성능목표치 만족여부를 확인한다. 시나리오의 평가결과가 성능목표치를 불만족시 핵종별 처분농도와 총방사능량을 제한하여 모든 시나리오의 평가결과가 성능목표치를 만족시킬 수 있도록 한다. 모든 시나리오의 평가 결과가 성능목표치에 부합하도록 적용된 핵종별 처분농도 및 총방사능량을 각각 중준위 방사성폐기물의 처분농도제한치와 1단계 동굴처분시설의 총방사능량으로 설정한다.

본 논문에서는 원자력발전소 운영폐기물의 방사능량 산출시 선량대방사능 환산 프로그램인 ERIR [6]를 이용하였다. 단, 중수로 건조 폐수지의 경우 방사화학분석법으로 주요 핵종의 비방사능을 구한 후 전체 폐수지가 균질하다고 가정하여 방사능량을 예측하였다. 원자력발전소, 한국원자력연구원 폐기물, RI 폐기물의 방사능량 산출방법은 2단계 안전성분석 보고서기를 이용하였다. 방사능량 산출 시 사용된 방사성폐기물 현황은 발생자로부터 확보된 자료를 참조하였다[8-10].

4. 최적화 방법에 의한 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치 도출

4.1 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치 미설정

4.1.1 개요

중준위 방사성폐기물의 처분농도제한치 필요성 확인을 위해 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치를 설정하지 않고 핵종별 방사능량을 산출하였다. 산출된 방사능량을 반영하여 시나리오별 안전성평가결과가 성능목표치를 초과하는 핵종의 비방사능 데이터를 기반으로 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치를 설정하였다. 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치 설정 방법론은 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치를 설정하지 않은 방사능량을 이용하여 1단계 동굴처분시설의 운영 중 및 폐쇄 후 시나리오 평가를 수행한다. 시나리오별 평가 결과에 가장 큰 영향을 미치는 최대기여 핵종을 파악하여 시나리오 평가결과가 성능 목표치를 만족시킬 때까지 처분농도 및 총방사능량 제한을 실시한다. 이러한 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치 설정 방법론을 Fig. 1에 제시하였다. 단, 성능목표치를 초과하지 않으면 처분 안전성에는 문제가 없으나 안전여유도 확보를 위해 본 논문에서는 평가결과가 성능목표치의 95%이상인 경우 처분농도제한을 실시하였다.

중준위 방사성폐기물 처분농도제한치 설정 절차는 처분 대상 폐기물의 처분농도제한을 하지 않고 시나리오별 평가를 수행한다. 이후 시나리오별 평가 결과에 따라 처분농도제한을 실시하여 처분농도를 초과하는 폐기물은 고려하지 않으며 최적화 과정에 따라 처분농도제한을 추가적으로 실시한다. 이러한 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치 설정 절차를 Fig. 2에 제시하였다.

4.1.2 방사능량

원자력안전위원회 고시[1]에서 제시하는 저준위 방사성폐기물 처분농도제한치 이상인 방사성폐기물을 모두 중준위 방사성폐기물로 고려하여 방사능량을 평가하였다. 방사능량 평가 후 저준위 방사성폐기물 처분농도제한치 이상인 폐기물을 모두 중준위 방사성폐기물로 설정하여 처분할 경우 방사능량 결과를 Table 1에 제시하였다.

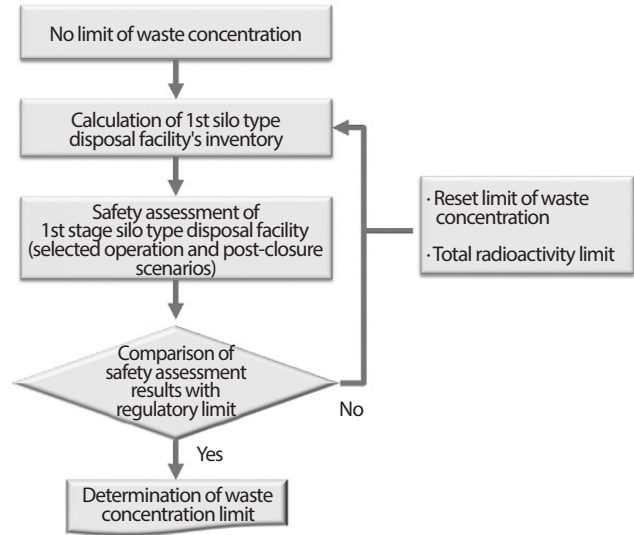


Fig. 1. Optimization methodology for deriving waste concentration limit.

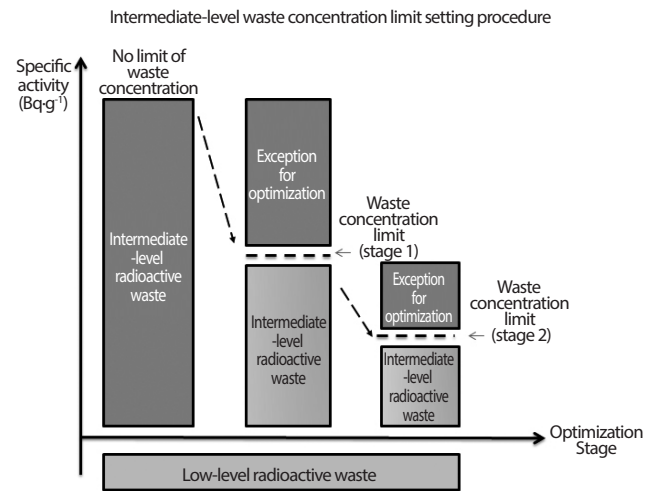


Fig. 2. Optimization procedure for deriving waste concentration limit.

4.1.3 안전성평가

중준위 방사성폐기물 처분농도제한치를 설정하지 않은 방사능량을 이용하여 1단계 동굴처분시설의 운영 중 및 폐쇄 후 시나리오에 대한 안전성평가 결과를 Table 2에 제시하였으며, 이때 평가대상 시나리오 모두 성능목표치를 만족하지 못하였다.

운영 중 안전성평가에서 저장시설 화재 사고시나리오 및 1단계 동굴처분시설 지진 사고시나리오에서 성능목표치를

Table 1. 1st stage silo type disposal facility's inventory (No limit of waste concentration)

(Unit : Bq)				
Nuclide	VLLW	LLW	ILW	Total
³ H	2.00×10 ¹¹	3.73×10 ¹⁴	7.16×10 ¹⁷	7.16×10 ¹⁷
¹⁴ C	7.67×10 ⁸	2.98×10 ¹³	7.91×10 ¹⁴	8.21×10 ¹⁴
⁵⁵ Fe	6.96×10 ¹⁰	4.00×10 ¹⁴	1.15×10 ¹⁶	1.19×10 ¹⁶
⁵⁸ Co	1.93×10 ¹⁰	2.25×10 ¹³	3.16×10 ¹⁵	3.18×10 ¹⁵
⁶⁰ Co	1.91×10 ¹⁰	6.91×10 ¹³	4.35×10 ¹⁵	4.42×10 ¹⁵
⁵⁹ Ni	1.28×10 ⁹	5.22×10 ¹²	8.13×10 ¹⁴	8.18×10 ¹⁴
⁶³ Ni	3.92×10 ¹⁰	2.05×10 ¹⁴	2.55×10 ¹⁶	2.57×10 ¹⁶
⁹⁰ Sr	2.74×10 ⁸	9.26×10 ¹⁰	4.66×10 ¹⁵	4.66×10 ¹⁵
⁹⁴ Nb	1.67×10 ⁷	1.31×10 ¹⁰	1.69×10 ¹²	1.7×10 ¹²
⁹⁹ Tc	2.84×10 ⁸	2.23×10 ¹¹	4.80×10 ¹⁴	4.80×10 ¹⁴
¹²⁹ I	3.11×10 ⁵	7.43×10 ⁷	4.35×10 ⁹	4.42×10 ⁹
¹³⁷ Cs	8.96×10 ⁸	1.72×10 ¹²	6.13×10 ¹⁴	6.15×10 ¹⁴
¹⁴⁴ Ce	3.92×10 ⁷	2.52×10 ¹⁰	1.31×10 ¹²	1.33×10 ¹²
Gross alpha	1.54×10 ⁹	2.63×10 ¹¹	1.73×10 ¹²	1.99×10 ¹²
Total	3.54×10 ¹¹	1.11×10 ¹⁵	7.67×10 ¹⁷	7.69×10 ¹⁷

Table 2. Scenarios and safety assessment results of 1st silo type disposal facility (No limit of waste concentration)

Scenarios	Safety assessment results		Regulatory limit satisfaction (regulatory limit)/ Maximum contribution nuclides
Fire accident scenario at storage facility (in operational period)	13.8 mSv		Dissatisfaction (5 mSv) ⁹⁰ Sr, Gross alpha, ³ H
Earthquake accident scenario at 1st silo type disposal facility (in operational period)	26.7 mSv		Dissatisfaction (5 mSv) ³ H
Post-drilling scenario	Silo 1	12.33	Dissatisfaction (1 mSv·yr ⁻¹) ⁹⁰ Sr, ⁹⁹ Tc
	Silo 2	12.56	
	Silo 3	13.15	
	Silo 4	12.59	
	Silo 5	12.67	
	Silo 6	0.28	
Well scenario	7.4 mSv·yr ⁻¹		Dissatisfaction (1 mSv·yr ⁻¹) ³ H, ¹⁴ C, ⁹⁹ Tc

Table 3. Contribution of radioactivity in intermediate-level waste according to nuclide and type of waste package (No limit of waste concentration)

Nuclides	Type of waste package	Contribution of radioactivity (%)	Number of packages (200 L)	Range of specific activity (Bq·g ⁻¹)
³ H*	Concrete lining spent filter of heavy water reactor (200 L)	99.46*	450	1.5×10 ⁶ ~5.16×10 ¹¹
	Dry spent resin of heavy water reactor	33.18	4,286	3.85×10 ⁵
¹⁴ C	Concrete lining spent filter of KAERI*	19.23	2,093	2.27×10 ⁵ ~1.33×10 ⁸
	HIC-PE* spent resin	12.59	3,975	2.39×10 ⁵ ~4.55×10 ⁶
⁹⁰ Sr	Concrete lining spent filter of heavy water reactor (200 L)	99.82	450	7.41×10 ⁴ ~6.4×10 ⁹
⁹⁹ Tc	Concrete lining spent filter of heavy water reactor (200 L)	98.31	450	1.26×10 ³ ~4.45×10 ⁸
	Dry active waste of KNF* (200 L)	38.30	1,096	3.74×10 ³ ~3.42×10 ⁴
	Shielding dry active waste (200 L)	14.10	768	3.78×10 ³ ~2.98×10 ⁵

* Radioactivity of ³H within 450 number of waste packages that are classified as concrete lining spent filter of heavy water is considered to 99.46% of total activity of ³H.

* KAERI : Korea Atomic Energy Research Institute.

* HIC-PE : High Integrity Container – Polyethylene.

* KNF : Korea Electric Power Corporation Nuclear Fuel Company.

Table 4. Waste concentration limit of the 1st silo type disposal facility (Waste concentration limit (stage 1))

Nuclides	Half-life (yr)	Waste concentration limit by NSSC notice [1] (A) (Bq·g ⁻¹)	Waste concentration limit of the 1st silo type disposal facility (Stage 1) (Bq·g ⁻¹)	Ratio (Stage 1)/(A)
³ H	1.23×10 ¹	1.11×10 ⁶	3.53×10 ¹⁰	3.18×10 ⁴
¹⁴ C	5.73×10 ³	2.22×10 ⁵	1.53×10 ⁶	6.89×10 ⁰
⁶⁰ Co	5.27×10 ⁰	3.70×10 ⁷	-	-
⁵⁹ Ni	7.60×10 ⁴	7.40×10 ⁴	-	-
⁶³ Ni	1.00×10 ⁴	1.11×10 ⁷	-	-
⁹⁰ Sr	2.89×10 ¹	7.40×10 ⁴	3.87×10 ⁸	5.23×10 ³
⁹⁴ Nb	2.31×10 ⁴	1.11×10 ²	-	-
⁹⁹ Tc	2.11×10 ⁵	1.11×10 ³	2.65×10 ⁷	2.39×10 ⁴
¹²⁹ I	1.57×10 ⁷	3.70×10 ¹	-	-
¹³⁷ Cs	3.00×10 ¹	1.11×10 ⁶	-	-
Gross alpha	2.41×10 ⁴	3.70×10 ³	7.46×10 ³	2.02×10 ⁰

Table 5. Radionuclide inventory for the 1st silo type disposal facility (Waste concentration limit (stage 1))

(Unit : Bq)				
Nuclides	VLLW	LLW	ILW	Total
³ H	2.00×10 ¹¹	3.73×10 ¹⁴	5.65×10 ¹⁶	5.69×10 ¹⁶
¹⁴ C	7.67×10 ⁸	2.98×10 ¹³	5.43×10 ¹⁴	5.73×10 ¹⁴
⁵⁵ Fe	6.96×10 ¹⁰	4.00×10 ¹⁴	5.93×10 ¹⁵	6.33×10 ¹⁵
⁵⁸ Co	1.93×10 ¹⁰	2.25×10 ¹³	3.05×10 ¹⁵	3.07×10 ¹⁵
⁶⁰ Co	1.91×10 ¹⁰	6.91×10 ¹³	3.64×10 ¹⁵	3.71×10 ¹⁵
⁵⁹ Ni	1.28×10 ⁹	5.22×10 ¹²	2.37×10 ¹⁴	2.42×10 ¹⁴
⁶³ Ni	3.92×10 ¹⁰	2.05×10 ¹⁴	2.42×10 ¹⁶	2.44×10 ¹⁶
⁹⁰ Sr	2.74×10 ⁸	9.26×10 ¹⁰	2.30×10 ¹⁴	2.30×10 ¹⁴
⁹⁴ Nb	1.67×10 ⁷	1.31×10 ¹⁰	1.36×10 ¹²	1.38×10 ¹²
⁹⁹ Tc	2.84×10 ⁸	2.23×10 ¹¹	5.80×10 ¹³	5.83×10 ¹³
¹²⁹ I	3.11×10 ⁵	7.43×10 ⁷	2.00×10 ⁹	2.08×10 ⁹
¹³⁷ Cs	8.96×10 ⁸	1.72×10 ¹²	4.73×10 ¹⁴	4.75×10 ¹⁴
¹⁴⁴ Ce	3.92×10 ⁷	2.52×10 ¹⁰	1.24×10 ¹²	1.26×10 ¹²
Gross alpha	1.54×10 ⁹	2.63×10 ¹¹	1.34×10 ¹²	1.60×10 ¹²
Total	3.54×10 ¹¹	1.11×10 ¹⁵	9.49×10 ¹⁶	9.60×10 ¹⁶

만족하지 못하였으며, 최대기여핵종은 ³H, 전알파, ⁹⁰Sr로 예측되었다.

폐쇄 후 안전성평가 결과에서는 시추 후 거주시나리오 및 우물이용시나리오에서 성능목표치를 만족하지 못하였으며 ³H, ¹⁴C, ⁹⁰Sr, ⁹⁹Tc가 최대기여핵종으로 평가되었다.

따라서 Table 2에 제시한 최대기여핵종에 대하여 1단계 동굴처분시설 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치를 설정하여 핵종별 방사능량을 산출하였다. 이에 대한 안전성평가 수행 결과가 성능목표치를 만족할 때까지 핵종별 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치를 설정하였다.

4.2 1차 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치 설정

4.2.1 개요

중준위 방사성폐기물 처분농도제한치를 미설정된 상태에서 1단계 동굴처분시설 운영 중 및 폐쇄 후 안전성평가

결과, Table 2에서 언급된 ³H, ¹⁴C, 전알파, ⁹⁰Sr, ⁹⁹Tc 핵종으로 인해 시나리오별 성능목표치를 초과함을 확인하였다. 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치를 설정하기 위해 주요 핵종별 방사능량 비중이 큰 폐기물을 선별하고 방사능량 기여도 및 비방사능 분포를 분석하였으며 그 결과를 Table 3에 제시하였다.

³H의 경우 방사능량 산출 기여도가 가장 큰 폐기물은 중수로 콘크리트라이닝 폐필터(200 L)이며, 저준위 방사성폐기물 처분농도제한치(1.11×10⁶ Bq·g⁻¹)를 초과하는 방사성폐기물의 비방사능은 1.5×10⁶~5.16×10¹¹ Bq·g⁻¹로 분석되었으며 평균값은 3.53×10¹⁰ Bq·g⁻¹이다.

¹⁴C의 경우 방사능량 기여도가 가장 큰 폐기물종류는 중수로 건조 폐수지(200 L)이나 방사화학분석데이터로 비방사능 분포 대신 단일 값이 존재한다. 한국원자력연구원(KAERI)의 콘크리트라이닝의 폐필터는 저준위 방사성폐기물 처분농도제한치(2.22×10⁵ Bq·g⁻¹)를 초과하는 비방사능이

Table 6. Scenarios and safety assessment results of 1st silo type disposal (Waste concentration limit (stage 1))

Scenarios	Safety assessment results	Regulatory limit satisfaction (regulatory limit)/ Maximum contribution nuclides
Fire accident scenario at storage facility	4.29 mSv	Satisfaction (5 mSv)
Earthquake accident scenario at 1st silo type disposal facility	2.53 mSv	Satisfaction (5 mSv)
Post-drilling scenario	Silo 1	mSv·yr ⁻¹ Satisfaction (1 mSv·yr ⁻¹) ⁹⁰ Sr, ⁹⁹ Tc
	Silo 2	
	Silo 3	
	Silo 4	
	Silo 5	
	Silo 6	
Well scenario	2.67 mSv·yr ⁻¹	Dissatisfaction (1 mSv·yr ⁻¹)/ ¹⁴ C

Table 7. Contribution of radioactivity in intermediate-level waste according to nuclide and type of waste package (Waste concentration limit (stage 1))

Nuclide	Type of waste package	Contribution of radioactivity (%)	Number of packages	Range of specific activity (Bq·g ⁻¹)
¹⁴ C	Dry spent resin of heavy water reactor	47.49	4,286	3.85×10 ⁵
	NPP decommissioning radioactive waste	12.42	2,093	3.26×10 ⁵
	Concrete lining spent filter of KAERI	7.43	3,975	2.27×10 ⁵ ~1.53×10 ⁶
⁹⁰ Sr	Concrete lining spent filter of heavy water reactor (200 L)	84.59	450	8.3×10 ⁴ ~1.31×10 ⁸
⁹⁹ Tc	Concrete lining spent filter of heavy water reactor (200 L)	65.73	450	1.26×10 ³ ~2.33×10 ⁷

2.27×10⁵~1.33×10⁸ Bq·g⁻¹로 분석되었으며, 평균값은 2.26×10⁶ Bq·g⁻¹이다. 폴리에틸렌 고건전성용기(HIC-PE : High Integrity Container - Polyethylene) 폐수지의 저준위 방사성폐기물 처분농도제한치를 초과하는 비방사능은 2.39×10⁵~4.55×10⁶ Bq·g⁻¹로 분석되었으며 평균값은 1.53×10⁶ Bq·g⁻¹이다.

⁹⁰Sr의 경우 방사능량 기여도가 가장 큰 폐기물종류는 중수로 콘크리트라이닝 폐필터(200 L)로 확인되었다. 저준위 방사성폐기물 처분농도제한치(7.4×10⁴ Bq·g⁻¹)를 초과하는 비방사능 분포는 7.41×10⁴~6.4×10⁹ Bq·g⁻¹로

분석되었으며 평균값은 3.87×10⁸ Bq·g⁻¹이다.

⁹⁹Tc의 경우 방사능량 기여도가 큰 폐기물종류는 중수로 콘크리트라이닝 폐필터(200 L)로 확인되었다. 저준위 방사성폐기물 처분농도제한치(1.11×10³ Bq·g⁻¹)를 초과하는 비방사능 분포는 1.26×10³~4.45×10⁸ Bq·g⁻¹로 분석되었으며 평균값은 2.65×10⁷ Bq·g⁻¹이다.

전알과의 경우 방사능량 기여도는 한전원자력연료(주) (KNF) 잡고체가 가장 큰 것으로 확인되었다. 저준위 방사성폐기물 처분농도제한치(3.7×10³ Bq·g⁻¹)를 초과하는 비방사능은 3.74×10³~3.42×10⁴ Bq·g⁻¹로

Table 8. Waste concentration limit of the 1st silo type disposal facility (Waste concentration limit (stage 2))

Nuclides	Half-life (yr)	Waste concentration limit by NSSC notice [1] (A) (Bq·g ⁻¹)	Waste concentration limit of the 1st silo type disposal facility (Bq·g ⁻¹)		Ratio (Stage 2)/(A)
			(Stage 1)	(Stage 2)	
³ H	1.23×10 ¹	1.11×10 ⁶		3.53×10 ¹⁰	3.18×10 ⁴
¹⁴ C	5.73×10 ³	2.22×10 ⁵	1.53×10 ⁶	3.26×10 ⁵	1.47×10 ⁰
⁶⁰ Co	5.27×10 ⁰	3.70×10 ⁷		-	-
⁵⁹ Ni	7.60×10 ⁴	7.40×10 ⁴		-	-
⁶³ Ni	1.00×10 ⁴	1.11×10 ⁷		-	-
⁹⁰ Sr	2.89×10 ¹	7.40×10 ⁴	3.87×10 ⁸	2.36×10 ⁷	3.19×10 ²
⁹⁴ Nb	2.31×10 ⁴	1.11×10 ²		-	-
⁹⁹ Tc	2.11×10 ⁵	1.11×10 ³	2.65×10 ⁷	3.07×10 ⁶	2.77×10 ³
¹²⁹ I	1.57×10 ⁷	3.70×10 ¹		-	-
¹³⁷ Cs	3.00×10 ¹	1.11×10 ⁶		-	-
Gross alpha	2.41×10 ⁴	3.70×10 ³		7.46×10 ³	2.02×10 ⁰

분석되었으며 평균값은 7.46×10³ Bq·g⁻¹이다. 차폐 잡고체는 3.78×10³~2.98×10⁵ Bq·g⁻¹으로 분석되었으며 평균값은 1.61×10⁴ Bq·g⁻¹이다.

따라서 각 핵종별 대상폐기물의 저준위 방사성폐기물 처분농도제한치를 초과하는 비방사능 분포의 평균값을 1단계 동굴처분시설 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치(1차)로 설정하고 Table 4에 제시하였다.

4.2.2 방사능량

중준위 방사성폐기물 중 1단계 동굴처분시설 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치(1차)를 초과하는 방사성폐기물 포장물을 처분대상에서 제외하여 방사능량을 평가하고 Table 5에 제시하였다.

4.2.3 안전성평가

중준위 방사성폐기물 처분농도제한치(1차)를 적용하여 도출된 핵종별 방사능량을 반영하여 안전성평가를 수행하고 그 결과를 Table 6에 제시하였다.

운영 중 저장시설 화재 사고시나리오와 운영 중 1단계 동굴처분시설 지진 사고시나리오 및 인간침입 시추 후

거주시나리오는 성능목표치를 만족하였으나, 우물이용시나리오는 성능목표치를 불만족하였다. 단, 인간침입 시추 후 거주시나리오의 사일로 4와 사일로 5의 개인피폭선량이 각각 0.99 mSv·yr⁻¹ 및 0.95 mSv·yr⁻¹로 성능목표치의 95% 이상에 해당되어, 추가적인 처분농도제한이 필요하였다.

4.3 2차 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치 설정

4.3.1 개요

중준위 방사성폐기물 처분농도제한치(1차)를 반영한 방사능량에서도 일부 평가시나리오의 안전성평가결과가 성능목표치를 초과하거나 성능목표치에 근접하게 평가되었다. 따라서 핵종별 방사능량 비중이 큰 방사성폐기물 종류를 재확인하고 대상폐기물의 비방사능을 분석하였으며 그 결과를 Table 7에 제시하였다.

Table 7에서 ¹⁴C의 방사능량 기여도가 큰 방사성폐기물은 중수로 건조 폐수지가 47.49%로 가장 많으며, 그 다음으로는 해체폐기물, KAERI 폐기물이 각각 12.42%, 7.43%이다. 해체 폐기물은 시멘트고화 폐수지로 가정되어 있으며 저준위 방사성폐기물 처분농도제한치(2.22×10⁵ Bq·g⁻¹)를

Table 9. Radionuclide inventory for the 1st silo type disposal facility (Waste concentration limit (stage 2))

Nuclides	(Unit : Bq)			
	VLLW	LLW	ILW	Total
³ H	2.00×10 ¹¹	3.73×10 ¹⁴	1.08×10 ¹⁶	1.12×10 ¹⁶
¹⁴ C	7.67×10 ⁸	2.98×10 ¹³	4.17×10 ¹⁴	4.47×10 ¹⁴
⁵⁵ Fe	6.96×10 ¹⁰	4.00×10 ¹⁴	4.68×10 ¹⁵	5.08×10 ¹⁵
⁵⁸ Co	1.93×10 ¹⁰	2.25×10 ¹³	3.01×10 ¹⁵	3.04×10 ¹⁵
⁶⁰ Co	1.91×10 ¹⁰	6.91×10 ¹³	3.47×10 ¹⁵	3.54×10 ¹⁵
⁵⁹ Ni	1.28×10 ⁹	5.22×10 ¹²	1.91×10 ¹⁴	1.96×10 ¹⁴
⁶³ Ni	3.92×10 ¹⁰	2.05×10 ¹⁴	2.39×10 ¹⁶	2.41×10 ¹⁶
⁹⁰ Sr	2.74×10 ⁸	9.26×10 ¹⁰	2.96×10 ¹³	2.97×10 ¹³
⁹⁴ Nb	1.67×10 ⁷	1.31×10 ¹⁰	1.29×10 ¹²	1.30×10 ¹²
⁹⁹ Tc	2.84×10 ⁸	2.23×10 ¹¹	1.56×10 ¹³	1.58×10 ¹³
¹²⁹ I	3.11×10 ⁵	7.43×10 ⁷	1.59×10 ⁹	1.66×10 ⁹
¹³⁷ Cs	8.96×10 ⁸	1.72×10 ¹²	4.40×10 ¹⁴	4.42×10 ¹⁴
¹⁴⁴ Ce	3.92×10 ⁷	2.52×10 ¹⁰	9.10×10 ¹¹	9.36×10 ¹¹
Gross alpha	1.54×10 ⁹	2.63×10 ¹¹	1.27×10 ¹²	1.54×10 ¹²
Total	3.54×10 ¹¹	1.11×10 ¹⁵	4.70×10 ¹⁶	4.81×10 ¹⁶

초과하는 비방사능은 3.26×10⁵ Bq·g⁻¹ 단일 값이 존재한다.

⁹⁰Sr의 경우 방사능량 기여도가 큰 방사성폐기물은 중수로 콘크리트라이닝 폐필터(200 L)이며, 저준위 방사성폐기물 처분농도제한치(7.4×10⁴ Bq·g⁻¹)를 초과하는 비방사능 분포는 8.3×10⁴~1.31×10⁸ Bq·g⁻¹로 분석되었으며 평균값은 2.36×10⁷ Bq·g⁻¹이다.

⁹⁹Tc의 경우 방사능량 기여도가 가장 큰 방사성폐기물은 중수로 콘크리트라이닝 폐필터 (200 L)이며, 저준위 방사성폐기물 처분농도제한치(1.11×10³ Bq·g⁻¹)를 초과하는 비방사능 분포는 1.26×10³~2.33×10⁷ Bq·g⁻¹로 분석되었으며 평균값은 3.07×10⁶ Bq·g⁻¹이다.

따라서 각 핵종별 처분대상 폐기물의 저준위 방사성폐기물 처분농도제한치를 초과하는 비방사능의 평균값을

Table 8과 같이 1단계 동굴처분시설 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치(2차)로 설정하였다.

단, 불만족된 시나리오인 우물이용시나리오의 평가결과는 2.67 mSv로 성능목표치의 2배가 넘으며 최대 기여 핵종은 ¹⁴C이다. Table 7에서 전체 ¹⁴C 방사능량 중 중수로 건조 폐수지의 방사능량 기여도는 47.49%로 분석되었다. 중수로 건조 폐수지의 비방사능 평균을 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치로 설정하는 것으로 성능목표치를 만족할 수 없으며 중수로 건조 폐수지는 향후 처리 방법을 통한 방사능량 저감이 필요한 것으로 판단된다. 본 논문에서는 중수로 건조 폐수지의 비방사능 평균 값보다 더 낮은 해체폐기물의 비방사능 값을 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치 값으로 적용하였다.

Table 10. Scenarios and safety assessment results of 1st silo type disposal (Waste concentration limit (stage 2))

Scenarios	Safety assessment results	Regulatory limit satisfaction (regulatory limit)/ Maximum contribution nuclides	
Post-drilling scenario	Silo 1	0.20 mSv·yr ⁻¹	
	Silo 2	0.26 mSv·yr ⁻¹	
	Silo 3	0.24 mSv·yr ⁻¹	Satisfaction (1 mSv·yr ⁻¹)
	Silo 4	0.34 mSv·yr ⁻¹	
	Silo 5	0.29 mSv·yr ⁻¹	
	Silo 6	0.28 mSv·yr ⁻¹	
Well scenario	1.21 mSv·yr ⁻¹	Dissatisfaction (1 mSv·yr ⁻¹)/ ¹⁴ C	

Table 11. Contribution of C-14 radioactivity by intermediate-level radioactive waste (Waste concentration limit (stage 2))

Rank	Type of waste	Package	Radioactivity (Bq) (A)	Total radioactivity of ¹⁴ C*(Bq) (B)	Percentage (%) (A)/(B)
1	Dried spent resin	Heavy water reactor	2.31×10 ¹⁴	4.47×10 ¹⁴	51.45
2	NPP decommissioning radioactive waste (Cementation spent resin)		7.12×10 ¹³		15.90
3	Spent resin	HIC-PE	2.27×10 ¹³		5.06
4	Spent resin	C2	2.23×10 ¹³		4.97
5	Spent filter	C4	2.2×10 ¹³		4.91
6	KAERI-spent filter	Concrete lining	1.43×10 ¹³		3.20
7	Spent resin	C1	1.08×10 ¹³		2.41
8	Concentrated liquid waste	Cementation	7.85×10 ¹²		1.75
9	Spent filter	Concrete lining	4.78×10 ¹²		1.07
10	Spent resin	Cementation	1.74×10 ¹²		0.39

* Total radioactivity of ¹⁴C is the sum of very low level, low level and intermediate-level waste's ¹⁴C radioactivity.

Table 12. Scenario and safety assessment result of 1st silo type disposal (Waste concentration limit (stage 2) and radioactivity limitation)

Scenario	Safety assessment result	Regulatory limit satisfaction (regulatory limit)
Well scenario	0.93 mSv·yr ⁻¹	Satisfaction (1 mSv·yr ⁻¹)

Table 13. Waste concentration limit and inventory of the 1st silo type disposal facility

Nuclides	Half-life (yr)	Waste concentration limit by NSSC notice [1] (Bq·g ⁻¹)	1st silo type disposal facility's waste concentration limit (Bq·g ⁻¹)	1st silo type disposal facility's inventory (Bq)
³ H	1.23×10 ¹	1.11×10 ⁶	3.53×10 ¹⁰	1.12×10 ¹⁶
¹⁴ C	5.73×10 ³	2.22×10 ⁵	3.26×10 ⁵	3.04×10 ¹⁴
⁵⁵ Fe	2.7×10 ⁰	-	-	5.08×10 ¹⁵
⁵⁸ Co	1.94×10 ⁻¹	-	-	3.04×10 ¹⁵
⁶⁰ Co	5.27×10 ⁰	3.70×10 ⁷	-	3.54×10 ¹⁵
⁵⁹ Ni	7.60×10 ⁴	7.40×10 ⁴	-	1.96×10 ¹⁴
⁶³ Ni	1.00×10 ⁴	1.11×10 ⁷	-	2.41×10 ¹⁶
⁹⁰ Sr	2.89×10 ¹	7.40×10 ⁴	2.36×10 ⁷	2.97×10 ¹³
⁹⁴ Nb	2.31×10 ⁴	1.11×10 ²	-	1.30×10 ¹²
⁹⁹ Tc	2.11×10 ⁵	1.11×10 ³	3.07×10 ⁶	1.58×10 ¹³
¹²⁹ I	1.57×10 ⁷	3.70×10 ¹	-	1.66×10 ⁹
¹³⁷ Cs	3.00×10 ¹	1.11×10 ⁶	-	4.42×10 ¹⁴
¹⁴⁴ Ce	7.81×10 ⁻¹	-	-	9.36×10 ¹¹
Gross alpha	2.41×10 ⁴	3.70×10 ³	7.46×10 ³	1.54×10 ¹²
Total	-	-	-	4.80×10 ¹⁶

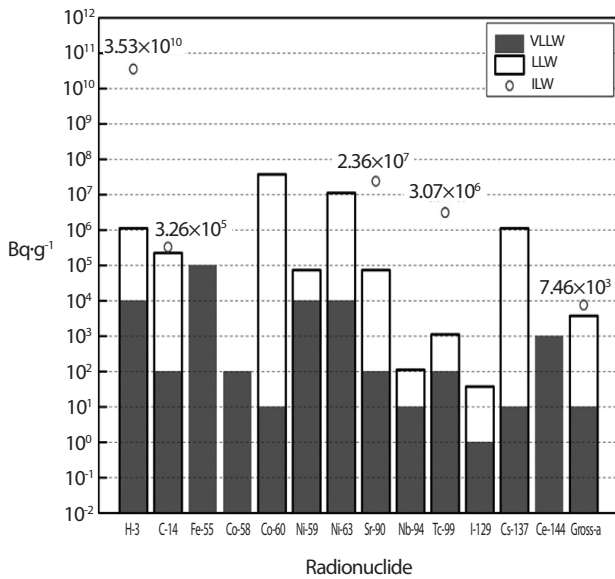


Fig. 3. 1st stage silo type disposal facility's waste concentration limit by radioactive waste level.

4.3.2 방사능량

중준위 방사성폐기물 중 1단계 동굴처분시설 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치(2차)를 초과하는 방사성폐기물은 제외하여 평가한 방사능량을 Table 9에 제시하였다.

4.3.3 안전성평가

Table 9의 방사능량을 반영하여 안전성평가를 수행한 결과를 Table 10에 제시하였다. 폐쇄 후 인간침입 시추 후 거주 시나리오는 성능목표치를 만족하였으나, 인간침입 우물이용 시나리오는 성능목표치를 불만족하였다.

우물이용시나리오는 ¹⁴C에 의해 성능목표치를 초과하였으며 ¹⁴C의 최대 피폭선량기여도는 전체피폭선량 중 96.2%이다. ¹⁴C의 경우 해체폐기물 처분을 위한 최소한의 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치를 적용하였음에도 불구하고 성능목표치를 초과하였으므로 ¹⁴C의 추가적인 방사능량을 제한할 필요가 있다.

Table 14. Safety assessment result of 1st silo type disposal facility (final)

	Scenarios	Evaluation results	Regulatory limit satisfaction (regulatory limit)
Operational	Transportation vehicle fire accident scenario	2.30×10^0 mSv	Satisfaction (5 mSv)
	Fire accident scenario at storage facility	4.09×10^0 mSv	
	Fall accident scenario at storage facility	3.10×10^{-2} mSv	
	Earthquake accident scenario at storage facility	5.26×10^{-1} mSv	
	Earthquake accident scenario at 1st silo type disposal facility	2.60×10^{-2} mSv	
	Fall accident scenario at 1st silo type disposal facility	3.10×10^{-2} mSv	
	Earthquake accident scenario at 1st silo type disposal facility	7.51×10^{-1} mSv	
	Liquid radioactive waste leakage accident scenario	2.04×10^{-2} mSv	
Post-closure	Normal ground water flow scenario	3.34×10^{-3} mSv·yr ⁻¹	Satisfaction (0.1 mSv·yr ⁻¹)
	Normal gas release scenario	7.12×10^{-4} mSv·yr ⁻¹	
	Alternative scenario	9.89×10^{-8} yr ⁻¹	Satisfaction (1×10 ⁻⁶ yr ⁻¹)
	Drilling scenario	2.27×10^{-4} mSv·yr ⁻¹	Satisfaction (1 mSv·yr ⁻¹)
	Post-drilling scenario	3.33×10^{-1} mSv·yr ⁻¹	
	Well scenario	9.37×10^{-1} mSv·yr ⁻¹	

4.3.4 ¹⁴C에 대한 총방사능량 제한

¹⁴C의 중준위 방사성폐기물 포장물의 방사능량 산출 기여도 분석 결과를 Table 11에 제시하였다. 중수로 건조 폐수지, 해체폐기물(시멘트고화 폐수지), 폴리에틸렌 고건전성용기(HIC-PE: High Integrity Container - Polyethylene) 폐수지등 상위 10개 방사성폐기물이 ¹⁴C 총방사능량의 91.11%를 차지하고 있다.

우물이용시나리오 평가결과 값의 최적화를 위해 Table 9의 ¹⁴C을 제외한 다른 핵종들의 방사능량 및 입력자료를 이용하여 우물이용시나리오를 평가하였다. ¹⁴C의 초기 방사능량 입력값은 0 Bq이며 이후 ¹⁴C의 방사능량을 증가시키면서 우물이용시나리오 평가결과 값이 성능목표치를 초과하지 않음을 확인하였다. 중준위 폐기물 수용성 및 안전여유도를

고려하여 최종적으로 우물이용시나리오의 성능목표치를 만족시키는 ¹⁴C의 방사능량을 3.04×10^{14} Bq으로 설정하였다. 새롭게 설정된 ¹⁴C의 방사능량을 적용하여 우물이용시나리오 평가결과를 Table 12에 제시하였으며 성능목표치를 만족하였다.

4.3.5 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치와 총방사능량(안)

다양한 종류의 중저준위 방사성폐기물을 효율적으로 처분하기 위해서는 1단계 동굴처분시설의 처분농도제한치와 총방사능량 제한을 통해 관리해야 한다. Table 8에서 설정된 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치(2차)가 최종적인 1단계 처분시설 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치이며,

총방사능량은 이를 통해 도출된 방사능량에 해당한다. 단, ^{14}C 의 경우 총방사능량은 우물이용시나리오를 통해 설정된 3.04×10^{14} Bq을 최대 방사능량으로 설정하였다.

최종적으로 도출된 1단계 동굴처분시설의 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치와 총방사능량(안)을 Table 13에 제시하였다.

1단계 동굴처분시설의 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치와 고시상의 저준위, 극저준위 방사성폐기물 처분농도제한치를 Fig. 3에 제시하였다.

Fig. 3을 보면 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치가 저준위 방사성폐기물 처분농도제한치보다 모두 값이 높은 것을 알 수 있다. Table 13의 1단계 동굴처분시설 핵종별 방사능량을 반영하여 운영 중 및 폐쇄 후 안전성평가를 수행한 결과 모두 성능 목표치를 만족하였으며 그 결과를 Table 14에 요약하였다. Table 14의 Alternative scenario는 비정상시나리오로서 지진(자연적 요인) 및 시공불량(인위적 요인)이 처분시설의 안전성에 미치는 영향을 평가하는 시나리오이다. 비정상시나리오(Alternative scenario) 평가결과는 피폭선량 값에 선량-위험도 환산인자와 지진 및 시공 발생확률을 적용하여 연간위험도(yr^{-1})로 산출된다.

5. 결론 및 향후계획

5.1 결론

2014년 12월 사용 승인된 경주 중저준위 방사성폐기물 동굴처분시설은 중저준위 방사성폐기물의 처분을 위해 운영중이나 중준위 방사성폐기물은 처분할 수 없다. 왜냐하면 2014년 9월 제정된 원자력안전위원회 고시[1]에 의해 분류된 중준위 방사성폐기물은 동굴처분시설의 사용승인시 허가대상에 해당되지 않기 때문이다.

본 논문에서는 중준위 방사성폐기물의 안전한 처분을 위해 IAEA[4]에서 제시한 방법론과는 달리 방사능량 산출 시 적용된 가용데이터를 기반으로 기존의 설정된 극저준위 및 저준위 방사성폐기물의 처분농도제한치를 고려하여 1단계 동굴처분시설의 중준위 방사성폐기물에 대한 처분농도제한치를 설정하였다. 중준위 방사성폐기물에 대한 처분농도제한치 설정결과 농도제한이 필요한 핵종은 ^3H , ^{14}C , ^{90}Sr , ^{99}Tc ,

Gross alpha 5개 핵종이었다. ^3H 은 1차, ^{14}C 은 2차, ^{90}Sr 은 2차, ^{99}Tc 은 2차, Gross alpha는 1차에 걸친 농도제한이 필요하였다. 단, ^{14}C 은 2차에 걸쳐 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치를 설정하였음에도 우물이용시나리오에서 성능목표치를 불만족하므로 처분시설의 총방사능량을 이용하여 추가적으로 제한하였다. 설정된 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치는 모두 저준위 방사성폐기물 처분농도제한치 값보다 높음을 알 수 있었다. 도출된 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치와 총방사능량을 바탕으로 1단계 동굴처분시설 안전성분석 보고서[5]에 제시된 모든 운영 중 및 폐쇄 후 시나리오의 안전성평가를 수행하였으며 시나리오별 평가결과가 모두 성능 목표치를 만족함을 확인하였다. 따라서 도출된 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치와 총방사능량을 통해 중준위 방사성폐기물의 1단계 동굴처분시설 처분 안전성 확인할 수 있었다.

5.2 향후계획

처분시설 운영 중 인수되는 방사성폐기물의 ^{14}C 은 누적 방사능량을 확인하여 최대방사능량을 넘지 않도록 관리해야 한다. ^{14}C 의 경우 폐쇄 후 안전성평가에 미치는 영향이 크므로 ^{14}C 의 방사능량이 큰 중수로 건조 폐수지 등의 방사성폐기물은 처분시설의 안전성을 고려하여 처분대상 폐기물에서 배제할 수 있으며, 방사능량 저감 연구를 통해 지속적인 관리가 필요하다. 필요시 처분시설에 처분된 방사성폐기물의 방사능량과 인수될 방사성폐기물의 방사능량을 종합적으로 고려하여 중준위 방사성폐기물 처분농도제한치의 재설정이 필요하다고 판단된다. 또한, 방사성폐기물 발생기관의 운영 데이터를 추가 확보하여 방사능량 예측결과의 불확실성을 저감하고 처분 안전성을 증진할 계획이다.

감사의 글

본 논문에는 한국수력원자력(주), 한국원자력연구원 그리고 한전원자력연료(주)의 중저준위 방사성폐기물 데이터가 사용되었습니다. 관련 데이터를 생산 및 제공하여 주신 담당자 분들께 감사드립니다.

REFERENCES

- [1] Nuclear Safety and Security Commission, Guidelines for Radioactive Waste Classification and Self Disposal Standards, No. 2014-03 (2014).
- [2] International Atomic Energy Agency, Classification of Radioactive Waste, General Safety Guide-1 (2009).
- [3] Korea Radioactive Waste Agency, Management Plan for Low and Intermediate-Level Radioactive Waste (2017).
- [4] International Atomic Energy Agency, Derivation of Activity Limits for the Disposal of Radioactive Waste in Near Surface Disposal Facilities, IAEA-TEC-DOC-1380 (2003).
- [5] Korea Radioactive Waste Agency, Safety Analysis Report for 1st Phase Low and Intermediate-Level Waste Disposal Facility on the Construction Phase (2016).
- [6] Korea Hydro and Nuclear Power Co. Ltd., Development of a Computer Program for Evaluating Radioisotope Inventory of Radioactive Wastes from Nuclear Power Plants : Appendix 2, User Guide, 2010-50003339-0168TR (2010).
- [7] Korea Radioactive Waste Agency, Safety Analysis Report for 2st Phase Low and Intermediate-Level Waste Disposal Facility on the Construction Phase (2016).
- [8] Korea Hydro and Nuclear Power Co. Ltd., Surface Dose of Low and Intermediate-Level Radioactive Waste (2014).
- [9] Korea Atomic Energy Research Institute, Activity of Low and Intermediate-Level Radioactive Waste (2014).
- [10] KEPCO Nuclear Fuel Company, Activity of Low and Intermediate-Level Radioactive Waste (2014).