

경수로 사용후핵연료 콘크리트 저장용기 주요 구성품의 제염해체를 위한 방사능 재고량 분석

김태만^{1*}, 도호석¹, 조천형¹, 고재훈²

¹한국원자력환경공단, 대전광역시 유성구 가정로 168

²(주)코네스코퍼레이션, 대전광역시 유성구 유성대로 798

*tmkim@korad.or.kr

1. 서론

한국원자력환경공단에서는 국내 경수로 원전에서 발생한 사용후핵연료를 건식으로 저장하기 위하여 국내/외 기술기준을 준수하여 안전성을 최우선으로 고려한 콘크리트 저장용기를 개발하였다. 이러한 콘크리트 저장용기는 50 년동안 주요 안전성요소(구조, 열제거, 격납, 임계방지, 방사선차폐 등)에 대한 건전성을 유지하고, 운영기간 중 유지보수 과정에 폐기물의 발생을 최소화 하고 이를 안전하게 관리할 수 있도록 설계하였다[1].

콘크리트 저장용기의 제염해체와 관련한 설계특성은 다음과 같다.

- 설계수명 이후 사용후핵연료 회수의 용이성
- 사용후핵연료 회수 이후 방사화된 구조물간 분리 및 제거작업의 단순성
- 캐니스터 및 용기본체 외부 표면 제염의 용이성
- 2차 방사성폐기물 발생의 최소화

콘크리트 저장용기가 설계수명 50 년간 사용후핵연료를 저장할 경우, 핵연료로부터 방출되는 중성자에 조사되어 용기본체 및 용기를 구성하는 각 구조물들은 방사화가 된다. 설계수명이 종료된 콘크리트 저장용기의 캐니스터, 용기본체 및 주요 구성품에 대한 방사능 재고량 평가자료는 해체를 위한 매우 중요한 정보이며, 핵종의 종류 및 방사능 준위에 따라 해체수행 방법을 선택해야 한다.

2. 본론

콘크리트 저장용기의 용기본체는 주요 구조적 기능을 제공하는 내외부의 탄소강 쉘 사이에 방사선 차폐 기능을 수행하는 콘크리트가 채워진 원통형 구조로 제작된다. 캐니스터는 두께 25 mm의 스테인리스강 쉘을 갖는 원통형 용기로서 두께 60 mm의 원판형 바닥판은 쉘에 용접 접합된다. 바스켓 집합체를 지지하는 디스크는 총 22개로 구성되어 있으며 최대 두께 50 mm, 최소 두께 20 mm의 원판형 스테인리스강으로서 8개의 스테인리스강 지지봉에 용접된다. 캐니스터 내부 구조물은 사용후핵연료의 지지, 임계제어 및 열발산 기능을 유

지하도록 한다.(Fig.1)

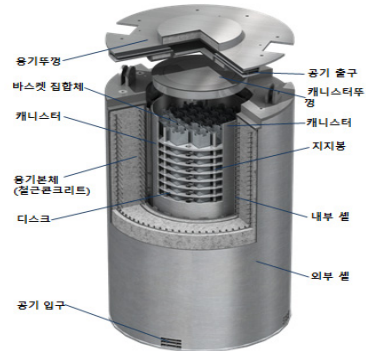


Fig. 1. Concept drawing of the concrete cask.

콘크리트 저장용기 본체 및 구성품에서의 중성자 조사에 따른 재고량을 평가하는 방법으로는 MCNP와 ORIGEN-2 전산코드를 이용하여 예측할 수 있다 [2]. 장전초기 설계기준연료 21다발에 의한 총 중성자속은 SCALE 6.1 전산코드의 ORIGEN-S 모듈을 이용하여 평가하였다. 설계기준연료는 국내 경수로 원전에서 발생한 연료중 연소도 45,000MWD/MTU 이하, U-235 농축도 4.5wt% 이하, 냉각기간 10년 이상으로 선정하였다. 설계기준연료 한 다발에서 방출되는 총 중성자속은 2.0967E+08 neutrons/sec이며, MCNP5 전산코드를 이용하여 구성된 콘크리트 저장용기 구성품별 기하학적 모델에 입력자료로 활용하였다.(Fig.2)

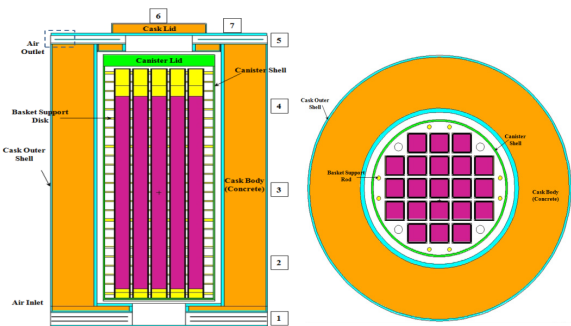


Fig. 2. Vertical and horizontal section modeling of the concrete cask.

우선, 콘크리트 저장용기 본체 및 구성품을 모델링하고 중성자속을 계산한 결과, Table 1과 같이

연료로부터 가장 근접한 바스켓에서 최외부 셸까지 $2.435E+05 \text{ \#/cm}^2\cdot\text{sec} \sim 3.993E+01 \text{ \#/cm}^2\cdot\text{sec}$ 으로 도출되었으며, 결과값에 대한 상대오차는 약 0.7 ~ 2 %로 나타났다.

Table 1. Results of neutron flux for main components

Component	Neutrons/cm ² ·sec	
Canister	Basket	2.435E+05
	Disk	7.667E+04
	Base plate	4.184E+04
	Bottom plate	2.842E+04
	Shell	8.495E+04
	Lid	1.081E+04
Cask	Outer shell	3.993E+01
	Lid	1.476E+01

이후 콘크리트 저장용기 구성품의 재질별 화학 조성 등을 이용하여 용기본체 및 각 구성품에서의 중성자속과 중성자에 의해 방사화될 모핵종의 반응을 계산을 통하여 중성자 반응단면적을 산출하였다. 본 방법을 통해 도출된 방사화될 모핵종의 중성자 반응단면적을 ORIGEN-2 전산코드의 라이브러리내에서 수정하여 방사화 핵종의 방사능 재고량을 산출하였으며, 대표적으로 캐니스터 바스켓, 용기본체 내부셸에 대한 재고량을 각각 Table 2 ~ Table 4에 제시하였다.

Table 2. Specific activities of canister basket after design lifetime expiration

핵종	해당연도 이후 방사능 재고량(Bq/g)			
	설계수명 직후	0.5년	1년	5년
⁵¹ Cr	3.19E-05	3.30E-07	3.43E-09	4.60E-25
⁵⁴ Mn	3.09E-07	2.06E-07	1.37E-07	5.38E-09
⁵⁵ Fe	3.45E-06	3.02E-06	2.64E-06	9.09E-07
⁵⁹ Fe	2.04E-07	1.23E-08	7.36E-10	1.24E-19
⁵⁸ Co	1.15E-05	1.91E-06	3.20E-07	1.96E-13
⁶⁰ Co	5.78E-03	5.41E-03	5.07E-03	2.99E-03
⁵⁹ Ni	8.31E-08	8.31E-08	8.31E-08	8.30E-08
⁶³ Ni	9.83E-06	9.79E-06	9.76E-06	9.47E-06

Table 3. Specific activities of cask inner shall after design lifetime expiration

핵종	해당연도 이후 방사능 재고량(Bq/g)			
	설계수명 직후	0.5년	1년	5년
¹⁴ C	1.12E-19	1.12E-19	1.12E-19	1.12E-19
⁵¹ Cr	3.23E-13	3.36E-15	3.53E-17	4.73E-33
⁵⁴ Mn	8.92E-12	5.95E-12	3.97E-12	1.55E-13
⁵⁵ Fe	7.84E-11	6.86E-11	6.00E-11	2.07E-11
⁵⁹ Fe	7.45E-12	4.47E-13	2.68E-14	4.52E-24
⁶⁰ Co	2.40E-07	2.25E-07	2.11E-07	1.24E-07

Table 4. Specific activities of canister shall after design lifetime expiration

핵종	해당연도 이후 방사능 재고량(Bq/g)			
	설계수명 직후	0.5년	1년	5년
¹⁰ Be	2.17E-13	2.17E-13	2.17E-13	2.17E-13
¹⁴ C	3.44E-06	3.44E-06	3.44E-06	3.44E-06
³² P	1.04E-05	1.49E-09	2.12E-13	9.99E-28
⁵¹ Cr	9.51E-03	9.86E-05	1.02E-06	1.37E-22
⁵⁴ Mn	7.45E-04	4.97E-04	3.32E-04	1.30E-05
⁵⁵ Fe	6.55E-03	5.73E-03	5.02E-03	1.73E-03
⁵⁹ Fe	1.74E-04	1.04E-05	6.27E-07	1.06E-16
⁵⁸ Co	1.69E-07	2.83E-08	4.72E-09	2.89E-15
⁶⁰ Co	5.54E-04	5.19E-04	4.86E-04	2.87E-04
⁵⁹ Ni	1.23E-09	1.23E-09	1.23E-09	1.23E-09
⁶³ Ni	1.26E-03	1.26E-03	1.25E-03	1.22E-03

3. 결론

본 연구는 MCNP5를 이용하여 사용후핵연료 콘크리트 저장용기의 구성품별 중성자속과 반응을 바탕으로 주요핵종의 반응단면적을 산출하였으며, 이를 ORIGEN-2 전산코드 라이브러리내의 반영하여 방사화된 구성품의 방사능 재고량을 계산하였다. 특히, ⁶⁰Co의 방사능은 거의 모든 구성품들에서 다른 핵종들에 비해 비교적 큰 값을 나타냈으나, 해체시점이 증가할수록 방사능이 상당히 작아질 것으로 예상된다.

상기에서 평가된 사용후핵연료 콘크리트 저장용기 방사능 재고량은 저장용기 해체계획의 수립 및 해체 방법의 결정, 해체작업 종사자의 피폭선량 예측, 방사성폐기물의 관리 등의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No.20141710201731)

5. 참고문헌

- [1] 한국원자력환경공단, 사용후핵연료 수송/저장 시스템 상용화 기술개발(2단계) 최종보고서, KORAD/TM-2014-01, 2014.
- [2] 홍상범, 서범경, 조동건, 정경환, 문제권, 연구로 2호기 방사화 수조 콘크리트의 재고량 평가에 관한 연구, Vol.37 No.4.