The Activity Evaluation for Reactor Structures in SMART

송재훈 · 김하용 · 김교윤
한국원자력연구원
E-mail: jh_song@kaeri.re.kr

중심어 (keyword) : DORT, GEOSHIELD, ACTIVITY, SMART. ORIGEN2.2, 원자로 구조물

서 론

SMART는 열출력 330MWth의 일체형원자로로 노심, 8대의 증기발생기, 가압기, 4대의 원자로 냉각재 펌프 등이 배관 연결 없이 하나의 용기 안에 내장된 원자로다. 노심은 UO_2 핵연료를 사용하며, 핵연료 집합체 57개로 구성된다. SMART는 60년의 설계수명 및 재장전 주기 3년으로 경제성에 많은 장점을 가지고 있다.

SMART는 상용 원자로와 다르게 원자로 구조물들이 일체형으로 구성되어있어 분리형인 상용원자로에 비해 주요 구조물들이 노심과 가깝게 위치한다. 따라서 유동혼합헤더 집합체, 증기발생기, 냉각재펌프, 원자로 용기와 같은 원자로 주요 구조물들은 원자로 가동기간동안 상용 원자로보다 많은 양의 중성자선원에 노출되고 방사화된다.

이 논문에서는 SMART 원자로 구조물의 방사화 방사능을 2차원 결정론적 수송해석 코드인 DORT[1]와 ORIGEN2.2[2]를 이용하여 평가하였다.

방 법

DORT 코드는 정상상태의 중성자 및 광자의 거동을 묘사하는 볼츠만 수송 방정식의 해를 제공한다. SMART의 방사화 방사능을 평가하기 위한 DORT 모델은 표 1과 그림 1로 묘사되었다.

DORT 모델은 그림 1에서 보는 것과 같이 R-Z 구조로 전제 원자로의 절반에 해당하는 부분을 묘사하였다. 왼쪽경계면은 reflective boundary 조건, 나머지 경계면은 vacuum boundary 조건을 사용하여 원자로 용기, 유동혼합헤더 집합체, 증기발생기 하부, 그리고 냉각재 펌프영역에서의 방사화 방사능 평가가 수행되었다.

표 1. Problem Description

Category	Value
Dimension	R-Z
Maximum order of P_l scattering	5
Number of energy group	67
Number of R meshes	262
Number of Z meshes	584
Number of directions in quadrature	48

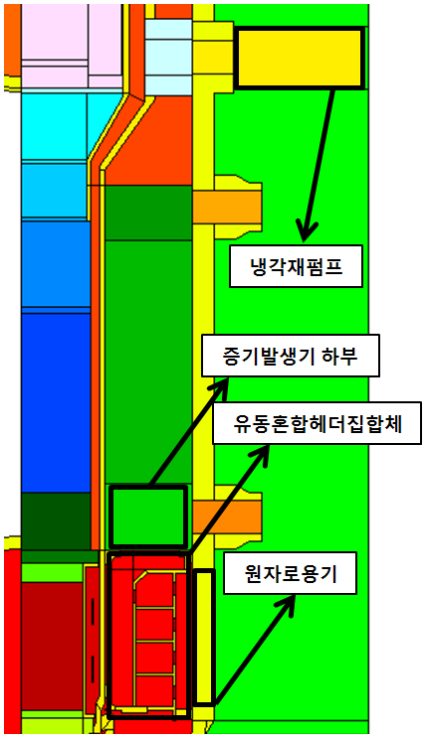

그림 1. Definition of Reactor Structures

DORT 중성자 수송 계산에서는 47군의 중성자 및 20군의 감마선 핵단면적 자료인 BUGLE-96[3]이 이용되었고, 보수적인 계산을 위하여 각 영역에서 최대 중성자 선속값을 ORIGEN2.2 입력으로 하였다.

ORIGEN2.2의 평가에 이용된 SMART의 연소시간은 60년 수명에 90%의 가동율이 고려되었으며, 수명 이후 30년간 냉각되는 것으로 가정하였다.

ORIGEN2.2의 입력으로 제공되는 각 영역에서의 구성 물질은 표 2에 나타내었다.

표 2. 각 영역에서의 구성물질

	SA508	SS304	Inconel690	H_2O	SS321
Vessel	O	O			
SG		O	O	O	
FMHA[a]		O			
RCP					O

[a]: 유동혼합헤더 집합체

결 론

60년의 가동기간 및 30년의 냉각기간 동안 SMART 구조물에서의 방사화 방사능 값은 그림 2, 3에서 각각 보여주고 있다. 유동혼합헤더집합체의 경우 노심과 가장 가까운 곳에 위치하고 있기 때문에 가장 큰 방사능 값을 보여주고, 냉각재 펌프의 경우 노심과 가장 멀리 위치해 있기 때문에 가장 낮은 값을 나타내고 있다. SMART의 증기발생기는 상용원자로와는 달리 노심과 상당히 밀접해있기 때문에 유동혼합헤더집합체 다음으로 큰 방사능 값을 보여주고 있다.

표 3. 최대 방사능 값을 갖는 동위원소

Operation Time(19723day)		Cooling Time(30year)	
Isotope	Bq/cm^3	Isotope	Bq/cm^3
^{56}MN	6.45E+09	^{63}NI	2.06E+08
^{51}CR	2.41E+09	^{59}NI	1.99E+06
^{55}FE	1.58E+09	^{14}C	8.88E+05
^{58}CO	3.30E+08	^{55}FE	5.32E+05
^{63}NI	2.58E+08	^{60}CO	7.59E+04

표 3은 운전기간(19723일)과 냉각기간(30년)에 최대 방사능 값을 나타내는 동위원소를 보여준다. 운전기간동안에는 ^{56}Mn에 의한 방사능 값이 전체 방사능 값의 57%를 차지한다. 또한, ^{56}Mn, ^{51}Cr, ^{55}Fe, ^{58}Co, ^{63}Ni의 비율은 전체의 97%를 차지한다. 냉각기간 동안은 ^{63}Ni에 의한 방사능 값이 전체 방사능 값의 98%를 차지하고, ^{63}Ni, ^{59}Ni, ^{14}C, ^{55}Fe, ^{60}Co는 전체의 99%를 차지한다.

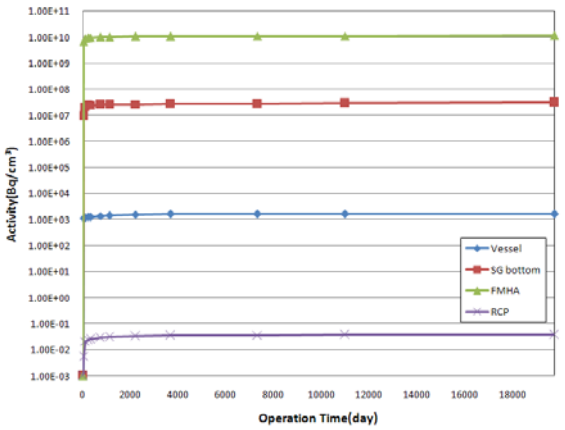

그림 2. Activities for Reactor Structures during Operation time

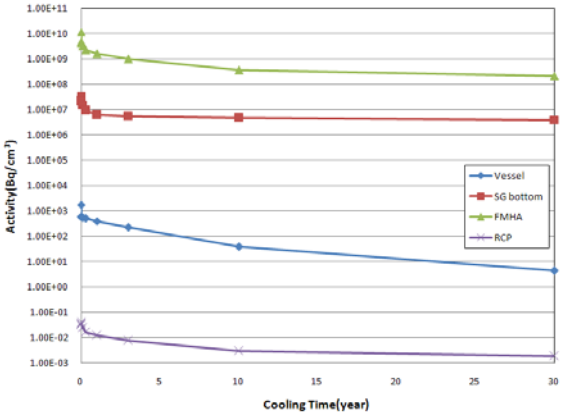

그림 3. Activities for Reactor Structures during Cooling time

참 고 문 헌

1. RSICC, "Computer Code Collection-DOORS3.2," CCC-650, ORNL (1998)
2. RSICC, "ORIGEN2.2: Isotope Generation and Depletion Code - Matrix Exponential Method," (2002)
3. RSICC, "Data Library Collection BUGLE-96," DLC-185, ORNL (1996)