

## 사용후핵연료 구조물 방사화 감마방사선원향 특성 분석

한영태 · 안준기  
한국전력기술(주)

E-mail: ythan@kopec.co.kr

중심어 (keyword) : 사용후핵연료, 구조물 방사화, 감마방사선원향, 코발트

### 서론

사용후핵연료 감마방사선원은 핵분열생성물, 악티나이드 계열 핵종, 핵연료집합체 구조물의 방사화핵종으로 구분할 수 있다. 핵분열생성물, 악티나이드 계열 핵종은 핵분열에 따라 필연적으로 생성되지만 핵분열 중성자와의 방사화 반응으로 생성되는 핵연료집합체 구조물의 방사화 방사선원은 구성물질의 규제 혹은 제한 등으로 조절이 가능하다고 하겠다. 본 연구에서는 사용후핵연료 구조물의 방사화 감마방사선원향의 특성을 구성물질 조성과 붕괴기간에 따라 분석하였다.

### 재료 및 방법

사용후핵연료 방사선원향은 SCALE4.4[1] 전산코드의 SAS2H/ORIGEN-S 체계를 이용하여 계산하였다. 이 계산에서 SAS2H 모듈은 핵연료 연소에 따른 핵단면적 자료 생성에 이용되었으며, ORIGEN-S 모듈은 이 핵단면적 자료를 이용하여 핵연료집합체에 대한 연소 계산 및 냉각시간에 대한 붕괴 계산을 수행하는데 이용되었다. SAS2H/ORIGEN-S 계산의 기본 입력 자료는 핵연료봉 및 핵연료집합체 설계 자료(핵연료 농축도 및 노심 장전량, 노심 열출력 준위), 핵연료집합체 구조물의 구성성분, 노심 운전 조건 및 연소 이력 자료 등이며 사용된 핵단면적 자료는 SCALE 코드에 내장된 44군 핵단면적 자료이다.

노심 연소 조건으로 ACE7 17x17 핵연료집합체(U-235 초기 농축도 4.5 w/o 가정)와 WEC형 원전

노심 출력(2831 MWt 가정)을 적용하였다. 핵연료집합체는 노심에서 3 주기 동안 연소되며, 각 주기별 연소도는 모두 16.7 GWD/MTU로 최종 방출연소도가 50 GWD/MTU가 되는 것을 가정하였다.

핵연료집합체 구조물은 ZIRLO 재질의 핵연료피복관, 안내관, 계측관, 지지격자와 SS304 재질의 상·하단 고정체, Inconel718 재질의 지지격자 등이 있으며 원자로 계통에서 부식되어 핵연료피복관 표면에 침적된 크리드도 고려하였다.

방사화핵종 중 강력한 감마방사선원인 Co-60 핵종의 영향을 분석하기 위해서 구조물의 초기 코발트 함량을 일반적 재질 자료(ASTM)의 값을 적용한 경우와 원자로 및 핵연료 설계 시 적용한 특성화된 설계 자료 값을 적용한 경우에 대해 계산하였다.

### 결과 및 고찰

원자로 방출 후 붕괴시간에 따른 사용후핵연료집합체의 감마방사선의 세기를 생성원별로 표 1과 그림 1에 제시하였다. 원자력발전소에서의 핵연료를 취급하는 기간인 수 일 정도에서는 핵분열생성물 > 악티나이드 > 방사화핵종의 순으로 감마방사선의 세기가 크고, 수송·건식중간저장 등에서 고려할 수 있는 기간인 수년에서 수십년 사이에는 핵분열생성물 > 방사화핵종 > 악티나이드의 순이며, 그 이후의 기간에는 악티나이드 > 방사화핵종 > 핵분열생성물의 순이다. 구조물 방사화핵종의 감마방사선원의 세기는 어느 기간에서나 전체 감마방사선원 세기의 1% 정도로 그 크

기가 작아 그 영향을 무시할 수 있다.

표 1. 붕괴시간에 따른 사용후핵연료집합체  
감마방사선원 세기 (단위 : MeV/sec/FA)

	72 시간	200 시간	5 년	7 년	500 년	1000 년
합	2.56E+17	1.68E+17	3.23E+15	2.34E+15	1.65E+12	9.59E+11
핵분열 생성물	2.22E+17	1.59E+17	3.21E+15	2.32E+15	4.42E+10	2.84E+10
악티나이드	3.23E+16	7.47E+15	1.25E+12	1.41E+12	1.39E+12	7.24E+11
방사화 생성물	1.90E+15	1.68E+15	2.05E+13	1.54E+13	2.11E+11	2.07E+11
Co-60	3.50E+13	3.50E+13	1.82E+13	1.40E+13	9.55E-16	0.00E+00

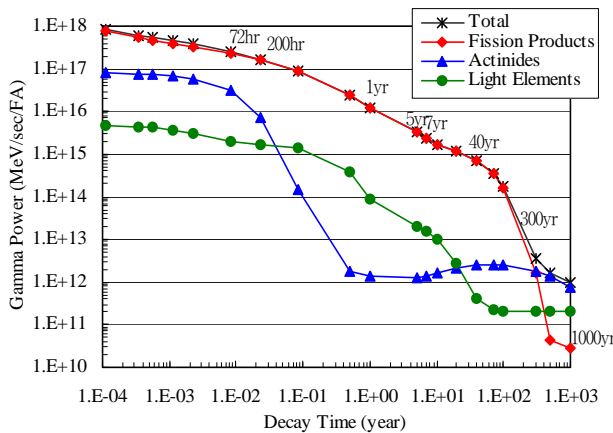


그림 1. 붕괴시간에 따른 사용후핵연료집합체  
감마방사선원 세기

그림 2는 구조물에 포함된 코발트 함량을 일반적인 재질 자료(ASTM)를 적용한 경우와 원자로 및 핵연료 설계 시의 특성화된 설계 자료를 적용한 경우의 전체 방사화핵종 및 Co-60의 감마방사선 세기를 나타낸다. 노심에서 방출 후 붕괴기간이 짧은 경우에는 구조물의 방사화 감마선원 중 Co-60 방사선원향의 기여도가 크지 않으며, 그 결과로 초기 코발트 함량에 따른 구조물 전체 방사화 감마선원향의 차이가 거의 없다. 그러나 1년에서 40년 정도의 기간에서는 Co-60 방사선원이 지배적인 영향을 보이며 이에 따라 초기 코발트 함량에 따라 구조물 전체 방사화 감마선원향 크기가 결정되어진다.

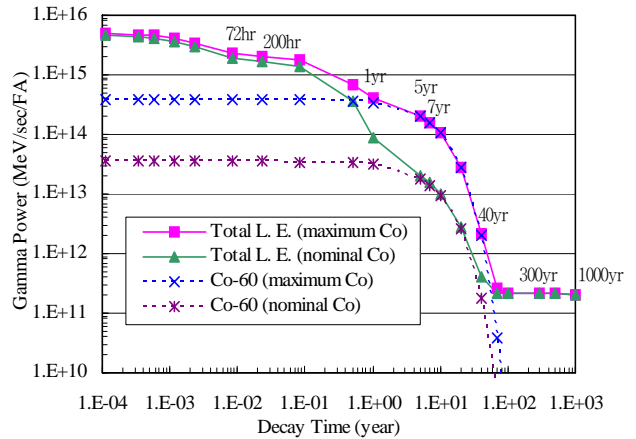


그림 2. 붕괴시간에 따른 방사화핵종 감마방사선원 세기

## 결론

사용후핵연료 감마방사선원향 중 구조물의 방사화 감마방사선원이 차지하는 비중이 아주 낮으며, 이에 따라 핵연료집합체를 기본 단위로 취급할 경우 방사화핵종의 감마방사선원향은 무시 가능한 정도이다. 그러나 핵연료에 대한 처리 혹은 크리드 세정 등으로 방사화 감마선원만을 별도로 고려해야 하는 경우에는 1년에서 40년 기간의 방사화선원의 대부분을 차지하는 Co-60 선원을 조절(최소화)하기 위해 구조물 내 코발트 함량을 최소화 하는 것이 요구된다.

## 참고 문헌

1. SCALE4.4 : Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation for Workstations and Personal Computers, C00545/MNYCP00, Oak Ridge National Laboratory (1998)