

사용후핵연료 집합체 구조물의 방사화 특성 분석

박창제, 강권호, 나상호, 양재환, 주윤정, 이정원
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045
 cipark@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료는 전처리 공정에서 절단 및 해체, 탈피복, 분말화 등 일련의 공정을 거쳐 파이로공정의 전해환원 공정으로 넘어가게 된다. 이때 발생하는 집합체 구조물은 대부분이 금속이며 이러한 금속 폐기물 처리에 대해서는 주로 표면 제염후 용융 등의 공정으로 처리하게 된다.[1] 집합체 골격 구조체는 주로 탄소강으로 이루어져 있으며 노심 내 중성자에 의한 방사화로 감마 방출 핵종인 코발트 등을 함유하게 된다. 집합체 구조체를 효율적으로 처리하기 위해 본 논문에서는 우선 방사화 특성 분석을 수행하였다. 냉각에 따른 방사능, 붕괴열을 집합체 골격체의 성분별로 계산을 수행하였으며 기준 핵연료집합체는 PLUS-7을 선정하였다. 기준 핵연료의 농축도는 4.5 wt%이며, 연소도는 55 GWD/tU이고 10년 냉각된 상태이다. 이러한 기준 핵연료의 연소계산은 ORIGEN-S[2] 로 수행하였으며 장전된 노심의 라이브러리는 17X17 type을 선정하였다. 또한 붕괴계산 시 중성자 및 감마 에너지 라이브러리는 각각 44ENDF5 와 18SCALE 을 이용하였다.

2. 계산방법 및 결과 고찰

핵연료집합체의 무게는 대략 640 kg 정도이며 그중 구조 골격체의 무게는 약 45 kg 정도 차지한다. 골격체의 부품에 따라 Inconel718, SS304, Zirlo, Zircaloy-4 등으로 구성되어 있다. 골격체의 구성별 무게 및 특성은 표 1에 나타내었다. 소량의 Zircaloy-4의 경우 붕마개에 이용되는데 피복재와 같은 재질로 본 연구에서는 제외하였다. 주로 Zirlo와 SS304가 핵연료집합체의 각각 41%, 39%로 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다. 방사화 특성 분석을 위하여 재질별로 같은 함량을 가정하였으며 핵연료 1톤 기준으로 각각 30 kg으로 가정하였다. 표 2는 재질별로 방사능과 붕괴열 및 감마선 세기를 나타내고 있다. 상대적으로 Fe을 많이 함유하고 있는 SS304와 Inconel718의 경우 Fe59가 중성자를 포획하여 Co60으로 변환되어 강한 감마선을 방출하고 또한 붕괴열도 유사한 경향으로 방출하고 있다. Inconel718, SS304 및 Zirlo의 순으로 8.53E+03 Ci, 2.41E+03 Ci, 4.25E+01 Ci 의 방사능 세기를 보이며 방사능의 주요 핵종은 Co60과 Fe55, Ni63 임을 확인하였다. 붕괴열 및 감마세기도 유사한 경향으로 나타났다. 그림 1은 골격체 종류에 따른 감마 스펙트럼을 보여주고 있다.

표 1. 핵연료집합체 골격체의 함량 및 특성

	Main components	Weight(kg)	Density (g/cm ³)	Melting temperature (°C)	Major composition (wt%)
Zirlo	Outer guide tube and post, Center guide tube, Sleeve	19.1	6.5	~2,000	Zr:97.8 Sn:1.0 Nb:1.0
SS304	Inner extension, Flow plate, Bottom nozzle assembly	18.4	8.0	1,260	Fe:68.8 Cr:19.0 Ni:8.9
Inconel718	Hold down spring, Strap, Washer	6.7	8.3	1,400	Ni:52.0 Cr:20.0 Fe:18.0

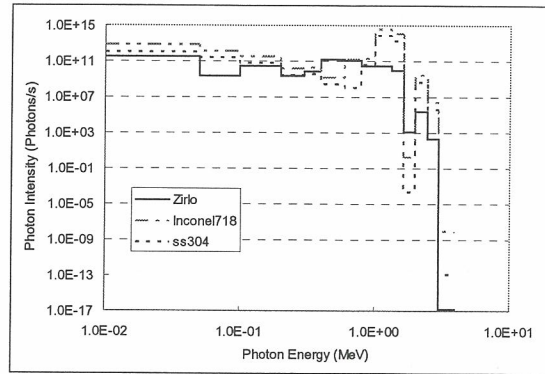


그림 1. 골격체의 감마 스펙트럼 비교
(조건: 4.5 wt%, 55 GWD/tU, 10 yr cooling, 30kg)

표 2. 핵연료집합체 골격체의 방사능 특성

	Isotopes	Activity (Ci)	Isotopes	Decay heat (W)	Gamma intensity (photons/s)
Zirlo	Sb125	9.51E+00	Sb125	3.01E-02	7.33E+11
	Nb93m	2.49E+01	Co60	8.40E-03	
	Sn119m	2.10E-01	Nb94	8.80E-03	
	Total	4.25E+01	Total	5.40E-02	
SS-304	Co60	1.17E+03	Co60	1.80E+01	8.91E+13
	Fe55	1.01E+03	Fe55	3.44E-02	
	Ni63	2.20E+02	Ni63	2.24E-02	
	Total	2.41E+03	Total	1.81E+01	
Inconel-718	Co60	6.82E+03	Co60	1.05E+02	5.20E+14
	Ni63	1.28E+03	Ni63	1.31E-01	
	Fe55	2.70E+02	Nb94	4.88E-02	
	Total	8.53E+03	Total	1.05E+02	

3. 결론

SCALE5 코드를 이용하여 핵연료집합체의 구조체에 대한 재료 종류별 방사화 특성분석을 수행하였다. Inconel718의 경우 상대적으로 높은 방사화 특성을 보였으며 Zirlo의 경우 낮은 방사화 특성을 보였다. 추후 이러한 구조체에 대한 방사화 특성 자료를 바탕으로 구조체 처리 및 수송, 저장에 있어 세부적인 방안을 연구할 예정이다. 나아가 폐기물 준위를 고려한 공정 물질 처리 방안을 구축하여 효율적인 사용후핵연료 관리를 할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] M.E. Shhlienger, J.M. Buckentin, B.K. Damkroger, Melt Processing of Radioactive Waste: a Technical Overview, SAND-97-0811C, 1997.
- [2] I.G. Gauld, O.W. Hermann, R.M. Westfall, ORIGEN-S: SCALE System Module to Calculate Fuel Depletion, Actinide Transmutation, Fission Product Buildup and Decay, and Associated Radiation Source Terms, ORNL/TM-2005/39, 2005.