

사용후핵연료 운반용기의 방사선 차폐 성능검사

손영준, 권형문, 전용범, 민덕기, 이형권, 김길수
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지
 nyzson@kaeri.re.kr

1. 서론

원자력연구원의 조사후연료시험시설에서 운용하고있는 PWR 사용후핵연료 운반용기인 KSC-1은 사용 재인가를 위한 차폐성능 검사를 수행한다. 본 연구에서는 차폐 성능 검사의 일환으로 수행한 결과를 평가 하였다.

2. 시험방법

차폐시험은 운반용기의 방사선차폐에 대한 성능을 점검하기 위한 시험으로 KSC-1 내부에 사용후핵연료 집합체를 장입하고 내부뚜껑으로 밀폐한 다음 운반용기의 표면 선량율을 측정하여 차폐 성능을 확인하였다. 시험을 위해 감마서베이미터와 중성자선량당량계가 사용되었다.

3. 방사선 차폐 해석

1) 차폐시험 대상 핵연료 집합체

차폐시험 대상 핵연료 집합체는 고리1호기 F02 핵연료집합체(14×14)이다. 제원 및 연소 특성은

표 1. 차폐시험 대상 F02 핵연료집합체의 제원 및 연소특성

Assembly 종류	고리1호기(14×14)	연소특성	
총 중량	577.9 kg	농축도	3.21 w/o U-235
U 중량	402.7 kg	연소도	28.3 GWd/tU
Zircalloy 중량	98.9 kg	연소일	1063일
Inconel 중량	4.1 kg	냉각기간	18.5년
SS304 중량	16.8 kg		
집합체 길이	405.66 cm		
집합체 단면제원	19.7 cm×19.7 cm		

다음과 같다.

2) 방사선원

F02 핵연료집합체의 제원 및 연소특성을 입력값으로 Origen-S 코드[1]로 계산하여 감마선원 및 중성자선원을 얻었다. 감마선원은 22-에너지군을 사용하였고, 중성자선원은 18-에너지군을 사용하였다. 코드계산을 위한 집합체의 연소도 값은 축방향 첨두율(peaking factor)를 고려하여 평가 하였다. F02 핵연료 집합체의 경우 축방향 연소도 분포에 대한 감마스캐닝 시험 결과가 없기 때문에 과거 시험자료를 활용하여 축방향 첨두율을 산출하였다.

축방향 첨두율은 Cs-137 축방향 감마스캐닝 결과, 다음 그림에서 보듯이 연소도와 연관성을 갖지 않는 것으로 보이며, 이를 정규분포로 가정했을 경우 95 % 신뢰구간의 상위 경계부분의 값은 1.2146이다. 보수성을 주기 위해 peaking factor를 1.22로 두었다. F02 핵연료집합체의 연소도는 28.3 GWd/tU으로 peaking factor를 곱하면 34.6 GWd/tU이다.

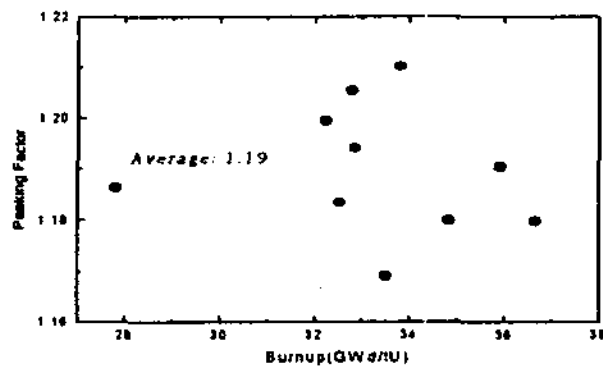


그림 1. 연소도에 따른 연료봉 연소도 축방향 첨두율.

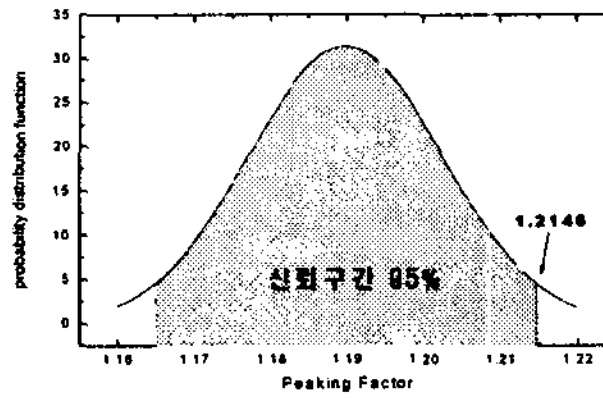


그림 2. 첨두율의 확률분포 함수.

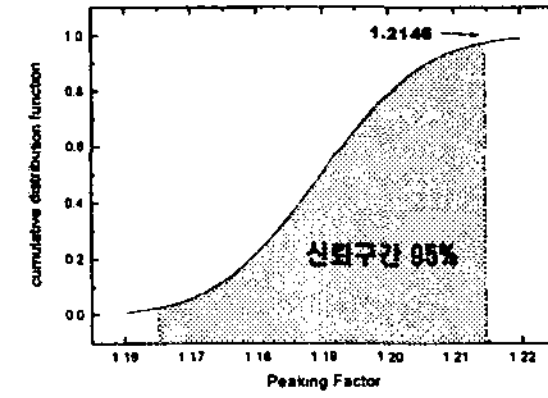


그림 3. 첨두율의 누적 분포함수.

표 3. KSC-1 수송용기의 정상운용시 최대 표면 방사선율

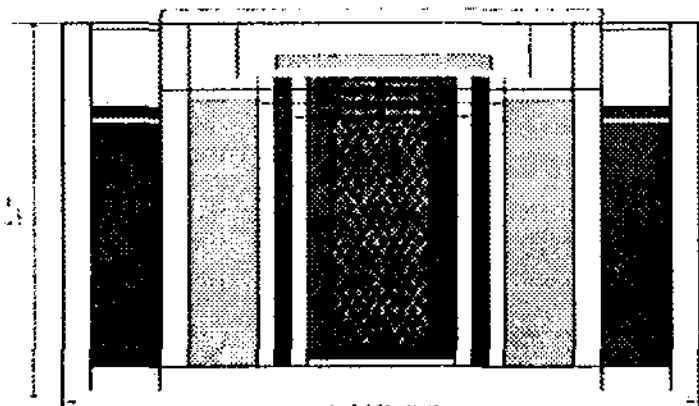


그림 4. KSC-1 수송용기의 제원 및 구조.

Normal cond.	Cask surface dose (mrem/h)		
	Side	Top	Bottom
Gamma	0.1395	0.0034	0.0194
Secondary Gamma	0.033	7.79×10^{-6}	6.67×10^{-5}
Total	0.173	0.0034	0.019
Neutron	0.0490	0.00193	0.0406

3) KSC-1 수송용기의 차폐해석

KSC-1 수송용기에 대한 중성자 차폐해석은 MCNP-4C 코드에 의해서 수행되었다. 아울러 MCNP-4C 코드로 중성자에 의한 2차 감마선을 평가하고 QADS(Scale 4.4 시스템) 코드[2]를 이용하여 감마선 차폐해석을 추가하여 용기 표면의 감마선 선량율을 평가하였다. 차폐해석 모델, 제원 및 구조는 그림 4와 같다. 또한 F02 핵연료집합체 제원과 KSC-1 운송용기의 구성비를 고려하고 Origen-S 코드를 통해 얻은 감마선원 및 중성자선원을 입력하여 MCNP4-C2와 QADS로 계산한 결과는 표 2와 같다.

3. 검사결과 및 검토

핵연료집합체를 삽입하지 않은 상태에서 운반용기 표면에서 측정된 배경선량을 핵연료집합체를 삽입한 상태에서 측정된 운반용기 표면선량에서 차감하여, 방사선 차폐 계산결과와 비교하였다. 감마선의 운반용기 표면선량은 계산결과에 비해 낮은 측정치를 보여주었고, 중성자의 경우는 검출되지 않았다. KSC-1 운반용기의 차폐성능은 유지하고 있는 것으로 판명하유지하고 있는 것으로 판명되었다.

참고문헌

[1] O.W. Hermann et al., "ORIGEN-S: Scale System Module to Calculate Fuel Depletion, Actinide Transmutation, Fission Product Buildup and Decay, and Associated Radiation Source Terms", ORNL/NUREG/CSD-2/V2/R6 (1998)
 [2] B.L. Broadhead, M.B. Emmett, "QADS: A Multidimensional Point-Kernel Analysis Module", ORNL/NuREG/CSD-2/V1/R6 (1998)