

중수로 사용후연료 전용운반용기 방사선차폐 성능평가

김민철, 정성환, 고재훈*

한국수력원자력|주 원자력발전기술원, 대전시 유성구 금병로 508번지

*|주|코네스코퍼레이션, 대전시 유성구 장대동 341-4 현대프라자 402호

mchkim@khnp.co.kr

1. 서론

한국수력원자력|주에서는 월성원전 사용후연료를 부지내 건식저장시설로 안전하게 운반하기 위해 사용후연료 전용운반용기를 제작하였으며, 국내 원자력법의 기술기준에 따른 방사선 차폐성능 검사를 위하여 운반용기의 선량률을 평가하였고 실제 연료를 장전하여 측정된 결과와 비교 분석하였다.

2. 본론

2.1 선원항 평가

중수로 사용후연료 운반용기는 2개의 연료 바스켓으로 구성되며, 각각의 바스켓에는 60다발의 핵연료가 장전된다. 차폐성능 검사를 위해 실제 사용후연료 120다발을 선정하였으며, 이를 바탕으로 중성자선원 및 감마선원에 대하여 에너지 구간별로 선원항을 계산하였고, Table 1 및 Table 2에 결과를 나타내었다.

2.2 선량률 평가지점 선정

차폐해석을 위하여 운반용기 제작시 사용된 기하학적 형태를 적용하였으며[1], 계산된 선원항이 운반용기 내에 균일하게 분포되어 있는 것으로 가정하였다. 선량률 평가지점은 Fig.1과 같이 바스켓 높이에 따라 3개의 구역(I, II, III)으로 나누고, Fig. 2와 같이 각 구역별 단면의 6개 방향(A~F)에 대한 표면 및 2m 이격지점과 운반용기 상부의 표면 등 총 37개 지점으로 선정하였다.

2.3 차폐 해석

MCNP 5.0 코드의 F2 tally를 사용하여 표면 및 2m 이격지점의 선량률을 계산하였다. History cutoff는 감마선, 중성자 및 (n,γ)반응에 대하여 각각 6.00E+08, 4.00E+07 및 5.00E+07을 적용하였으며, ICRP 74[2]의 선량환산인자를 이용하였다.

Table 1. Calculated fuel neutron source

Energy (MeV)		Neutrons/s
Lower	Upper	
1.00E-01	4.00E-01	4.29E+05
4.00E-01	9.00E-01	9.19E+05
9.00E-01	1.40E+00	9.33E+05
1.40E+00	1.85E+00	7.94E+05
1.85E+00	3.00E+00	1.74E+06
3.00E+00	6.43E+00	1.27E+06
6.43E+00	20.0E+00	8.86E+04
Total		6.17E+06

Table 2. Calculated fuel gamma source

Energy (MeV)		Photons/s
Lower	Upper	
4.50E-01	7.00E-01	1.90E+15
7.00E-01	1.00E+00	1.25E+14
1.00E+00	1.50E+00	2.84E+13
1.50E+00	2.00E+00	2.52E+12
2.00E+00	2.50E+00	1.31E+12
2.50E+00	3.00E+00	4.53E+10
Total		2.06E+15

2.4 해석결과

37개 지점에 대한 선량률 해석결과, 신뢰할 수 있는 수준의 상대오차(R<5%)로 표면 및 2m 이격지점에 대한 기술기준[3]을 만족하는 것으로 나타났으며, 최대선량률 계산결과와 기술기준을 Table 3에 제시하였다.

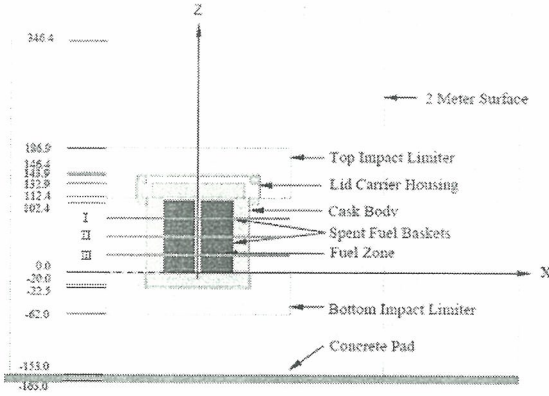


Fig. 1. Dose point location (XZ axis view)

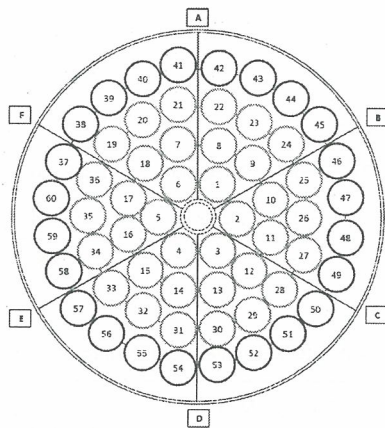


Fig. 2. Dose point location (XY axis view)

Table 3. Comparison of calculated and measured maximum dose rate

Location	Maximum dose rates [mSv/hr]			MEST limit [mSv/hr]
	Gammas	Neutrons	Totals	
Surface	0.401	0.050	0.451	2
	(0.170)	(0.040)	(0.210)	
Side	0.036	0.003	0.039	0.1
	(0.022)	(0.004)	(0.026)	
Top	0.464	0.048	0.512	2
	(0.250)	(0.040)	(0.290)	
2 m	0.056	0.003	0.059	0.1
	(0.015)	(0.002)	(0.017)	

() : measured data

2.5 차폐선량 측정

Fig 3과 같이 선량률 평가지점(Fig 1, Fig 2)과 동일한 위치에서 Pancake GM 계측기와 BF₃ 계수관을 이용하여 감마선과 중성자를 측정하였고, 그 결과를 Table 3에 나타내었다

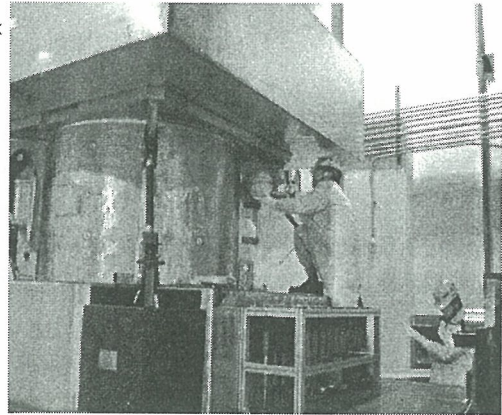


Fig. 3. Dose rate measurement

3. 결론

중수로 사용후연료 전용운반용기의 차폐해석 및 실측결과 모두 관련규정의 기술기준을 만족하는 것으로 평가되었다. 한편, 해석결과가 측정결과에 비해 보수적으로 평가된 것은, 운반용기 내 선원향이 균일하게 분포되어 있다는 가정에 기반한 것으로 분석되었다.

해석 및 실측을 통하여 중수로 사용후연료 전용운반용기의 방사선 차폐성능을 입증하였고, 규제기관의 방사선 차폐성능 제작검사에 최종 합격하였다. 이를 통하여 월성원전의 부지내 사용후연료 운반시, 방사선 위해로부터 작업자 및 주변환경에 대한 안전성을 확보하였다.

4. 참고문헌

- [1] Safety analysis report on the HI-STAR 63 package revision 4, Holtec International, pp.302-338, 2009
- [2] ICRP publication 74 : Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation, 74, 1997
- [3] 교육과학기술부고시 제2008-69호, 방사성물질 등의 포장 및 운반에 관한 규정, 2008