

## 사용후핵연료 수송저장용기 차폐 해석

김연화, 손정희, 이상철, 전종선, 한병섭  
 (주)에네시스, 대전시 유성구 구암동 328번지  
 yhkim@enesys.co.kr

### 1. 서론

사용후핵연료 수송저장용기 차폐체 개발 과제 의 일환으로 개발한 차폐체를 특정 수송용기에 적용하여 차폐해석을 수행함으로써 개발한 차폐체 평가를 수행할 예정이며, 개발한 차폐체의 평가에 앞서 대표적인 수송용기인 TN24P 모형을 모델로한 기본용기 모형을 선정환 후 기본용기에 상용화된 차폐체를 적용하여 방사선차폐 해석을 수행하였다.

수송용기 차폐해석을 위해 ORIGEN-ARP코드를 이용하여 대표사용후핵연료에 대한 감마선원 및 중성자선원을 평가하고, 대표적인 선량평가 코드인 MCNPX 코드를 이용하여 기본용기에 대한 정상상태에서의 표면 및 표면 2m 거리에서의 선량을 평가한다.

### 2. 본론

#### 2.1 방사선원 평가

MCNPX 코드를 이용한 기본용기의 차폐해석을 위해서는 방사선원항의 종류와 크기가 결정되어야 한다. 행렬지수법을 이용하여 사용후핵연료의 방사성핵종 구성비와 핵물질의 특성을 계산 할 수 있는 ORIGEN-ARP 코드를 사용하였다. ORIGEN-ARP코드는 원자로내에서 조사되는 기간동안 핵연료 집합체의 핵분열생성물, 방사화생성물 및 Actinide와 그 딸핵종의 생성 및 붕괴를 계산하며, 냉각기간에 따른 에너지그룹별 중성자선 및 감마선속을 계산해준다.

방사선원항의 평가에 모사된 사용후핵연료는 PWR 17×17형태로 농축도 4.5wt%, 연소도 45,000 MWD/MTU이며, 연소 조건은 37.5 W/gU의 비출력(Specific Power) 100%로 가정하여 유효 연소 기간을 400일로 하였으며, 전체 3주기 동안에 2번의 핵연료 교체기간을 각각 60일로 가정한다.

표 1은 냉각기간을 5년으로 가정하여 계산한 사용후핵연료의 감마선원 및 중성자선원이다.

Table 1. 사용후핵연료 선원

Photon		Neutron	
Energy (MeV)	Intensity (photons/sec)	Energy (MeV)	Intensity (neutrons/sec)
5.00E-02	1.50E+15	1.00E-08	9.80E-05
1.00E-01	4.33E+14	3.00E-08	3.91E-04
2.00E-01	3.52E+14	5.00E-08	5.55E-04
3.00E-01	9.98E+13	1.00E-07	1.89E-03
4.00E-01	6.93E+13	2.25E-07	6.95E-03
6.00E-01	7.46E+14	3.25E-07	7.28E-03
8.00E-01	2.51E+15	4.00E-07	6.27E-03
1.00E+00	3.27E+14	8.00E-07	4.28E-02
1.33E+00	8.88E+13	1.00E-06	2.63E-02
1.66E+00	2.64E+13	1.13E-06	1.86E-02
2.00E+00	1.13E+12	1.30E-06	2.60E-02
2.50E+00	2.37E+12	1.77E-06	8.06E-02
3.00E+00	7.85E+10	3.05E-06	2.74E-01
4.00E+00	7.25E+09	1.00E-05	2.43E+00
5.00E+00	8.59E+06	3.00E-05	1.23E+01
6.50E+00	3.45E+06	1.00E-04	7.76E+01
8.00E+00	6.76E+05	5.50E-04	1.10E+03
1.00E+01	1.44E+05	3.00E-03	1.40E+04
		1.70E-02	1.90E+05
		1.00E-01	2.65E+06
		4.00E-01	1.80E+07
		9.00E-01	3.91E+07
		1.40E+00	3.91E+07
		1.85E+00	3.13E+07
		3.00E+00	5.87E+07
		6.43E+00	5.31E+07
		2.00E+01	5.03E+06
total	6.15E+15	total	2.47E+08

#### 2.2 기본용기 모델링

몬테카를로법을 이용하여 입자의 수송을 확률론적으로 계산하는 MCNPX 코드는 방사선 차폐 해석 및 선량 평가를 수행하는 대표적인 코드이다. MCNPX 코드는 Cell cards, Surface cards, Data cards로 입력 파일이 구성되며, Cell cards와 Surface cards에서 평가하고자 하는 대상의 형태를 모델링하게 되고, Data cards에서 선원, 물성 등의 자료를 입력하게 된다.

모델링한 기본용기 모형은 그림1과 같으며, 기본용기의 몸체는 스틸, 바스켓은 알루미늄, 중성자 차폐체로는 상용화된 NS-4-FR의 물성 값을 사용하였다.

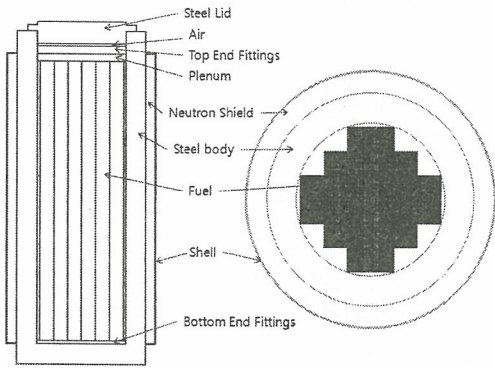


Fig. 1. 기본용기 모형

2.3 선량평가

기본용기의 선량을 평가하기 위해서는 용기 바닥, 측면, 뚜껑의 선량을 모두 평가하여 제일 높은 지점의 선량으로 법정 기준치를 만족함을 평가하여야 하지만, 본 과제에서는 중성자 차폐체를 개발하는 것이 목적이므로 성능 평가를 위해 중성자 차폐체가 포함되어있는 기본용기 측면의 선량만을 비교 평가 하였다.

기본용기를 세로 25cm 간격으로 용기 바닥부터 용기 상단까지 20개로 분할하여 높이에 따른 각 지점의 선량을 평가하였다. 표 2는 20개로 분할한 각 높이에 따른 선량 결과이며 segment 1과 2는 용기 뚜껑, 3~19은 중성자 차폐체가 둘러싸여 있는 지점, 19와 20은 용기 바닥에 해당된다. MCNPX 코드로 선량 평가한 결과 중성자의 경우 중성자 차폐체가 없는 뚜껑과 바닥 부분이 선량 값이 높게 평가 되었으며 그 중 뚜껑 부분이 더 높게 나타났다. 감마의 경우 수송용기 몸체, 바닥, 뚜껑 등이 밀도가 높은 스틸로 이루어져 감마 차폐가 이루어지고 있기 때문에 중성자와는 달리 수송용기 1/3, 2/3 되는 지점이 높게 평가 되었다.

표 3은 기본용기 측면 중에서 중성자 차폐체가 포함되어 있는 지점의 표면 및 2m 거리에서의 중성자 및 감마선량이다. 표면선량이 1.46E-1 mSv/hr, 표면 2m 거리의 선량이 3.06E-2 mSv/hr로 법정 기준치인 용기 표면 선량이 2mSv/hr 이하, 표면 2m 거리에서 0.1mSv/hr이하를 만족한다.

3. 결론

MCNPX 코드를 이용하여 기본용기에 대한 정상

Table 2. 기본용기 높이에 따른 선량

segment No	중성자		감마	
	표면 (mSv/hr)	2m 거리 (mSv/hr)	표면 (mSv/hr)	2m 거리 (mSv/hr)
1	8.86E-02	8.12E-03	3.93E-02	1.26E-02
2	1.08E-01	8.74E-03	5.62E-02	1.22E-02
3	3.37E-03	6.69E-03	2.48E-02	1.41E-02
4	2.64E-03	4.94E-03	4.43E-02	1.62E-02
5	3.56E-03	4.39E-03	4.96E-02	1.75E-02
6	3.36E-03	3.28E-03	6.45E-02	1.95E-02
7	3.73E-03	2.32E-03	5.85E-02	2.06E-02
8	4.56E-03	2.31E-03	5.06E-02	2.01E-02
9	3.97E-03	1.69E-03	4.84E-02	2.36E-02
10	4.22E-03	1.49E-03	5.51E-02	2.19E-02
11	3.75E-03	1.82E-03	5.03E-02	2.06E-02
12	3.69E-03	1.86E-03	5.16E-02	2.26E-02
13	2.88E-03	1.38E-03	5.16E-02	2.39E-02
14	3.90E-03	1.81E-03	5.34E-02	2.20E-02
15	3.40E-03	2.01E-03	5.83E-02	2.10E-02
16	3.50E-03	2.13E-03	6.43E-02	1.92E-02
17	3.52E-03	2.53E-03	5.23E-02	1.89E-02
18	2.50E-03	3.09E-03	5.01E-02	1.38E-02
19	1.69E-02	5.37E-03	2.66E-02	1.02E-02
20	8.13E-02	4.18E-03	6.74E-03	1.05E-02

Table 3. 정상상태에서 기본용기 측면 표면 및 2m거리에서의 선량

	표면 선량 (mSv/hr)	2m거리에서의 선량 (mSv/hr)
감마	6.45E-2	2.39E-2
중성자	8.13E-2	6.69E-2
합계	1.46E-1	3.06E-2

상태에서의 표면 및 표면 2m 거리에서의 선량을 평가 하였으며 평가결과 기준치를 만족하였다.

향후 개발한 차폐체를 적용하여 차폐해석을 수행함으로써 개발한 차폐체의 차폐능력 및 실제 수송용기에 대한 적용성을 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2010T00100839)

5. 참고문헌

[1] J. Korean Nuclear society, Vol.15, No.4, pp.248-255, 1983  
 [2] Evaluation of Effect of Fuel Assembly Loading Patterns on Thermal and Shielding performance of a spent Fuel Storage/Transportation Cask., PNNL-13583, 2001