

사용후핵연료의 방사선량 세기와 차폐체가 OFS 에 미치는 방사선량분포 계산

고광욱, 박일진, 김종수, 민경식, 박재범
 한국원자력연구소
 대전시 유성구 덕진동 150

1. 서론

월성원자력발전소 수증저장고 내에 저장된 CANDU 사용후핵연료의 핵물질 안전조치 목적으로 광섬유 섬광검출기(OFS)를 사용한 검증장비를 개발되고 있다. 본 연구는 이론적 시뮬레이션과 OFS 에 의한 검증결과를 상호 비교함으로써 결과에 대한 신뢰성을 확보하는데 목적이 있다. 이를 위해 차폐체의 beam collimation 에 의한 사용후핵연료의 위치 확인과 각각의 사용후핵연료의 방사선 세기 즉, 연소도 차이에 따른 방사선량분포를 계산하고자 한다.

2. 방법 및 결과

시뮬레이션을 위해, 사용후핵연료의 배열은 2 줄 7 층이고, 이들 각각의 외형은 반지름 5.125cm, 길이 49.53cm 그리고 물질은 UO₂이다. 그리고 방사선은 실제와 유사하게 bundle 의 임의의 지점에서 감마선이 방출되도록 하였고, 연소도는 7500MWd/MTIHM, 냉각기간은 10년 그리고 1 keV 에서 9.5 MeV 의 감마선 에너지범위가 모사에 이용되었다[1]. OFS 는 반지름 0.5cm, 높이 110cm 인 두 개를 높이방향으로 0.5cm 간격씩 분할하였다. 즉, 사용후핵연료의 높이 7 층에 대한 220 곳이 방사선량의 분포 계산을 위한 측정지점으로 정하였다. 두 OFS 는 서로의 방사선 영향을 줄이기 위해 5cm 간격을 두고 있으며, 하나(close OFS)는 모든 면을 납으로 차폐하였고, 다른 하나(open OFS)는 한쪽 면에 beam collimation 을 위한 1cm hole 을 갖고 있다. 이 차폐체의 크기는 두께 1.6cm, 세로 10cm, 높이 110cm 이다.

계산에 사용한 코드는 몬테칼로 계산 기법을 사용하는 대표적인 방사선 수송코드인 MCNPX 2.4 버전이다[2]. Tally 는 f6 tally 를 사용하였고, history 는 사용후핵연료의 크기에 비해 OFS 의 크기가 작기 때문에 오차를 줄이기 위해 18×10^8 개로 계산하였다.

방사선량의 변화에 따른 OFS 의 선량변화 분포를 계산하기 위하여 계산된 방사선량에 대한 정상 사용후핵연료는 1(범례, open OFS(1))로 가정하였으며, dummy, 저 및 고 연소도는 각각 0, 0.5 그리고 1.5 로 가정하였고 이들은 3 번째 층에 두었다. 또한 사용후핵연료의 위치 즉, hole 방향의 사용후핵연료인지 그 반대방향의 사용후핵연료인지의 구별하기 위하여 이들

방향으로부터의 방사선량을 각각 계산하였고 그 차로부터 이를 식별하고자 하였다. 그림 1 은 hole 방향에 위치한 사용후핵연료가 정상 상태와 방사선량 변화의 경우에 대한 선량분포를 보여주고 있다. 정상인 경우 각각 사용후핵연료의 존재 유무를 알 수 있는 peak 가 동일한 높이로 나타났고, 3 층의 저 및 고 연소도의 경우는 정상 peak 와 비교하여 각각 0.5 또는 1.5 배 작거나 크게 나타났다. 즉, 방사선의 세기에 비례하였다. 반면에 dummy 의 경우는 뚜렷한 peak 를 찾을 수 없을 뿐만 아니라 비례성도 없음을 알 수 있었다. 그림 2 는 그 반대방향 즉, hole 이 없는 방향의 사용후핵연료가 변화에 따른 결과를 보여주고 있다. 그 결과를 Hole 방향의 결과(그림 1)와 비교해 보면 방사선량 값, peak 모양 그리고 비례성이 동일하였다. 반면 dummy 인 경우는 그 peak 가 Hole 방향에 비해 선명하였고 그 방사선량 값 또한 많음을 알 수 있다.

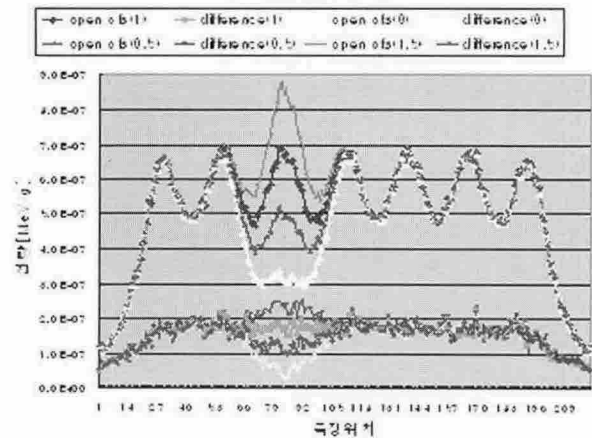


그림 1. 14개의 bundle에서 hole이 있는 방향의 bundle의 activity가 변화할 때 선량 분포

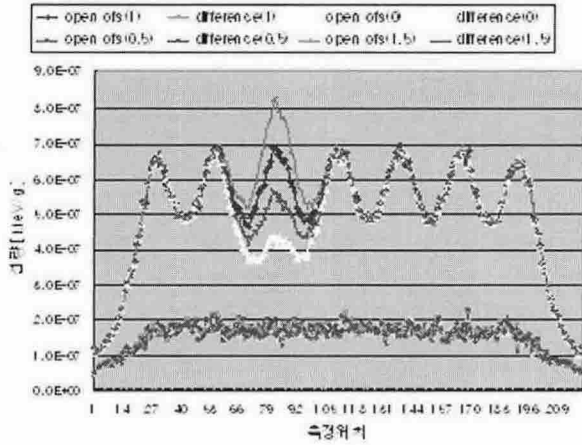


그림 2. 14개의 bundle에서 hole이 없는 방향의 bundle의 activity가 변화할 때 선량 분포

그리고 open OFS 에 대한 close OFS 의 차(difference (1))의 경우 hole 방향의 방사선량이 달라지면 그 차이도 변하지만, 반대방향의 변화는 거의 일정한 값으로 계산되었다.

따라서 하나의 open OFS 를 사용하는 경우, 그 측정된 값은 bundle 위치와 일치하는 뚜렷한 peak 를 보여주고 있으나 양쪽 bundle 의 영향을 모두 받음을 알 수 있다. 두 개의 OFS 를 사용하여 차폐체 효과를 고려한 경우 hole 이 있는 방향의 사용후핵연료의 영향을 받아 한쪽 방향에 대한 선량분포를 예측할 수 있었다. 따라서 open OFS 와 차를 함께 분석함으로써 사용후핵연료 검증이 가능한 것으로 계산되었다.

3. 결 론

4.

본 연구는 월성원자력발전소 수중저장고의 CANDU 사용후 핵연료 검증을 목적으로 차폐체의 collimation 효과에 의한 방사선량을 정상 상태와 그렇지 않은 경우 즉, dummy, 저 및 고 연소도에 대한 선량분포를 계산하고, 그 결과로부터 dummy 의 존재 유무뿐만 아니라 사용후핵연료의 위치를 구별할 수 있었다. 즉, Hole 이 있는 방향의 사용후핵연료의 방사선량이 변화하면 open OFS 의 방사선량뿐만 아니라 open OFS 와 close OFS 의 차 또한 변화하며, hole 의 뒤 방향의 사용후핵연료의 방사선량이 변화하면 open OFS 의 방사선량만 변화할 뿐 open OFS 와 close OFS 의 차는 거의 일정한 것으로 시뮬레이션 결과 나타났다. 따라서 현장여건을 감안하여 볼 때, 고 방사선에 대한 매우 얇은 두께의 beam collimator 를 사용하는 OFS 는 사용후핵연료의 연소도 변화에 따른 선량 분포와 그 위치도 확인이 가능하기 때문에 사용후핵연료 검증장비에 활용할 수 있다고 판단된다.

REFERENCES

- [1] K.D. Veal, M.E. Abhold, and H.O. Menlove, Verification of CANDU spent fuel in sealed storage casks, LA-UR-00-751
- [2] LANL, MCNPX™ User's Manual, Los Alamos National Laboratory, MCNP™ 2.4.0 LA-CP-02-408, 2002