

CANDU 사용후핵연료 처분시스템의 방사선량 평가

국동학, 조동진, 정종태, 이민수, 이종열, 최희주
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
 svskook@kaeri.re.kr

1. 서론

향후 처리 방안이 유동적인 경수로 사용후핵연료와는 달리, 중수로 사용후핵연료(CANDU)는 천연농축도를 사용하는 관계로 사용후핵연료 재활용 가능성이 적어 직접 처분해야 하는 상황이다. 또한, 중수로 사용후핵연료는 국내 사용후핵연료 발생량의 절반 이상을 차지하므로 직접 처분해야 하는 부피 및 면적이 상당 수에 이를 것으로 예상된다. 이에 따라 최근 중수로 사용후핵연료의 열적, 방사선적 특징을 파악하고 효율적인 처분 방식을 연구함으로써 처분의 효율을 높이는 연구가 수행되었다. 따라서 새롭게 제안된 중수로 사용후핵연료 처분 용기 및 처분 시스템에 대하여 각 위치에 대한 방사선량을 MCNP를 사용하여 계산함으로써 본 시스템의 방사선 안전성을 평가하는 작업이 필요하게 되었다.

2. 본론

2.1 기준 사용후핵연료

평가의 기준 조건으로는 37 핵연료봉 타입, 초기 농축도 0.711wt%, 비출력 23.668 MW/MtU, 연소도 8,100 MWd/MtU, 냉각기간 30년으로 설정하였으며, 중수로 사용후핵연료의 기초적인 정보를 ORIGEN-ARP를 통하여 구하였다. 기준 연소도는 2006년말 기준 전체 중수로핵연료가 갖는 평균연소도에 1 σ (표준편차) 값을 더한 값을 사용하였으며, 발전소 비출력 역시 평균적인 값을 사용하였다.

2.2 처분시스템 구성 요소

CANDU 사용후핵연료가 처분되는 처분시스템의 주요 항목으로는 사용후핵연료를 포함하고 있는 캐니스터와 캐니스터 주변을 감싸고 있는 완충재, 그리고 그 바깥 공간의 압반, 그리고 처분공 위에 처분터널 등으로 구성되어 있다. 캐니스터는 주철과 저온분사구리코팅으로 이루어져 있으며 사용후핵연료 60개 번들을 담을 수 있는 바스켓 4단을 적재하게 된다. 완충재는 경주 벤토나이트(칼슘 벤토나이트)를 고려하였으며 기타 압반은 화강암으로 설정하였다.

2.3 MCNP 모델

① Fuel Bundle

CANDU 번들은 총 37개의 연료봉으로 구성되어 있으며, 각 연료봉의 외곽부분은 Zircaloy-4 피복관으로 둘러싸여 있으며, 번들의 외곽부분도 역시 Zircaloy-4 재질로 구성되어 있고, 한 번들 내에 37개 연료봉의 위치를 모두 계산하여 전체 연료봉을 모사하였다.

② Basket

CANDU 번들을 60개까지 담을 수 있는 바스켓을 그림 1과 같이 모델링하여 실질적인 선원항의 영향을 분석하고자 하였다.

③ Canister

그림 2는 캐니스터를 MCNP로 모델링한 그림을 나타내고 있으며 캐니스터의 쇼울더 부분을 포함하여 최외곽에는 구리코팅 두께를 모사하였고, 그 내부에는 주철을 모사하였으며, 다시 그 안에는 4개의 바스켓이 적재되어 있는 모습을 모사하였다. 예비 Tally를 수행해 본 결과 캐니스터의 상하부에서 주철의 두께가 측면에 비해 두꺼운 관계로 감마선에 대한 측정이 잘 되지 않아서, 상하부에 대한 Geometric Splitting and Russian Roulette(variance technique)을 수행하기 위하여 이 부분만 여러 셀로 구분하여 계산하였다.

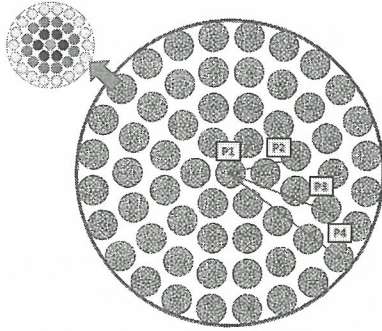


그림 1. 바스켓 내의 번들 모델링

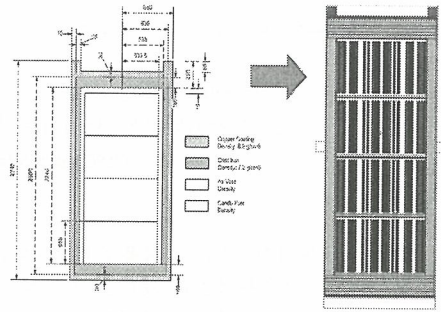


그림 2. CANDU 캐니스터 MCNP 모델링

2.4 선량 평가

CANDU 사용후핵연료 시스템의 방사선량 평가를 위해서 캐니스터의 상부, 측면 그리고 처분 터널에 대한 MCNP Tally를 수행하였다. Flux-to-Dose Conversion Factor는 ICRP-21 값을 사용하였다. 감마선에 대한 선량평가는 캐니스터 상부에서는 0.0185 rem/hr, 측면에서는 3.61 rem/hr 값을 얻었으며, 이는 측면에 비해 캐니스터의 상하부 부분이 거의 2배에 가까운 두께를 가지고 있고, 또한 핵연료 번들이 정지된 방향이 측방향이기 때문에, 상부에서의 방사선량이 상대적으로 낮은 값을 나타낸 것으로 판단된다. 중성자에 대한 선량평가는 캐니스터 상부에서는 0.0217 rem/hr, 측면에서는 0.0618 rem/hr 값을 얻었다. 계산된 각각의 방사선량 선량을 합치면 상부에서는 0.04 rem/hr, 측면에서는 3.67 rem/hr 값을 갖게 된다. 현재 국내의 피폭관리에 관한 방사선작업 종사자의 기준을 5년을 대상으로 평균 연간 20 mSv로 생각할 수 있으며, 본 평가의 결과를 이 기준에 맞추어 본다면 방사선 작업 종사자는 일년에 단 한 번 CANDU 사용후핵연료 캐니스터의 측면 부분에서 약 30분 이하의 작업만이 가능하다는 결론을 유추해 볼 수 있다. 처분시스템의 터널 공간에서의 방사선량은 전무한 것으로 계산되었다. 이는 캐니스터를 둘러싸고 있는 벤토나이트 완충재가 두꺼운 차폐재 역할을 하고, 상부 방향의 선량이 매우 낮기 때문인 것으로 판단된다.

3. 결론

CANDU 사용후핵연료의 처분시스템에 대한 방사선량 평가를 통하여 캐니스터의 표면에서의 방사선량 정도를 계산 할 수 있었으며, 향후 처분용기 이송 장비의 차폐 두께 설정 등 보다 자세한 처분시스템의 설계에 기초자료로서 활용될 것으로 기대된다. 또한 처분 터널에서의 방사선량은 극미한 값을 나타내었기 때문에 처분 완료 후 처분터널내에서는 방사선에 대한 안전성이 매우 높은 것으로 결론지을 수 있다.