

## 한국표준형 원전의 Barrel, 압력용기 방사화 선원항 평가

신상화, 김정훈, 황주호

경희대학교 원자력공학과, 경기도 용인시 기흥구 서천동

sanghwashin@khu.ac.kr

### 1. 서론

노심 내외를 구성하고 있는 구조물의 중성자 방사화로부터 발생하는 폐기물량을 산출하기 위해서는 외곽구조물 영역에서의 중성자속과, 중성자 흡수단면적을 계산할 수 있는 전산 시스템을 구현하여야 한다. 이에 본 연구에서는 원전해체 물량 분석을 위해 MCNP/ORIGEN2 코드 체계를 제안하였다. 이 체계에서는 MCNP코드를 이용하여 원자로(reactor) 노심을 묘사하고 중성자 거동을 분석하여 노심외곽 구조물 각 영역에서의 중성자 흡수단면적과 중성자속을 구하고 이를 ORIGEN2의 물질평형 지배방정식에 존재하는 중성자흡수단면적 및 중성자속에 적용함으로써 시간에 따른 방사성물질 재고량을 구하는 분석체계이다.

### 2. 원전 해체 물량 분석 체계

MCNP 코드는 중성자 수송방정식을 몬테카를로 방법론을 적용하여 해를 구하여 3차원 기하학적 묘사가 가능하고, 연속핵반응단면적을 사용하여 균축약으로 인한 오차가 적으며, 중성자-광자-전자의 거동을 연계하여 해석이 가능하고, 난수를 생성하여 무작위포 표본을 추출하여 중성자의 거동을 통계적으로 모의하므로 코드의 검증 및 실험의 대체 수단으로 사용될 만큼 정확도가 높다. 그러나 연소계산이 불가능하고 계산시간이 오래 걸리는 단점이 있다.

ORIGEN2 코드는 사용이 용이하고 계산이 비교적 정확하여 사용후핵연료로 발생하는 붕괴열, 방사능, 위해도 등과 같은 방사선원항의 평가를 위해 널리 사용되고 있다.

그러나 ORIGEN2에 적용되는 핵반응단면적라이브러리가 노심내의 중성자스펙트럼을 가중하여 만들어졌으므로 연화된 중성자스펙트럼을 갖는 노심외곽에서 핵반응단면적의 보정없이 문제를 해석하면 실제 값보다 방사화핵종의 절대값이 적게 정량화되는 문제점이 있다.

따라서, 해석하고자 하는 영역에서의 핵반응단면적을 새로이 생산하여 적용하는 방법을 제안하여 적용한다.

### 3. MCNP를 이용한 노심 모델링

가압경수로 원전 해체 폐기물량 산출모델로 한국형표준형 원전인 영광 5호기를 대표원전으로 선정하고, 1주기 노심인 신핵연료 장전 초기노심을 MCNP 코드를 이용하여 모델링을 하였다.

이 노심은 177개의 핵연료 집합체로 구성되어 있으며, 1.28wt.% 농축도를 갖는 A타입 핵연료집합체, 2.34wt.%, 1.28wt.%를 갖는 B타입 핵연료집합체, 2.84, 2.34wt.%의 농축도를 갖는 C타입 핵연료 집합체, 3.34wt.%, 2.84wt.%의 농축도를 갖는 D 타입의 핵연료집합체로 구성되어 있다.

핵연료 집합체를 포함한 압력용기까지의 구조체는 근사없이 그대로 묘사하였으며, 핵연료의 경우, 900K에서 생성된 ENDF/B-VI 핵반응단면적 라이브러리를, 감속재의 경우 600K에서 생성된 ENDF/B-VI 핵반응단면적 라이브러리를 적용하였다.

초기노심이 대칭성을 갖음을 이용하여 반경방향으로 1/4 모델, 축방향으로 1/2로 모델을 구성하여 1/8 노심으로 구성하였으며, 향후 구조물의 비대칭성이 고려하여 확장이 용이하도록 모델을 구성하였다

앞서 구성된 노심의 타당성을 검토하기 위해 MCNP 코드를 실행하여 초기노심 임계조건 상태에서 노심 유효증배계수(Keff) 및 출력분포 값을 구한 결과, Keff 값이 0.99749±0.0045로 근접하고 있어 모델링의 적절함을 확인하였다. 또한 MCNP로부터 산출된 노심 평면 출력분포와 최종안전성분석보

고서에서 제시하는 초기노심(BOL)의 평면출력 분포를 비교한 결과, RMSE(Root Mean Square Error) 값이 4.6% 이내로 나타나 본 연구에서 모델링된 MCNP의 모델이 타당함을 확인하였다.

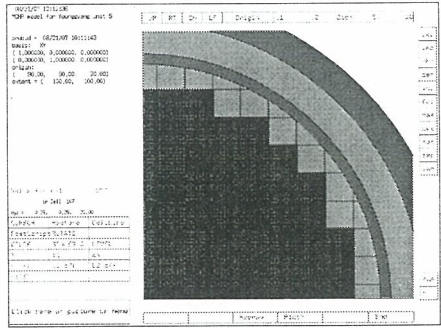


그림 1. 한국표준형 원전 MCNP 모델

#### 4. MCNP/ORIGEN2를 이용한 해체폐기물량 산출

앞서 구축한 방사화핵종 재고량 평가체계를 이용하여 Barrel, 압력용기를 대상으로 방사화선원항을 평가하였다. MCNP를 이용하여 노심해석을 수행하여 노심으로부터 유입되는 중성자를 모사하여 Barrel 및 압력용기 해당영역에서의 중성자속 및 중성자 흡수 단면적을 도출한 후, 이를 ORIGEN2에 존재하는 내장라이브리리의 해당값을 대체하여 각 영역별 핵종재고량 및 방사능량을 산출하였다. 이때 원자로 운전기간은 60년을 가정하였다.

원자로 구조물 바깥쪽으로 갈수록 단일군 중성자속(one-group neutron flux)은 급격히 감소하고, 중성자흡수반응단면적은 증가하는 것으로 나타났다.

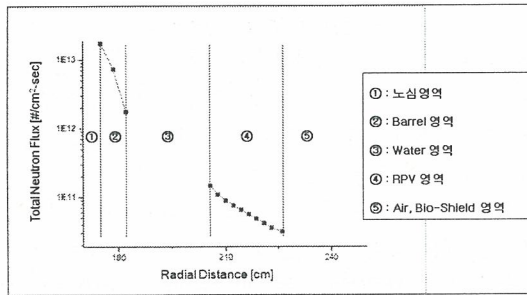


그림 2. Barrel, 압력용기 반경방향 중성자속 분포

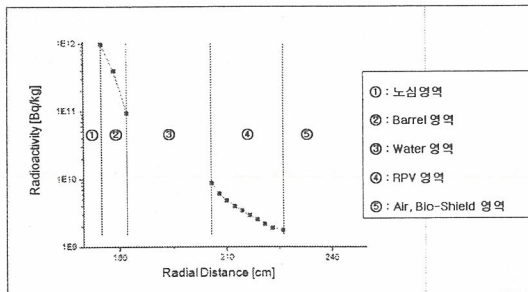


그림 3 Barrel, 압력용기 반경방향 방사능 분포

원자로 운전 정지시점을 기준으로 Barrel 안쪽면에서의 총 방사능량은  $9.78 \times 10^{11}$  Bq/kg, 압력용기 안쪽면에서의 총 방사능량은  $8.74 \times 10^9$  Bq/kg 인 것으로 평가되었다.

원자로 정지시점에서는 Fe-55가, 냉각기간 10년 이후에는 Ni-63이 가장 높은 방사능을 차지하는 것으로 나타났다.

냉각시간에 따른 총방사능 변화를 살펴보면 1년 냉각시간 후에는 총 방사능의 7.5%, 10년 이후에는 3.0%, 25년 이후에는 1.4%, 50년 이후에는 0.7% 이하로 감소하는 것으로 평가되었다.