

가압경수로 원전의 콘크리트 해체폐기물 방사화방사선원항 예비 평가

조동건*, 백민훈

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*dkcho@kaeri.re.kr

1. 서론

원전 구조물 중에서 생물학적 차폐체로 사용되는 콘크리트는 중성자에 의해 방사화 되어 해체시 방사성 폐기물 대상이 되며, 이때 중저준위폐기물 방사능 농도 제한치와 연관된 주 핵종은 ^{14}C 및 ^{60}Co 이다[1,2]. 그런데 이 핵종들 또한 우리나라 중저준위폐기물 처분농도 제한치를 크게 하회하므로 중저준위폐기물 처분장에 수용되지 못하여 심층처분 대상이 되는 방사화 콘크리트 폐기물은 없다. 따라서 결국 주 관심사는 중저준위폐기물처분장에 처분하지 않고 자체처분 할 수 있는 콘크리트 양이 어느 정도인가 하는 것이다.

이런 관점 하에 본 연구에서는 가압경수로 원전의 생물학적 차폐체로 설치된 콘크리트를 대상으로 방사선원항에 대한 예비 평가를 수행하였다.

2. 중성자속 및 핵반응단면적 평가

2.1 대상 원자로

콘크리트 생물학적 차폐체에서의 중성자속 및 핵반응단면적 평가를 위해 고려된 원자로는 울진 3&4호기이다. 원자로 초기노심 제원을 이용하여 콘크리트에서의 중성자속 및 핵반응단면적 계산을 위한 MCNP 모델을 수립하였으며, 노심 모델은 축방향으로 1/2, 반경방향으로 1/4을 적용하고 반사체경계조건을 이용하였다.

2.2 중성자속

앞서 언급한 MCNP 모델을 이용하여 ORIGEN2 방사화 계산에 필요한 중성자속을 콘크리트 반경방향을 따라 산출하였다.

중성자속은 축방향으로 가장 높을 것으로 예상되는 지점인 노심 중앙에서 50 cm 영역에 대해 평균된 값을 산출하였으며 반경방향으로는 콘크리트 안쪽 면에서 30 cm까지는 두께 2 cm에 대해 평균된 값을, 그 이후 영역에 대해서는 10 cm에 대해 평균된 값을 도출하였다. 즉, 반경방향으로 30 cm까지는 반경방향으로 2 cm, 축방향으로 50 cm에 대해 평균된

값을 산출하였으며, 반경방향으로 30 cm 이후부터는 반경방향으로 10 cm, 축방향으로 50 cm에 대해 평균된 값을 산출하였다.

Fig. 1은 반경방향 깊이에 따른 콘크리트 내 중성자속 세기를 나타낸다. Fig. 1에서 보는 바와 같이, 콘크리트를 통과함에 따라 속중성자속은 지속적으로 감소하지만 열중성자속은 증가하다 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 콘크리트 안쪽 일부영역에서는 속중성자가 감속되어 열중성자화 되는 양이 열중성자가 흡수되어 사라지는 양보다 크기 때문이다.

전체적으로 총중성자속은 초기 5 cm 정도까지는 일정한 값을 보이다가 그 이후부터는 반경방향을 따라 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다. Fig. 1에서 "0"은 콘크리트 안쪽 면을 의미하며, 총중성자속에 대한 MCNP 계산결과 값의 통계오차는 1σ 유의수준에서 1% 이하이다.

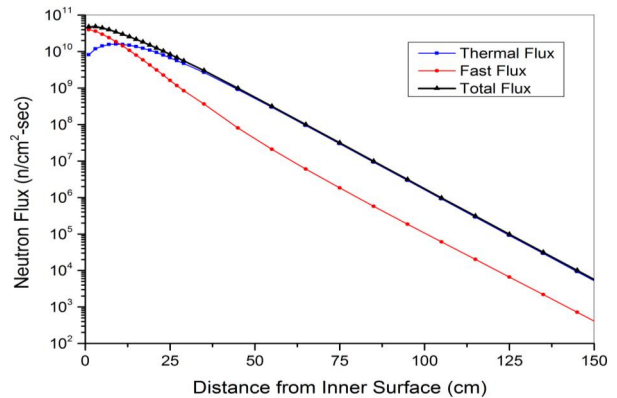


Fig. 1. Neutron Flux Distribution in Concrete.

2.3 핵반응단면적

ORIGEN2 계산시 핵반응단면적을 보정하기 위하여 단일그룹(one-group) 핵반응단면적을 MCNP 코드를 이용하여 콘크리트 반경방향을 따라 각 영역별로 산출하였다.

앞서 중성자속을 산출한 영역과 동일한 곳에서 핵반응단면적으로 산출하였으며, Fig. 2에 일례로서 Eu-151, Eu-152, Eu-153, Eu-154 동위원소에 대한 중성자흡수단면적 변화를 콘크리트 깊이에 따라 나타내었다. Fig. 2에서 보는 바와 같이, 콘크리트

안쪽 면에서는 중성자스펙트럼이 급격히 변함에 따라 중성자흡수단면적도 급격히 변화함을 볼 수 있으나, 깊이 30 cm 정도 이후부터는 스펙트럼의 변화가 없어 거의 일정하게 유지됨을 볼 수 있다. Fig. 2 산출시 MCNP 계산 결과 값의 통계오차는 1σ 유의수준에서 5% 이하이다.

참고로 ORIGEN2의 PWRU.LIB에 있는 핵반응단면적과 MCNP로 산출한 핵반응단면적은 상호간에 약 2~10배의 차이를 나타내었다.

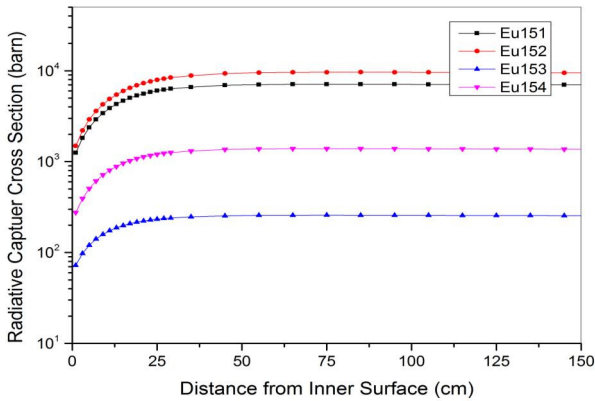


Fig. 2. Neutron Absorption Cross-section for Eu Isotopes.

3. 콘크리트 방사화 특성 분석

앞서 계산된 각 영역별 중성자속 및 핵반응단면적을 적용하여 ORIGEN2 코드를 이용하여 콘크리트 환경방향에 따른 방사능 세기를 산출하였다. 콘크리트는 원자로에서 40 년 동안 조사됨을 가정하였으며, 보수성을 위해 재장전을 위한 원자로 정지기간은 없는 것으로 가정하였다. Fig. 3은 5 년 동안 냉각된 시점에서의 콘크리트 차폐체 내의 주요 핵종에 대한 방사능 세기 변화를 나타낸다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 대부분의 방사능은 ^{152}Eu 가 차지함을 볼 수 있다.

Fig. 3에서 콘크리트 내벽에서 안쪽으로 약 15 cm까지는 중성자가 콘크리트를 투과함에 따라 방사능 세기도 병행하여 증가함을 볼 수 있는데, 이는 총중성자속은 감소하지만 Fig. 2에서 보는 바와 같이 중성자흡수단면적이 급격히 증가하기 때문에 전체적으로 방사화되는 양은 증가하기 때문이다. 15 cm 이후부터는 두께가 증가함에 따라 방사능 세기도 감소함을 볼 수 있다.

계산결과, 냉각기간 5 년 된 콘크리트의 비방사능 세기는 약 $9.2\text{E}+4$ Bq/g으로 나타났으며, 냉각기간

10 년 된 콘크리트의 비방사능 세기는 약 $4.9\text{E}+4$ Bq/g으로 나타나 10 년 냉각된 콘크리트의 방사능 세기는 5 년 냉각된 콘크리트에 비해 약 55% 정도인 것으로 나타났다.

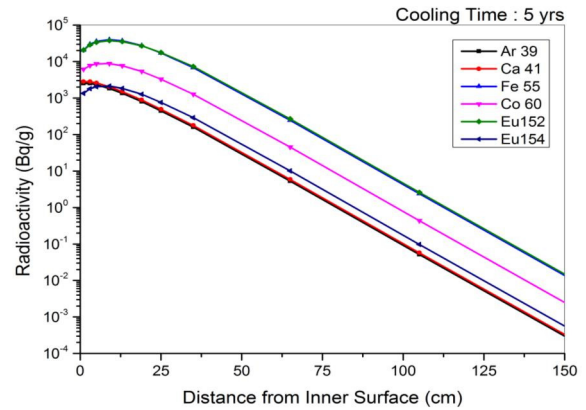


Fig. 3. Radioactivity for Major Nuclides.

4. 결론

표준형 원전에 설치되어 있는 콘크리트 생물학적 차폐체를 대상으로 각 핵종별 방사선원항 예비 계산을 수행하였다. 계산결과, 냉각기간 5 년 및 10 년 된 콘크리트의 비방사능 세기는 각각 $9.2\text{E}+4$ Bq/g, $4.9\text{E}+4$ Bq/g으로 나타나 10 년 냉각된 콘크리트의 방사능 세기는 5 년 냉각된 콘크리트에 비해 약 55% 정도인 것으로 나타났다.

본 연구의 결과는 향후 자체처분 물량 산정시 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

5. 감사의 글

이 논문은 2016년도(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(원자력 연구개발사업, No. 2012M2A8A5025589).

6. 참고문헌

- [1] 조동건 외, "콘크리트 방사화방사선원항 정량화를 위한 중성자흡수단면적 보정핵종 도출," 2016 한국방사성폐기물학회 추계학술발표회 (2016).
- [2] 방사성폐기물분류 및 자체처분 기준에 관한 규정, 원자력안전위원회 고시 제2014-003호 (2014).