

## 수조콘크리트의 방사화재고량 평가에 관한 연구

홍상범, 조동건, 정경환, 이기원, 문제권  
 한국원자력연구원, 대전 유성구 대덕대로 1045  
 sbhong@kaeri.re.kr

## 1. 서론

수명을 다한 원자력시설의 해체를 위해 시설 내 방사성핵종에 대한 재고량 평가는 매우 중요하다. 재고량 평가는 해체계획의 수립 및 해체방법의 결정, 해체작업 종사자의 피폭선량 예측, 제염기술 선정, 방사성폐기물의 관리, 환경영향 평가 및 잔류방사능 조사를 위한 기본 자료로 활용된다.

본 논문에서는 연구로 2호기 수조콘크리트 내에 존재하는 핵종 재고량을 평가를 통해 수조콘크리트의 불순물의 양을 예측하고, 외국의 사례와 비교하였다. 수조콘크리트의 방사성물질을 콘크리트의 구성성분 중 극미량으로 존재하는 불순물과 중성자의 상호작용으로 생성되며, 그 양에 따라 생성되는 방사성물질의 양에 매우 큰 영향을 준다. 그러나 콘크리트 내의 이러한 불순물의 양은 매우 미량으로 화학분석이 용이하지 않다. 재고량 평가를 위해 실험을 통해 측정된 결과와 전산코드 이용한 결과를 비교하여 연구로 수조콘크리트 내의 불순물의 양을 도출하고, 외국의 사례와 비교하였다. 이러한 결과는 향후 방사화 콘크리트의 재고량 평가의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 본론

## 2.1 시료채취 및 측정

연구로 2호기 수조 콘크리트는 다양한 중성자 실험을 위해 중성자유도관(Beamport) 및 후연블럭이 채워져 있는 Thermal Column이 관통하는 구조로 되어있다. 수조 콘크리트의 재고량 평가를 위해 가장 방사화가 많이 진행된 것으로 판단되는 Thermal Column 주변에서 깊이별로 시료를 채취하였다. 측정 결과 감마선 방출핵종은  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ 가 주로 검출되었고, 원자로심과 가까운 부분에서 채취된 시료(표면에서 10 cm 깊이)는 상대적으로 방사능 준위가 높고,  $^{134}\text{Cs}$  및  $^{154}\text{Eu}$ 가 검출되었다. 깊이별 방사능 분포는 깊이에 따라 지수

적으로 감소하는 형태를 보여주었다.  $^3\text{H}$ 의 경우 최대 1690 Bq/g이 검출되었으며,  $^{14}\text{C}$ 의 경우 매우 미량이 검출되었다.  $^{55}\text{Fe}$ 의 경우도 최대 1298 Bq/g까지 검출되었다[1].

## 2.2 방사화재고량 계산

연구로 2호기 원자로 수조콘크리트의 방사화 재고량 평가를 위해서 MCNP/ORIGEN을 조합한 방법을 이용하였다. 차폐 콘크리트의 방사화 재고량에 중요한 기여를 하는 핵종은 방사선측정을 통해 확인된 핵종을 대상으로 선정하였고, 그 이외에 콘크리트의 주요성분인 Ca의 방사화로 인해 생성되는  $^{41}\text{Ca}$ ,  $^{45}\text{Ca}$ 를 추가적으로 고려하였다. MCNP 코드를 이용하여 노심 외곽 구조물의 중성자속 분포 및 반응 단면적을 계산하고 여기서 얻어진 반응 단면적을 ORIGEN에 적용하여 조사에 따른 핵종별 방사능 재고량을 평가하였다.

중성자속 및 반응단면적 계산을 위해 시료를 채취하여 분석한 지점과 동일한 위치에서 수조 콘크리트 내부 표면에서 1m 깊이까지 10개의 구역으로 나누어 계산하였다. 계산결과 내부 표면에서 10cm깊이에서 평균 중성자속은  $7.85 \times 10^9 \text{ \#}/\text{cm}^2 \text{ sec}$ 이고, 상대오차는 약 5%정도로 나타났으며, 중성자속은 깊이에 따라 지수적(exponential)으로 감소하는 형태를 보여주었다. 위의 결과를 이용하여 ORIGEN 전산코드를 이용하여 핵종별 방사능 분포를 계산하고, 콘크리트의 구성성분의 변화에 따른 영향을 도출하였다.

연구로 수조콘크리트의 화학분석을 통해 불순물의 양을 도출하고자 하였으나, 주요 성분인 Si, Ca, Fe 등 함량이 높은 원소만 화학분석을 통해 검출되고 극미량으로 존재하는 Co, Eu, Cs 등은 검출되지 않았다. 콘크리트의 구성성분은 지역마다 크게 상이함을 고려하여, 시료의 방사능분석을 통해 얻어진 결과를 바탕으로 연구로 수조 콘크리트 내에 존재한 불순물의 양을 계산하였다. 계산된 결과(Calculated values)는 NUREG/CR-3474에서 제시된 결과(Suggested values)와 비교하여 Fig 2에 제시하였다[2].

제시된 결과는 미국의 원전의 평균값으로 Li, N 원소는 매우 극미량으로 대부분의 원전에서 제시되지 않고 있다. 평가결과 수조 콘크리트의 주요 성분인 Al, Si, Ca 등은 유사한 결과를 보여주고 있으나 Fe, Co, Eu, Cs 등의 불순물의 함량은 상당한 차이를 보여주고 있어, 콘크리트 내의 불순물의 양은 분석도 용이하지 않고 지역마다 큰 차이를 보여줌을 확인하였다.

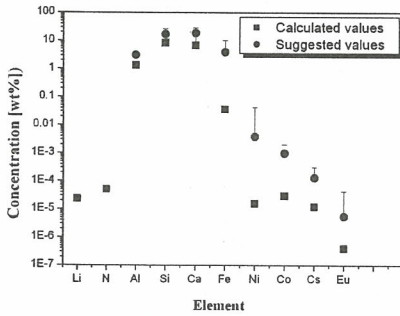


Fig. 1. The comparison results of elemental contentation in the bioshield concrete.

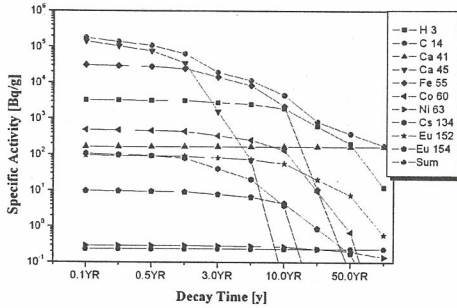


Fig. 2. The isotropic activity versus decay time at 10 cm depth and 12 years of irradiation time.

연구로 2호기 수조 콘크리트의 주요 성분 및 불순물의 양에 대한 계산결과를 이용하여 냉각기간(Cooling time)에 따른 핵종별 재고량의 변화를 살펴보았다. 연구로의 경우 상용 원전과 달리 운전시간이 일정하지 않은 특징이 있다. 연구로 2호기의 경우 운전종료 후 약 12년 후 해체가 시작되었다. Fig. 2에서 보듯이 대부분의 핵종은 생성량이 매우 적거나, 붕괴(Decay)되어 준위가 매우 낮은 반면  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{60}\text{Co}$  및  $^{152}\text{Eu}$ 는 여전히 상당

량 존재하는 것으로 확인되었다. 특히 콘크리트의 주요 구성성분인 Ca의 방사화로 인해 생성되는  $^{41}\text{Ca}$ 은 장반감기 핵종으로 폐기물관리 및 처분 관점에서 주요하게 고려되어야 할 핵종임을 알 수 있다.

### 3. 결론

본 논문에서는 연구로 2호기 수조콘크리트 내에 존재하는 핵종 재고량을 측정 및 계산의 방법을 통해 평가하였고, 수조 콘크리트의 구성성분에 따른 영향을 외국의 사례와 비교하여 평가한 결과 주요성분은 유사한 결과를 보여주고 있으나, 불순물의 경우 상대적으로 매우 적은 양을 포함하고 있다. 냉각기간의 경우 재고량 평가에 있어서 매우 중요한 인자로 연구로 2호기 해체시점을 고려하여  $^3\text{H}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ 는 여전히 상당량이 존재하고 있으며, 특히  $^{41}\text{Ca}$ 의 경우 장반감기 핵종으로 폐기물 관리 및 처분을 위해 특별히 고려되어야 한다.

연구로 2호기 수조콘크리트를 대상으로 방사화에 따른 핵종 재고량을 실험 및 계산을 통해 비교분석 하였다. 이 결과는 향후 연구로 및 원전 해체를 위한 재고량 평가에 기술적인 자료로 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

### 4. 참고문헌

- [1] 홍상범, 김희령, 정근호, 강문자, 정경환, 정운수, 박진호, "연구로 2호기 수조 콘크리트 3H 및 14C의 공간분포," 방사성폐기물학회지, 4(4), pp. 329-334 2006.
- [2] J. C. Evans, E. L. Lepel, R. et al., "Long-Lived Activation Products in Reactor Materials," Pacific Northwest Laboratory, NUREG/CR-3474, 1984.