

## 사용후 핵연료의 민감 핵물질 공간 분포 측정을 위한 중성자 스캐너 원리 실증 연구

하장호, 조운호, 이태훈, 고원일, 정정환, 송대용, 김호동, 양명승  
한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

사용후 핵연료를 다루는 핫셀내의 Pu, U, U-235 등의 핵물질 감시를 위해서는 핵물질의 공간 분포를 측정하는 중요하다. 건식공정 핵연료 기술인 DUPIC 공정에서 민감핵물질의 공간 분포는 Cm-244의 질량을 중성자 측정법으로 측정하여 U, U-235, Pu의 양을 추정하는 방법을 사용한다. 핫셀에서 직접적으로 민감 핵물질의 공간분포를 측정하는 장치개발에 있어 기술적 문제점은 공정을 위한 복잡한 장비와 구조물에서 핵물질의 분포에 대한 시스템의 접근이 제한되고, 사용후 핵연료를 다루는 핫셀은 고방사선 공간이므로 일반적인 검출기의 경우 성능의 저하가 심각하여, 실시간 측정이 불가능하다. 정확한 성분을 측정해 내는 기존방식은 시료의 샘플을 채취하여 실험실에서 오프라인으로 분석하는 방식을 사용하고 있다. 기존의 동위원소 분석을 위한 감마선 분석을 핫셀내에 적용할 경우 감마선 검출기는 고방사선으로 방사선에 의한 피로도 증가로 성능을 발휘할 수 없는 한계가 있다. 이러한 이유로 핫셀 내의 민감 핵물질을 포함한 방사성 동위원소의 실시간 측정은 어려움이 많다. 고방사선의 핫셀 환경에서 적용 가능한 검출기는 감마선에 민감도가 상대적으로 적은 기체형 중성자 검출기가 기술적으로 유일한 방안이다.

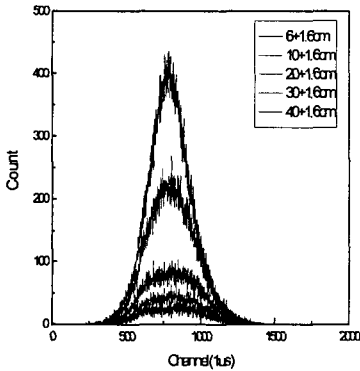


그림 1 중성자원 거리에 따른 위치분포

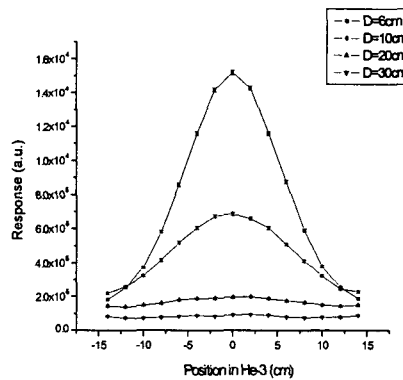


그림 2 거리에 따른 중성자 위치분포 이론치

핵물질의 공간 분포 측정 장치는 중성자의 손실공정 핵물질 공간구조를 알기위하여 위치 민감형 He-3 중성자 검출기를 이용하여 측정 원리를 실증과 대형 중성자 스캐너 시작품이 제작하여 성능과 특성을 평가하였다. LND사의 위치민감형 He-3 tube를 이용하여 핫셀용 2차원 중성자 스캐너를 제작하였다. 중성자 검출기 제원으로는 유효 지름 1 inch, 유효 길이 10 inch, 압력 4기압이며, 중성자 검출기는 고순도 폴리에틸렌으로 차폐하여 중성자의 감도를 증가시켰다. 스캐너의 검출기 부분은 스텝모터로 구동되며, 2차원 스캔을 통하여 중성자 분포를 얻도록 제작되었다. 중성자원으로는 Cf-252 중성자원을 사용하였다. 그림 1은 중성자의 거리에 따라 측정된 중성자원의 분포에 대한 실험 결과이며, 그림 2는 MCNP로 계산된 중성

자 분포이다. 그림 3은 중성자원을 스캔하여 얻은 공간 분포 영상이다.

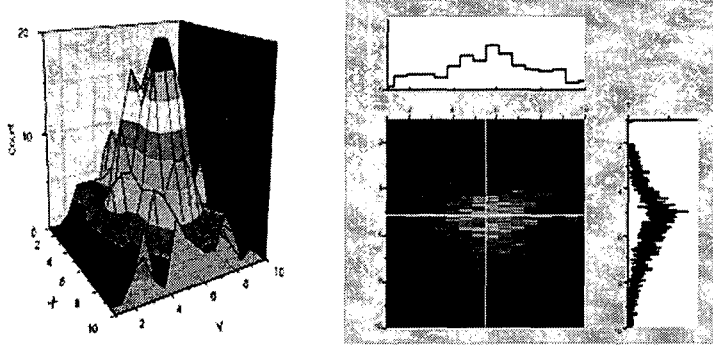


그림 3 중성자원 Cf-252를 측정 한 자료와 방사선 영상

He-3 중성자 검출원리로 부터 양성자와 삼중수소의 분리과정이 고유한 위치분해능을 발생시키는 것으로 나타났다. 검출기의 위치 분해능은 검출기 표면인 1.27cm에서 FWHM이 10.2cm로 측정되었으며, MCNP 코드 계산 결과와 일치하였다. 또한 중성자의 효율을 증가시키기 위한 HDPE 두께에 따른 위치분해능효과를 측정한 결과 위치분해능은 두께에 따라 차이가 없었다. 이러한 결과는 중성자원에서 발생한 중성자가 HDPE를 통과하여도 초기 방향으로 중성자가 진행하는 것으로 이해되며, 장치 구성 시 중성자 효율을 극대화하기 위한 HDPE 삽입하여도 영상의 분해능에는 영향이 없으면서도 중성자 측정효율을 높이는 것이 가능한 것으로 밝혀졌다.

\*본 연구는 과학기술부 원자력증장기 과제의 지원으로 수행되었음.