

사용후핵연료 내 Pu/U 핵종비 정량 분석을 위한 계측장치 최적설계

이상화, 배진형, 정진영, 황주호, 허균영
 경희대학교, 경기도 용인시 기흥구 서천동 1번지
 guitar87@naver.com

1. 서론

재처리 공정에서 가장 중요한 문제 중 하나가 사용후핵연료내에 존재하는 Pu를 계량화하는 것이다. 오늘날 가장 많이 사용되고 있는 재처리 공정은 PUREX 시스템으로 Pu-239를 대량추출 할 수 있다. 그에 반하여 Pyroprocessing은 순수 Pu를 분리 할 수 없어 핵확산 금지 조약의 목적에 부합된다. 하지만 현재 플루토늄 계량기술은 PUREX 공정에 맞추어져 있으므로 차세대 재처리 공정인 Pyro 공정에서의 계량기술개발이 필요하다.

사용후핵연료내에 존재하는 핵분열생성물이 많은 양의 강한 감마선을 방출하므로 Pu의 감마선을 측정하는데 어려움이 있다. 하지만 사용후핵연료내에서 Pu와 U의 X-Ray Fluorescence(XRF)가 유발되어 K x-ray가 발생하는데 이 방사선으로 Pu와 U의 핵종비를 결정 할 수 있다.[1] 사용후핵연료 내에는 U 96%, Pu 1%로 U의 양이 상대적으로 많아 Pu의 x-ray 계측시 U의 x-ray로 인하여 간섭을 받아 계측이 어렵다. 그러나 Pu의 $K_{\alpha 1}$ x-ray(103.7 keV)는 U의 x-ray와 비교적 잘 구분이 되어있어 최적화 된 계측기 시스템을 이용하여 계측이 가능하다. 따라서 본 연구에서 Pu의 $K_{\alpha 1}$ x-ray를 계측 할 수 있는 최적의 검출기 시스템을 몬테카를로 방법론의 컴퓨터 코드를 이용하여 설계하였다.

2. 본론

2.1 계측기 시스템

시스템 설계 대상으로는 한국원자력연구원에서 사용 중에 있는 감마선 계측기를 선택하였다. 검출기 모델은 EGPC-20로 동축 P형 HPGe 검출기이다. 이 검출기는 hot cell 안에서 원격조종으로 제어되고 있다. 이 시스템에는 선원 받침대가 수직으로 이동이 가능하여 검출기와 선원 사이의 거리는 410~980 mm까지 조정 가능하다. 또한 시준기는 1차와 2차 시준기, 두 개로 이루어져 있다.

2.2 시뮬레이션

계측기 시스템 시뮬레이션에는 몬테카를로 코드인 Monte Carlo N-particle(MCNP) 코드를 사용하였다.[2]

먼저 계측기의 기하학적 구조에 관한 시뮬레이션을 진행하였다. 그 결과는 Fig. 1에 Visual Editor로 묘사되어있다.

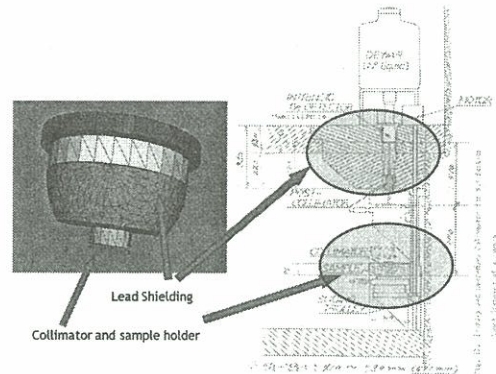


Fig. 1. Design of HPGe and simulated detector by MCNP

선원의 디자인은 Fig. 2에 나와 있다. Fig. 2에는 실린더 형태의 시편의 단면도이다. Void로 설정한 공간은 F2 tally를 적용하기 위해 실제 시편에는 없는 공간을 임의로 생성하였다.

계산 시에는 광자를 고려하여 계산하였고 구성물질 재료에 대한 성분과 물리량의 정보는 문헌 조사를 통하여 자료 수집 후 입력하였다.

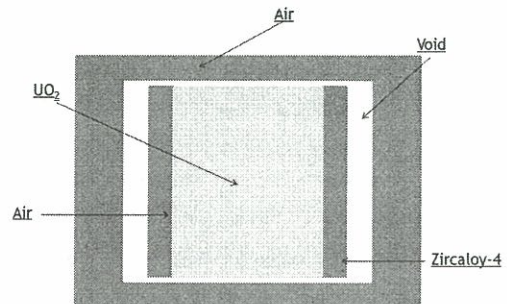


Fig. 2. Design of spent fuel source

Tally는 F2와 F8을 사용하였다. F8은 계측된 방사선의 파고 스펙트럼을 보기 위하여 사용되었고 F2는 사용후핵연료 시편 표면에서의 표면 플러스를 측정하여 선원에서 계측기로 이동하는 방사선을 미리 측정하여 시뮬레이션 된 선원에 문제가 있는지 알아보기 위하여 사용되었다. 그리고 이력수는 20억으로 설정하여 상대오차를 5% 이내로 만들었다.

2.3 결과 비교 분석 방법

98.44 keV를 갖는 U의 $K_{\alpha 1}$ x-ray는 비슷한 에너지 영역의 피크들과 비교하여 상대적 효율이 높으므로 이 피크를 기준으로 설정하였다. 이 피크를 이용하여 103.7 keV x-ray와의 비율을 K로 정하여 K값이 작은 경우를 선택하였다.

$$K = \frac{\text{count number of U } K_{\alpha 1} \text{ x-ray}}{\text{count number of Pu } K_{\alpha 1} \text{ x-ray}} \dots\dots\dots (1)$$

2.4 MCNP 시뮬레이션 결과

모의모사는 사전 계산을 통해 수십 가지 경우의 수로 축소하여 계산 하였다. 그 결과 시준기의 재료로는 스테인리스강(type-431)의 K값이 4.5405로 납이나 로제함금 보다 작게 나왔다. 시준기의 종류로는 다공 시준기가 단공과 slit형 시준기에 비하여 K 값이 평균 1.0000 낮은 3.8235로 가장 낮았다. 시준기 구멍의 크기로는 반경 0.45 cm가 적합할 것으로 판단했다. Fig. 4.에서 보듯이 다른 반경에 비해서 반경이 0.45 cm일 때 K 값이 가장 낮게 나왔다.

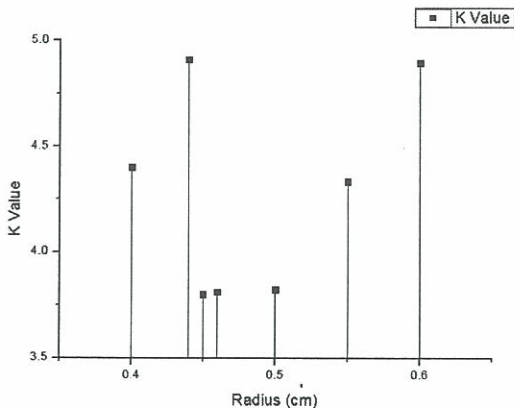


Fig. 3. K value for each radius

K값이 가장 작은 경우를 종합하여 스테인리스강

으로 된 반경 0.45 cm의 다공 시준기로 모의 모사한 결과는 Fig. 4.에 나와 있다.

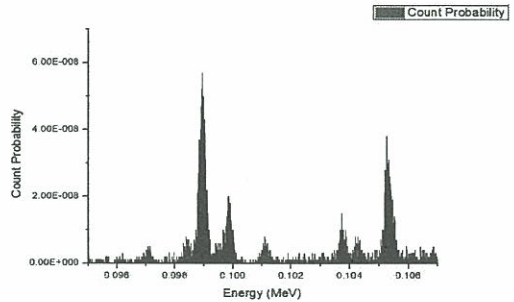


Fig. 4. Pulse height using optimized system

3. 결론

본 연구에서는 사용후핵연료 내 Pu의 $K_{\alpha 1}$ x-ray 계측을 위한 계측 시스템을 최적화 하였다. 본 연구결과를 바탕으로 Pu $K_{\alpha 1}$ x-ray(103.7 keV) 피크의 계측이 가능 할 것으로 보인다. 본 연구를 통하여 유사 핵연료주기 공정의 안전조치 및 품질관리, 품질보증 등의 기술에 적용가능하고 차세대 관리공정의 반입물질이 되는 사용후핵연료의 특수 핵물질 계량관리에 활용 될 수 있을 것으로 판단된다. 현재는 외국의 기술에 의존하고 있는 반면에 본 연구에서 최적설계 한 계측기 시스템으로 XRF를 계량 기술로 사용하면 향후 외국기술 수준에 근접할 것으로 판단된다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 원자력기술개발사업 및 원자력인력양성 과제의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

[1] D. Reilly, N. Ensslin, and H. Smith, Passive Nondestructive Assay of Nuclear Materials, United States Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, NUREG/CR-5550, 1991.
 [2] D. B. Pelowitz, et al. "MCNPX2.7A Extensions", LA-UR-08-07182, Los Alamos National Laboratory, 2008.