

핵분열기체 Xe의 WDS 피크 보정

권형문, 서항석, 이형권, 양용식, 장정남, 주준식, 전용범
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
diango@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료 소결체 기지 내에는 핵분열생성물인 Xe이 고용화되어 있다. Xe은 불활성기체로서 기지 내에서의 확산, 버블의 형성, 결정립계를 통한 방출 등을 통해 소결체를 벗어나 연료봉의 플레넘 영역으로 이동하여 봉내압 상승을 유발한다. 핵분열기체의 방출율은 연료봉 성능에 있어 매우 중요한 인자이며 설계요건이 된다.

핵연료 성능 예측의 기초자료로 활용될 수 있는 연료봉 반경방향 혹은 축방향에 따른 국부적인 핵분열기체 방출 정보는 미소영역의 핵분열기체 정량을 측정하여 획득할 수 있다. 연소도 지표 원소인 Nd를 통해 대표적인 핵분열기체인 Xe의 생성량을 평가하고 Xe의 미소 정량분석 결과를 비교하면 해당 위치의 국부적인 방출율을 산출할 수 있는 것이다. 하지만 국내에서는 아직 Xe의 미소 정량분석을 수행한 예가 없다.

한국원자력연구원 조사후시험시설에 설치되어 있는 차폐형 전자현미경에 WDS를 추가 설치함에 따라 사용후핵연료에 대한 미소 정량분석이 가능하게 되었다. 본격적인 WDS 정량분석에 앞서 피크 보정이 선행되어야 한다. 단 두개의 원소에 대한 피크 보정만으로도 전체 X선 스펙트럼에 대한 보정이 가능한 EDS와는 달리 WDS는 정량분석하고자 하는 모든 원소에 대하여 피크 보정을 해야한다. EDS의 피크보정이란 X선에 의해 여기된 전자의 전하량을 측정하는 과정에 대한 보정이라면 WDS의 피크보정은 검출기와 크리스탈을 구동하는 모터에 대한 보정이다. EDS는 X선 에너지를 전하량으로 판단하는 반면, WDS는 검출기와 크리스탈의 위치로 판단하기 때문이다. 문제는 각 원소의 피크 보정을 위해 해당 원소의 표준시편이 필요하다는 것이다. 순수 Xe은 기체형태이므로 전자현미경 시편 제작이 불가능하며, 현재 기술로는 원하는 정확한 양의 Xe을 매우 균질하게 어떤 고체에 고용화하기 어렵기 때문에, 사실상 Xe 표준시편의 제작은 불가능하다. 이번 연구는 Xe 피크에 대하여 WDS를 피크 보정하기 위한 방법을 고찰하고 1차적인 보정 과정을 통해 그 가능성을 평가하였다.

2. 평가 및 결과

Xe의 $K\alpha_1$ X선 에너지는 29.782 keV이고 $L\alpha_1$ X선 에너지는 4.106 keV이다.(표 1 참조) 차폐형 전자현미경은 Philips XL-30 LaB6 타입으로 최대 가속전압이 30 keV이므로 해당 원소의 X선 에너지가 15 keV 이하여야 충분한 X선을 발생시킬 수 있다. 따라서 $L\alpha_1$ X선 피크를 Xe 원소분석에 활용하고 2.006 ~ 6.552 keV 에너지대를 검출할 수 있는 PET 크리스탈을 diffractor로 사용하였다.

Xe의 $L\alpha_1$ X선 피크를 보정하기 위해 인근 원소의 보정값을 활용하는 방법을 검토해 보았다. 보정값이란 검출기와 크리스탈 구동모터의 보정값으로 시편과 크리스탈, 검출기가 로랜드원 안에 물리적으로 고정된 궤도를 따라 움직인다고 가정할 수 있으므로, 보정값은 X선 에너지값 변화에 일정한 경향으로 보일 것으로 판단되기 때문이다. 표준시편이 모두 확보되지 못한 상황에서 1차적인 예비 피크 보정을 수행하였다. 결과는 표 2와 같다.

표 1. Xe 근처 원소의 X선 에너지

원자번호	원 소	X선 에너지 (keV)	
		K α 1	L α 1
50	Sn	25.271	3.444
51	Sb	26.359	3.605
20	Ca	3.690	0.341
52	Te	27.472	3.769
53	I	28.612	3.938
21	Sc	4.088	0.395
54	Xe	29.782	4.106
55	Cs	30.973	4.286
56	Ba	32.194	4.466

표 2. Xe 근처 원소의 X선 피크 보정값

원소	원자번호	Bragg angle	피크 에너지 keV	Shell	보정값 (degree offset)	
					크리스탈	검출기
Sc	21	20.2887	4.088	K α 1	-1.5031	0.1198
I	53	21.1141	3.937	L α 1	-1.5112	0.1189
Te	52	22.1037	3.769	L α 1	-1.5739	0.1124
Sb	51	23.1731	3.604	L α 1	-1.6237	0.1025

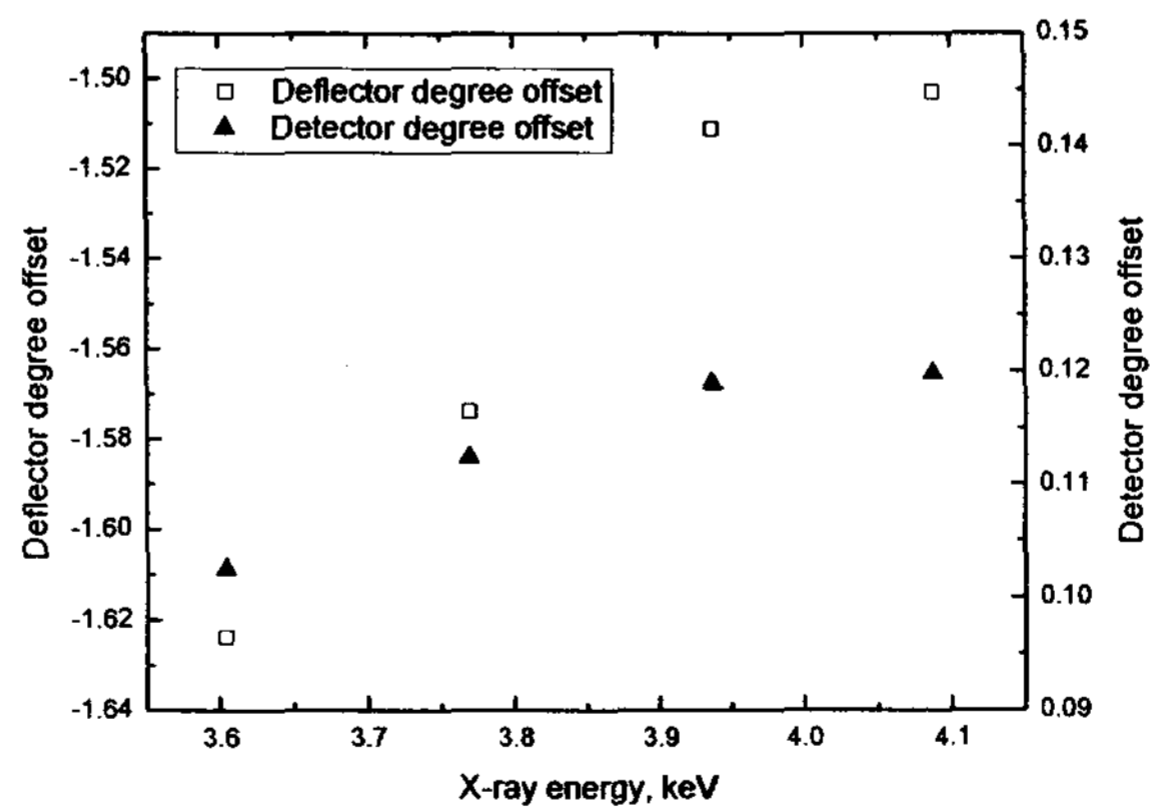


그림 1. X선 에너지에 따른 크리스탈 및 검출기 보정값

보정 결과, 피크에너지에 따라 보정값은 일정한 경향을 보임을 확인할 수 있었다. Xe은 I과 Cs 사이의 원소로 각 보정값의 내삽을 통해 Xe의 보정값을 얻을 수 있을 것이다. 1차 예비 보정을 통해 그 가능성을 확인하였다.

3. 결론

본 연구는 사용후핵연료 기지 내에 존재하는 핵분열기체 Xe을 WDS로 정량분석하기 위한 선행

연구로, 표준시편이 존재하지 않는 Xe의 피크 보정방법에 관한 연구이다. PET 크리스탈로 검출할 수 있는 4개 원소에 대해 피크 보정값을 산출하여 X선 에너지에 따라 보정값이 일정한 경향을 보임을 확인하였다. 이에 따라, Xe 뿐만 아니라 핵분열기체인 Kr, 핵확산저항성 정책에 따라 취급이 어려운 Pu에 대한 피크 보정도 가능할 것으로 판단된다.