

사용후핵연료 표준물질 제조 기술성 평가를 위한 분석

류호진, 박근일, 조광환, 이태훈, 김호동, 송기찬
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
hirvu@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료 내에 존재하는 핵물질의 계량 및 안전조치를 위해 감마선 분석이나 중성자 계측기를 이용한 비파괴분석법(Non-Destructive Assay, NDA)이 사용되고 있다. 중성자 계측기의 성능시험은 Cf 선원에 의해서 얻어질 수 있으나, 다량의 사용후핵연료를 사용하는 고방사성 핫셀 내에서 multiplicity 효과에 의한 계측기의 성능시험은 사용후핵연료의 형태나 연소도에 따른 계측치의 변화를 반영할 수 있는 표준물질에 의해 검증되어야 한다. 사용후핵연료는 연료봉 길이방향 위치나 소결체 반경방향 위치에 따라 연소도가 균일하지 않기 때문에 발전소 이력자료에 의해 코드 값으로 계산된 시료는 표준물질로 사용하기에 적합하지 않을 것으로 판단된다. 사용후핵연료를 혼합 가공하여 시편을 만든 후 감마 측정과 화학분석을 병행하여 공인된 사용후핵연료 표준물질을 만들 수 있다면, 사용후핵연료의 형질을 변형하는 핵연료주기 시설의 핵물질 계량을 위한 계측기의 신뢰도를 향상시킬 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 사용후핵연료 표준물질 제조의 기술성을 평가하고자 한다.

2. 기술 현황 분석

비파괴 분석법은 시료 준비 및 분석에 오랜 시간이 걸리는 화학분석법을 보완할 수 있으므로 사용후핵연료의 연소도, 냉각기간, 초기농축도와 같은 속성을 검증하거나, 사용후핵연료 내에 존재하는 핵물질 함량을 정량적으로 측정하기 위해 널리 사용되고 있다. 핵물질의 정량 분석은 사용후핵연료의 연소도를 평가한 후 핵물질 함량을 코드로 계산하는 방법과 직접 일부 핵물질의 함량을 측정하는 방법이 있다.

감마선 분석법을 이용하면 핵분열생성물 동위원소들의 비율을 이용하여 사용후핵연료의 연소도, 조사 이력이나 냉각 기간 등을 측정할 수 있다. 그러나 기존에 널리 사용되는 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 비율에 의한 연소도 평가법은 50 GWd/t 이상의 고연소도에서는 오차가 큰 것으로 알려져 있다. 그림 1과 같이 PIEF에서 보관중인 K23집합체의 B16연료봉(울진#2)의 경우 노심 운영 코드에 의한 계산 연소도와 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 비율에 의한 측정 연소도 사이에 20% 정도의 차이를 보이고 있다. 따라서 감마선 분석에 의한 연소도 측정의 오차를 줄여서 핵물질 함량 계산의 정확도를 높이는 것이 필요한 실정이다.

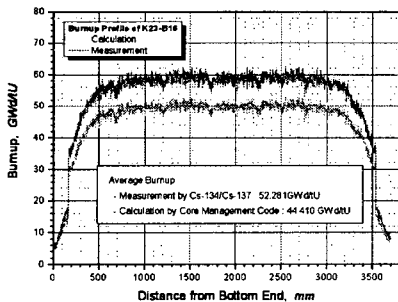


그림 1. K23-B16 연료봉 연소도 측정 결과

사용후핵연료에서 방출되는 중성자는 Cm-244의 자발핵분열에 의한 중성자가 대부분이다. 중성

자 계측기로 사용후핵연료를 계량하는 것은 중성자 측정을 통해 Cm-244의 질량을 측정하고 화학 분석을 통해 얻어지는 Pu/Cm, U/Cm의 질량비를 이용해 Pu, U의 질량을 정량 분석하게 된다. 중성자에 대한 계측 효율에 대해서는 표준선원을 사용하여 보정이 가능하지만 이는 계측에 대한 품질 보증일 뿐 핵물질의 정량분석에 대한 보정을 제공하는 것은 아니다.

핵물질 정량분석 보정을 위한 사용후핵연료 표준 시료의 자격 요건을 정리해 보면 다음과 같다. 첫째, 화학분석을 위한 샘플링 오차를 최소화하기 위해서는 표준시료의 구성이 균질해야 한다. 둘째, MCNPX 코드 시뮬레이션을 위해서는 표준시료의 정확한 물리적(밀도, 무게), 화학적(분자식) 명세가 있어야 한다. 셋째, 표준시료에 포함되어 있는 Cm-244 및 주요 핵분열성 악티나이드 원소들의 정확한 함유량 정보가 있어야 한다. 넷째, 교정곡선 생산을 위해 다양한 질량의 표준시료가 준비되어야 한다.

3. 사용후핵연료 표준물질 제조 흐름도

현재 한국원자력연구원에서는 27GWd/t에서 65GWd/t 연소도 범위의 사용후핵연료를 보유하고 있으므로 화학분석 결과와 NDA 분석 결과의 비교를 통해 연소도에 따른 핵물질 계량 특성을 평가할 수 있을 것으로 판단된다. 그림 2와 같이 중성자 계측 결과와 감마선 분석 결과 및 화학분석 결과 간의 상호 검증을 통해 NDA 범을 통해 사용후핵연료의 계량 및 안전조치를 수행할 수 있는 상관관계를 확립하고자 한다. 또한 사용후핵연료를 반복적인 산화-환원 공정을 통해 직접 재가공하는 건식재가공 공정을 사용하면 균일한 성분을 가지는 분말 및 소결체를 제조할 수 있기에 사용후핵연료 표준물질 제조에 적합할 것으로 기대된다.

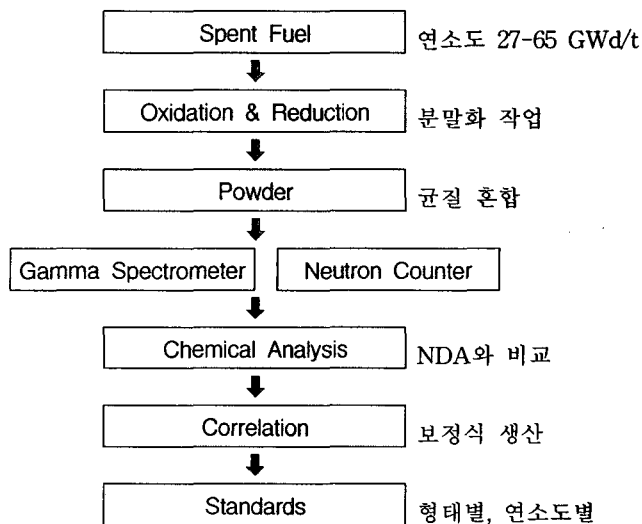


그림 2. Flow chart for fabrication of spent fuel standard

참고문헌

1. C. Willman et al. Annals of Nuclear Energy, 33 (2006) 427.
2. S. Caruso et al. Annals of Nuclear Energy, 34 (2007) 28.
3. IAEA, Safeguards Techniques and Equipment, 2003
4. ESARDA NDA Working Group