

Cs-134/Cs-137 감마 측정을 이용한 사용후핵연료 분말 혼합 균질도 분석

한보영, 나상호, 신희성, 김호동, 이도연, 이영순, 박근일
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 대덕대로 1045
 byhan@kaeri.re.kr

1. 서론

KAERI에서 IAEA 회원국지원프로그램을 통해서 제안된 기준 파이로 시설은 10tHM 사용후핵연료를 처리할 수 있는 공학규모 개념 시설로써 안전조치가 가능한 시스템을 제시하였다 [1]. 제시된 개념 시설에서는 파이로시설의 정확한 계량관리와 미계량물질의 측정 불확도를 줄이기 위해 다른 연소도 분포를 가진 사용후핵연료 집합체를 분말화하여 가능한 균일한 플루토늄이 분포하도록 하는 균질화 공정을 제시하였다. 제안된 균질화 공정의 필요성을 검증하고 있으며 [2] 균질도 높이기 위한 요구조건을 찾기 위해 균질도 측정 실험이 진행되어 왔다. 본 연구는 파이로시설의 안전조치 이행을 위한 핵물질 계량 측정 시료 채취 시 발생할 수 있는 오차 영향을 알아보기 위해 사용후핵연료 분말 혼합 균질도 측정 실험을 분석하였다.

2. 본론

2.1 사용후핵연료 균질도

사용후핵연료 연소도 분포는 원자로에서 연료의 위치에 따라 연소도 차이가 보이는 것으로 알려져 있다. 연소도의 차이는 연료봉안에 플루토늄을 포함한 주요 핵종들의 분포가 다르다는 것을 의미한다. Fig. 1은 울진 3호기에서 발생한 연료봉(HA03D15, 57GWd/tU, 4.49wt%U-235)을 감마스캔한 연소도 분포를 연료봉의 길이 방향으로 살펴보았다. 그림에서 보는 것과 같이 연료봉의 양쪽 끝부분은 연소가 30GWd/tU 근처로 가장 낮고 중앙부분으로 갈수록 연소도가 증가하여 60cm부터 300cm까지는 고연소(약 60GWd/tU)로 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다. 따라서 파이로 공정을 위해 사용후핵연료를 탈피복하여 분말화하였을 때 분말 위치에 따른 핵종 분포의 차이가 예상된다. 사용후핵연료 비균질성을 분말 혼합 공정 실험을 통해 혼합시간에 따른 균질도를 측정하고자 한다.

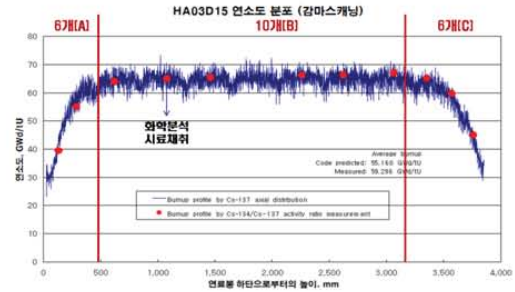


Fig. 1. 사용후핵연료 연료봉 높이에 따른 연소도 분포. 높이 따라 세 개의 균으로 나눔.

사용후핵연료 분말안에 분포된 핵종 균질도는 단위체적당 함량이 위치에 따라 변하는 정도를 의미하며 식 (1)에서 보는 것과 같이 무작위 시료를 채취하여 표본집단의 실험표본편차로부터 추정을 통해 실제 사용후핵연료 분말의 핵종 균질도를 측정한다.

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (1)$$

2.2 사용후핵연료 분말 혼합 균질도 측정 실험

각 연료봉 별로 rod-cut 길이는 감마스캐닝에 의한 연소도 profile 측정 자료를 기준으로(Fig.1), 연료봉 좌·우측 연소도 감소 영역은 약 10 cm로 절단하고, 연소도가 균일한 영역은 약 25cm로 절단하였다. 연료봉 좌측(10 cm 6개, A군), 중앙부위(25 cm, 10 개, B군), 우측(10cm, 6개, C군) rod-cut의 기계적 탈피복후 폐피복관을 산화 조건은 500℃ 공기 분위기하에서 10시간으로 모두 동일하게 적용하였다. 연소도별 좌측, 중앙부, 우측 각각의 영역에서 제조된 산화분말을 Fig. 2와 같이 DUPIC 핵연료 제조공정용 1 ℓ 혼합기를 이용하여 회전수 35rpm으로 각각 혼합한 후 시료를 무작위 채취하여 Cs-134/Cs-137 감마핵종을 측정함으로써 혼합에 따른 균질도 평가를 수행하였다. 세 영역에서의 별도 혼합시험이후각 영역(A,B,C) 분말을 전체 혼합(D군)하고 샘플링하여 세슘 감

마핵종 측정에 의한 혼합 균질도 평가를 수행하였다. 감마핵종 분석을 위한 샘플링 방법을 보면, 분석 시료의 총 개수는 70개로서 혼합이 완료된 산화분말 전체를 넓은 Tray에 붓고 분말의 층을 고르게 펴고 분석시료를 채취하였다 [3].

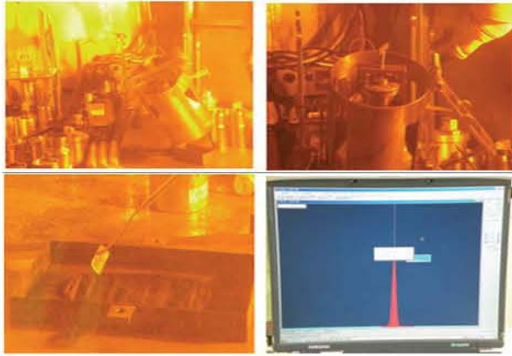


Fig. 2. 핫셀안 혼합장치를 이용한 사용후핵연료 분말 혼합(위)와 샘플링을 통한 감마핵종 분석(아래).

2.3 감마스캐를 이용한 균질도 분석

세슘 감마핵종 측정은 Cs-134와 Cs-137의 동위원소를 동시에 측정하여 그 Cs-134/Cs-137의 비율값으로 혼합시간별 샘플수에 대한 실험표준편차를 구했다. Cs-134/Cs-137의 비율은 연소도를 결정하는 측정인자이며 샘플링을 통해 발생할 수 있는 계통오차를 서로 상쇄할 수 있어 균질도 측정의 오차를 줄일 수 있다. 먼저 각 연소별 A,B,C군의 분말을 2시간 혼합 후 20g씩 5개 감마 측정 시료를 채취하고 다시 2시간 혼합 후 다시 20g씩 5개의 시료 채취 후 감마 측정이 이루어졌다. 이후 A,B,C군 분말을 다 혼합하여 D군 시료를 만들고 1시간 간격으로 10개 시료를 채취하여 감마측정을 수행하였다.

Table. 1. 혼합시간에 따른 사용후핵연료 위치별 감마 핵종비 평균값 및 실험표준오차.

혼합 시간	Cs-134/Cs-137			
	A 군 (하단부)	B 군 (중앙부)	C 군 (상단부)	D군 (혼합)
1	-	-	-	0.5362 ± 0.0444
2	0.4735 ± 0.0010	0.5563 ± 0.0034	0.4966 ± 0.0020	0.5241 ± 0.0052
3	-	-	-	0.5267 ± 0.0034
4	0.4797 ± 0.0030	0.5601 ± 0.0010	0.4976 ± 0.0014	0.5260 ± 0.0034

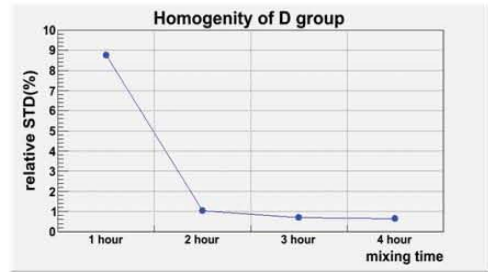


Fig. 3. 사용후핵연료 전체 분말 혼합 시간에 따른 Cs-134/Cs-137 균질도 분포.

Table 1에서 혼합시간별 Cs-134/Cs-137 비율 측정값에 대한 각 샘플들의 평균값과 실험표준오차를 보여준다. 연소도와 Cs-134/Cs-137비율이 선형적 증가되기 때문에 고연소도 분말이 많은 B군이 높은 비율을 나타내며 2시간 혼합 이후 각 A,B,C군들의 균질도는 약 0.6% 보였으며, D군의 혼합분말의 경우 1시간 혼합 후 약 8.9%, 그리고 2시간 혼합 후 약 1%, 3시간 혼합 후 약 0.7%, 4시간 후 0.6% 정도를 보였다 (Fig. 3).

3. 결론

본 연구를 통해서 사용후핵연료 연료봉의 연소도 분포에 따라 발생할 수 있는 균질도 영향을 분석하기 위해 분말을 혼합하여 균질도를 측정하였다. 세슘 감마 측정을 통해 추정된 균질도는 1시간 혼합 후 약 8.9%이며 2시간 혼합 후에는 1%이하였다. 균질도 측정은 입도 분포, 측정 시료의 크기, 시료 채취 방법과 혼합시간 등이 중요한 요소로 분석되며, 추후 각 시료들에 대한 화학분석을 결과를 통해 정밀한 분석을 수행 할 것이다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었다.

5. 참고문헌

[1] 김호동 외 7명, “기준파이로시설에 대한 핵물질 계량관리 시스템 설정”, KAERI/TR-4294, 2011.