

PWR 사용후핵연료봉 내압 및 공간체적 측정시험 평가

이형권, 서항석, 전용범, 민덕기, 권형문, 황용화
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
 nhkleel@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료봉 내압 측정시험 자료는 핵연료 설계에서 열적·기계적 특성을 분석하는데 필요하다. 특히 핵연료의 경제성을 확보하기 위하여 수명을 연장하는 고연소 핵연료에서는 더욱 더 중요하다. 핵분열기체는 연소도 증가함에 따라 생성량이 증가되며, 이로 인하여 연료봉내의 압력을 증가시키고 한계점에 도달하면 피복관이 파손되어 핵연료의 기능이 상실된다. 또한 핵분열기체의 누출은 원자로 안전성에도 영향을 미치게 된다. 그러므로 핵연료의 수명을 연장시키고 안전성을 확보하기 위해서는 핵연료봉 내압측정시험 평가 자료가 필요하게 된다. 그리고 조사된 핵연료의 건전성 평가와 저장·관리를 위해서도 필요하게 된다.

2. 본론

2.1 실험

실험은 시험장치에 연료봉을 장전한 후 연료봉의 공간체적을 결정하기 위한 선행조건으로 질소가스를 이용하여 천공용기체적을 측정하여야 한다. 그 이유는 연료봉의 공간체적은 천공전과 천공후의 천공용기체적의 차로 구하기 때문이다. 천공용기 체적 측정이 완료된 후에서 실험에 적합한 진공도까지 도달하면 핵연료봉을 유압식편치로 천공한다. 이때 천공된 핵연료봉에서는 핵분열기체가 천공용기로 방출되어 팽창하게 되며, 어느 정도의 시간이 경과되면 천공용기내의 압력이 평형을 이룬다. 그리고 다음단계로 표준용기에 핵분열기체를 팽창시키며 어느 정도의 시간이 경과되었을 때 표준용기내의 핵분열기체 압력은 안정화를 이루게 된다. 이러한 과정에서 측정된 데이터로부터 사용후핵연료봉의 봉내압, 공간체적 및 핵분열기체량을 결정할 수 있다.^[1]

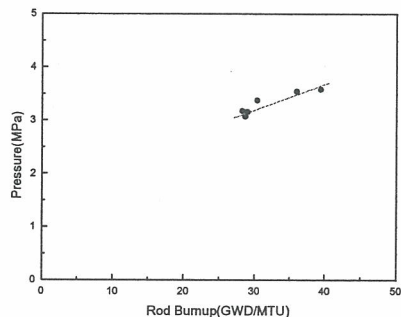
2.2 실험결과 및 고찰

사용후핵연료봉에 대한 내압측정시험과 핵분열기체의 성분분석시험을 수행하였다. 표1은 시험 연료봉에 대한 봉내압, 공간체적, 기체량 및 핵분열기체의 성분을 나타낸다.

Table 1. Results of puncturing test and mass spectrometric analysis.

연료봉 No.	봉내압 (kPa)	공간체적 (cm ³)	기체량 (cc)	Xe (cc)	Kr (cc)	FFGR (%)
1	3,582	17.62	581.4	7.84	3.19	0.42
2	3,544	20.17	657.3	11.47	5.15	0.70
3	3,072	22.88	654.8	12.97	2.22	0.81
4	3,174	22.55	658.2	-	-	-
5	3,157	21.49	623.9	8.6	0.75	0.49
6	3,377	22.59	701.1	31.96	5.25	1.87

일반적으로 사용후핵연료봉의 내압은 연소도가 증가할수록 핵분열기체의 누출이 증가하여 압력이 상승하는 것으로 알려져 있다. Fig. 1은 연소도에 따른 사용후핵연료봉의 내압과 공간체적의 변화를 나타내었다. 핵연료봉의 내압은 연소도가 비슷한 값을 갖는 연료봉에서 거의 비슷하였으며, 연소도가 증가하면 봉내압은 증가하나 연소도가 증가한 만큼 직선적으로는 변화되지 않았다.



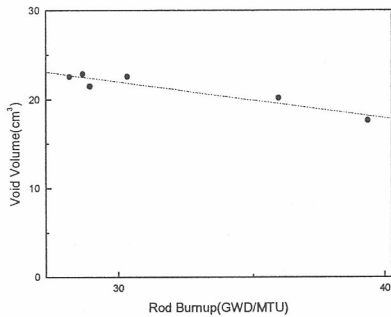


Fig. 1. Internal pressure and void volume of fuel rods as a function of rod burn-up.

사용후핵연료봉의 공간체적은 연소가 진행됨에 따라 펠렛의 고밀화(densification)에 의해서 증가하다가 다시 팽윤(swelling)에 의해서 체적이 감소하게 된다. 또한 팽윤으로 인하여 핵연료봉의 피복관과 펠렛 사이의 직경방향 갭(gap)이 감소하게 된다. Fig. 1의 결과에서 핵연료봉의 연소도가 증가함에 따라 공간체적은 거의 직선적으로 감소하는 것으로 나타났다.

3. 결론

가압경수로형 핵연료봉에 대한 봉내압, 공간체적 및 핵분열기체량 측정시험과 기체 성분분석시험을 수행하였다. 시험결과, 핵연료봉 내압은 연소도가 증가하였을 때 증가하였으며, 공간체적은 연소도가 증가할수록 직선적으로 감소하는 것으로 나타났다. 핵분열기체 성분분석결과 Xe과 Kr의 비가 2.2 ~11.5배로 나타났으며, 핵분열기체 누출율은 0.42~1.87%로 나타났다.

4. 참고문헌

- [1] 이형권 외, “가압경수로 사용후핵연료봉의 핵분열기체포집장치 개발 및 모의핵연료봉을 이용한 시험평가”, 한국원자력학회 춘계학술 발표회 논문집, 2000.