

미세결합 핵연료봉의 핵분열기체포집

이형권, 서항석, 권형문, 황용화, 전용범, 손영준
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지
 nhkleel@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료봉의 내압 및 핵분열기체성분 분석자료는 핵연료 설계에 있어서 기본적으로 필요한 자료이다. 특히 핵연료의 봉내압은 핵연료의 수명과 직결되며 원자력발전의 경제성과 안전성을 확보하기 위해서는 더욱 중요하다. 그러므로 조사후시험에서 핵연료의 봉내압측정과 핵분열기체의 성분분석시험은 반드시 필요하다. 특히 핵분열기체가 일부 잔존해 있는 미세결합연료에 대한 시험도 필요하다.

2. 실험 및 결과

가. 실험

핵연료 봉내압측정시험 및 핵분열기체포집은 건전연료봉을 대상으로 시험하기 때문에 결합연료는 시험을 수행하지 않는다. 그러나 육안검사 및 비파괴검사를 수행하여 결합여부가 명확하지 않을 때에는 추가로 결합여부를 판단하기 위하여 연료의 봉내압 측정시험을 수행한다. 봉내압 측정은 그림 1에서와 같이 연료봉을 천공용기에 장전한 후 연료봉의 공간체적을 결정하기 위한 선행조건으로 질소가스를 이용하여 각 압력별 천공용기체적을 측정한다. 천공용기체적 측정 후 장치 내에 적절한 진공도까지 도달하면 펀치로 핵연료봉을 천공한다. 이때 천공된 핵연료봉에서는 핵분열기체가 방출되어 천공용기내로 팽창하게 되며, 어느 정도의 시간이 경과되면 천공용기내의 압력과 온도가 평형을 이룬다. 그리고 다음단계로 표준용기에 핵분열기체를 팽창시켜 어느 정도 시간이 지나면 압력과 온도가 안정화된다. 이러한 과정에서 측정된 데이터로부터 사용후핵연료봉의 내압, 공간체적 및 핵분열기체량을 결정할 수 있다. 미세결합연료의 경우 기체량이 매우적기 때문에 표준용기에 팽창시켜 봉내압을 측정하지 않고 천공용기내의 압력과 천공용기체적으로 기체량을 추정한다.

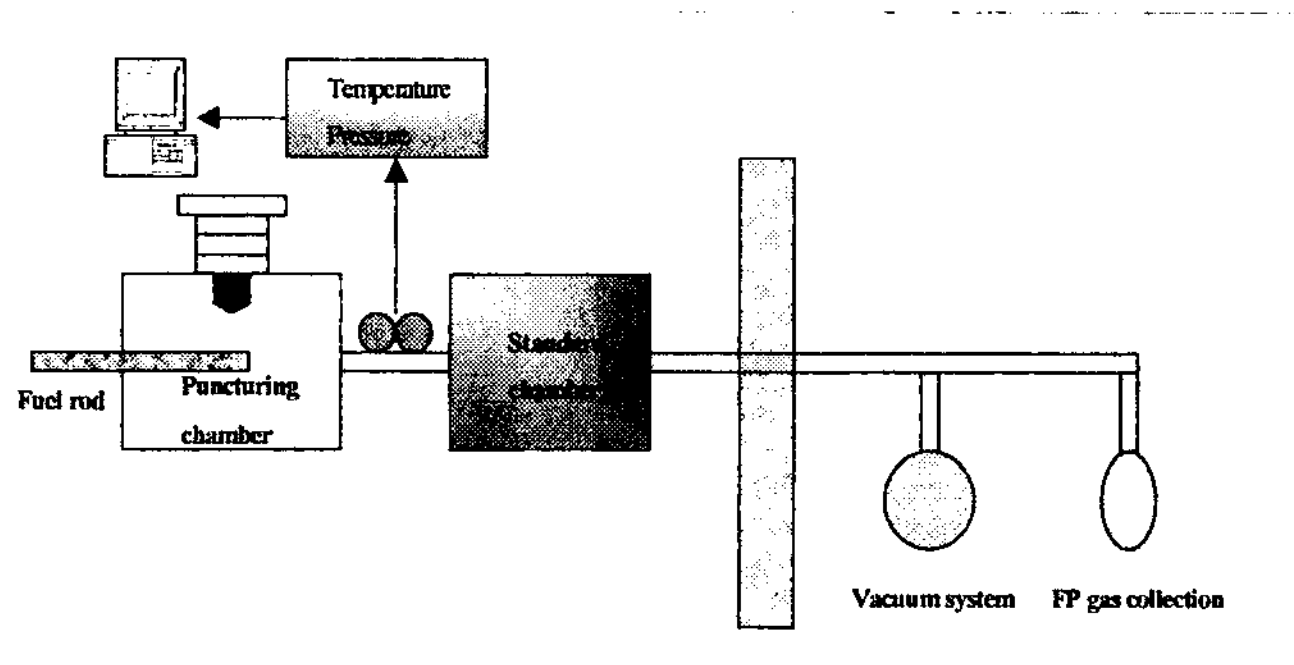


그림1. 핵연료봉 내압측정 및 핵분열기체포집장치.

나. 결과 및 고찰

표 1은 피복관에 미세결함이 있는 2개의 핵연료봉에서 포집한 핵분열기체의 성분을 나타낸다. 표 1에서와 같이 핵분열기체의 성분은 주로 Kr, Xe, N₂, O₂ 등으로 구성되어 있으며 핵연료 제조시 충전한 He은 분석되지 않았다. 그 이유는 핵연료의 연소도가 증가함에 따라 소결체의 팽윤과 피복관의 수축으로 인하여 소결체와 피복관이 결합되어 연료봉내의 기체의 유동을 차단하기 때문이다. 그중 유동성이 가장 큰 He은 소결체의 크랙(crack) 사이로 유동하여 미세결함이 있는 피복관을 통하여 방출되며 그리고 상대적으로 유동성이 작은 Kr, Xe, N₂, O₂는 연료봉 외부로 방출되지 않고 연료 plenum에 남아 있는 것으로 나타났다.

표 1. 미세결함 핵연료의 핵분열기체 성분

	핵분열기체의 성분 %(Vol.)					
	Kr	Xe	N ₂	O ₂	Ar	CO ₂
1	10.95	48.16	20.37	18.22	1.60	100.00
2	12.05	44.54	22.10	18.71	1.82	100.00

3. 결론

조사후시험을 수행함에 있어 육안검사 및 비파괴시험을 수행한 결과, 핵연료 피복관에 대한 결함여부가 불분명할 때는 연료봉의 내압측정시험을 수행함으로써 피복관의 결함여부를 명확하게 확인할 수 있었다. 그리고 연료봉의 피복관에 미세결함이 존재할 때는 유동성이 큰 헬륨만 방출되고 Kr, Xe, N₂, O₂ 등은 plenum에 남아 있는 것으로 나타났다.