

## 실험연료봉 내압 및 핵분열기체량 측정방안에 관한 연구

이형권, 서항석, 전용범, 민덕기, 권형문, 황용화, 장정남  
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045  
[nhklee1@kaeri.re.kr](mailto:nhklee1@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

사용후핵연료봉 내압 및 핵분열기체량측정시험 자료는 핵연료 설계에서 기계적 및 화학적 특성을 분석하는데 필요하다. 특히 핵연료의 경제성을 확보하기 위하여 수명을 연장하는 고연소핵연료의 시험에서는 더욱 중요하다. 그리고 새로운 핵연료를 개발하기 위한 실험연료봉의 건전성을 평가하기 위해서도 연료내의 기체압력과 핵분열기체량측정시험이 필요하다. 현재 조사후시험시설에서 사용 중인 핵분열기체포집장치는 핵분열기체량이 많은 가압경수로핵연료에만 전용으로 시험할 수 있다.<sup>[1]</sup> 실험연료봉의 경우 핵분열기체량이 매우 작기 때문에 실험을 수행할 수 없다. 그러므로 실험연료봉의 내압과 핵분열기체량을 측정하기 위해서는 실험연료봉에 적합한 새로운 장치를 개발, 기존 장치를 수정하여 시험하는 방안, 또는 시험방법을 변경하는 등 여러 가지 방안을 검토 및 평가하여 실험을 수행할 수 있는 방안을 마련해야 할 것이다.

### 2. 본론

#### 2.1 실험방안 검토

##### 2.1.1 실험연료봉 전용장치 개발방안

실험연료봉의 봉내압 및 핵분열기체량을 측정하기 위해서는 실험연료봉을 전용으로 측정할 수 있는 장치를 제작하여 실험을 수행하여야만 실험정밀도를 고려할 때 가장 이상적인 실험이라 할 수 있다.

사용후핵연료봉의 내압 및 핵분열기체량측정장치의 구성은 다음과 같다, 실험장치의 구성은 연료봉을 천공할 수 있는 천공장치, 장치의 내부를 진공시키는 진공장치, 기체의 온도와 압력을 측정할 수 있는 계측장치, 교정된 표준용기 등으로 구성되어 있다.

이 장치에서 압력계는 측정정밀도에 가장 영향

이 크며, 정밀도를 높이기 위해서는 대기압 압력의 이상을 측정할 수 있는 압력계를 사용한다. 그러므로 실험연료봉 핵분열기체의 양은 천공용기 및 표준용기의 체적보다 많아야 한다. 그러나 실험연료봉의 기체량은 가압경수로형의 연료봉에 비해 매우 적으로 천공용기 및 표준용기에서 측정된 압력은 대기압 이하로 나타난다.

새로운 장치를 제작할 경우 천공용기와 표준용기의 체적은 부품고유의 체적이기 때문에 체적을 감소시키는 방법보다는 기체의 온도를 높여 기체량을 증가시키는 방법을 선택하여야 한다. 또한 새로운 장치를 개발 및 제작하기 위해서는 개발 능력, 제작비용, 설치장소 등을 고려해야 한다. 우선 장치개발에 대한 능력은 기존장치의 개발경험을 보유하고 있으므로 가능할 것으로 판단된다. 그리고 제작비용측면을 고려할 때는 기존의 가압경수로형 전용장치보다는 부품이 많으므로 비용이 많이 소요될 것으로 예상된다. 또한, 설치장소는 현재 핫셀에서 사용되는 있는 가압경수로형 장치의 설치장소 이외는 조사후시험시설에는 설치할 장소가 없다. 그러므로 다른 시설을 이용하거나 핫셀 또는 철셀을 건설하여야 한다.

##### 2.1.2 기존장치에서 계측기 보완 방안

기존 핵연료봉 내압 및 기체량측정장치를 보완하여 실험을 수행하는 방안이다. 실험에서 연료봉의 내압과 기체량은 측정은 연료봉을 천공하기전과 천공후의 천공용기체적, 온도 및 압력데이터를 이용하여 계산하게 된다. 그러나 기존장치에서 실험을 수행할 경우 가장 문제점이 압력측정이다. 천공용기와 표준용기의 체적이 크기 때문에 기체의 압력은 진공압력이 측정된다. 기존장치에 설치되어 있는 압력계는 절대압력을 측정할 수 있는 압력계지만 진공부분 영역의 측정정밀도는 매우 낮다. 그러므로 정밀도가 높은 진공계로 교체하여 실험하는 방안이다.

이러한 방안을 채택하였을 때 가장 문제점은 측정정밀도가 낮아진다는 점이다. 그 이유는 진

공계의 정밀도가 절대압력계보다 낮고 교정이 불가능하다는 것이다. 절대압력계의 교정은 핫셀 밖에 교정된 압력계를 설치하고 장치의 기체공급라인과 연결하여 현장교정을 수행하여 계측기 건전성을 확인할 수 있는 이점이 있다.

### 2.1.3 기존장치에서 실험방법 변경방안

실험연료봉의 내압 및 기체량측정시험에서 가장 문제가 되는 점은 기체량이 적어서 압력측정 범위가 대기압력 이하인 진공압력 이기 때문이다. 그러므로 연료봉을 천공하였을 때 천공용기와 표준용기에서 기체의 압력을 대기압 이상의 압력으로 만들어 주는 것이다. 이러한 방법은 두 가지 정도로 나눌 수 있다. 첫 번째 방법은 천공용기와 표준용기의 체적을 기체량보다 작게 만드는 방법이다. 이 방법의 경우 기존 부품이 차지하는 있는 고유의 체적이 있기 때문에 실현 가능성이 없고, 제작상 어려움이 많다. 두 번째 방법으로는 실험연료봉을 천공하기 전에 헬륨이나 질소가스를 천공용기와 표준용기의 체적보다 약간 많게 넣는다는 것이다. 이럴 경우 압력측정을 대기압 이상에서 측정하므로 연료봉의 내압을 정밀하게 측정할 수 있다. 그러나 여기서도 문제점이 존재한다. 핵분열기체를 포집하여 화학분석을 수행할 때 핵분열기체와 다른 기체가 희석되어 기체의 정밀한 성분분석 여부가 불확실하다.

## 2.2 결과 및 고찰

실험연료봉의 내압 및 핵분열기체량을 측정하기 위하여 세 가지 방안을 검토하였다. 첫 번째 방안으로 새로운 장치를 개발하는 방안이다. 이 방안은 개발비용과 설치장소 때문에 제약을 받는다. 두 번째 방안은 첫 번째 방법보다 실현 가능성이 크나 측정정밀도가 낮을 것으로 예상되기 때문에 적합성이 결여된다. 실험장치가 핫셀 밖에 있으면 계측기 설치가 용이할뿐더러 다량의 모의 연료봉으로 측정정밀도에 대한 성능실험이 가능하나 시험장치가 핫셀 내부에 설치되어 있기 때문에 현실성 다소 떨어진다. 세 번째 방법은 핵분열기체의 성분분석에 다소 문제점은 있으나 장치 개발에 소요되는 예산, 설치장소, 장치의 측정정밀도 등 여러 가지측면을 고려할 때 이방법이 가장 적합한 방안이다.

## 3. 결론

가압경수로형 핵연료에 비해 아주 작은 실험연료봉의 내압 및 핵분열기체량측정 방안을 수립하였다. 최적의 실험방안을 수립하는 검토요소들은 장치개발비용, 설치장소, 장치정밀도, 핵분열기체의 성분분석, 실현가능성 등 이었다. 그 결과 기존장치를 이용하여 실험방법을 변경하는 방안이 가장 적합하고 현실성이 있는 것으로 나타났다.

연구결과 기존장치를 이용하는 실험연료봉의 실험방안이 수립된 만큼 향후에는 실험 관계식 도출과 모의연료봉을 제작하여 성능시험을 수행할 것이다.

## 4. 참고문헌

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