

## 사용후핵연료봉 내압측정시험 불확도 추정

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

### I. 서론

사용후핵연료봉 내압측정시험은 핵연료의 건전성 및 저장·관리를 위해 매우 중요한 실험 중의 하나이다. 특히 봉내압은 연료수명과 직결되는 요인이며 원자력발전의 안전성과 경제성을 확보하기 위한 기본 자료로 이용된다. 그러므로 시험에 대한 신뢰성 제고를 확보하기 위하여 장비의 소급성 유지는 물론 적절한 불확도 추정도 수행되어야 한다.

측정불확도 추정을 하기 위하여 표준물질, 기기교정, 환경 등 여러 가지 요인 있지만 그중에 반복측정에 대한 요인도 중요한 불확도 요소 중에 하나이다. 사용후 연료봉의 내압측정시험에서 반복시험이 불가능하고 시험방법이 유효화된 규격은 없지만 시험에 대한 신뢰성 확보하고 정확성을 확인하기 위하여 “측정불확도 표현지침”(GUM)에 의하여 불확도를 추정하였다.<sup>[1]</sup>

### II. 측정불확도 추정

#### 1. 시험장비의 구성

사용후연료봉 내압측정장치는 유압식천공장치, 천공용기, 표준용기, 압력계 및 온도계 등으로 구성되어 있다. 오차요인으로 추정할 수 있는 항목은 표준용기, 압력계, 온도계 등의 교정 및 측정 오차 등이다.

#### 2. 불확도요인 분석

불확도 추정요인으로는 압력계, 온도계, 표준용기체적, 반복측정, 시험자 및 시험환경 등에 대한 오차를 고려할 수 있다. 그러나 압력계, 온도계 및 표준용기는 방사선오염 때문에 교정이 불가능하므로 교정불확도를 추정하기가 곤란하다. 그러므로 압력계는 자체교정에 의한 불확도를 포함하고 표준용기의 경우는 교정불확도가 시간 또는 사용빈도에 따라 변화하지 않는 것으로 가정하여 장치 제작시 교정값으로 대체하였다.

반복시험에 대한 불확도의 경우 실제 사용후핵연료봉으로는 반복시험을 수행할 수 없기 때문에 압력계의 반복 읽음으로 대체하였다. 그리고 시험환경과 시험자자에 대한 불확도 요인은 추정에서 제외하였다.

#### 3. 수학적 모델

$$P_f = \frac{V_i \times P_1 \times T_f}{V_f \times T_1}$$

$P_f$  : 연료봉 내압(kPa)

$V_i$  : 천공용기의 체적(cm<sup>3</sup>)

$P_1$  : 천공용기에서 핵분열기체의 압력(kPa)

$T_f$  : 연료봉내의 온도(°C)

$V_f$  : 연료봉 공간체적(cm<sup>3</sup>)

$T_1$  : 천공용기내의 온도(°C)

#### 4. 불확도 추정

##### 가. 반복측정

반복시험을 수행할 수 없는 시험이므로 압력계의 반복 읽음을 반복시험으로 가정하여 불확도를 추정하였으며 표준불확도의 추정값은 0.04 kPa이다.

##### 나. 압력계 교정에 대한 표준불확도

압력계의 교정값이 신뢰수준 95 %에서  $k = 2$  일 때 확장불확도가 0.6 kPa 이므로 표준불확도는 0.3 kPa로 추정되었다.

##### 다. 압력계 분해능

압력계의 최소 눈금이 0.1 kPa 이므로 분해능에 대한 불확도는 0.03 kPa이다.

라. 표준용기(천공용기 및 연료공간체적 교정인자)

용기의 체적에 대한 교정값은 신뢰수준 95 %에서  $k=2$ 일 때 확장불확도는  $0.09 \text{ cm}^3$ 이므로 표준불확도는  $0.045 \text{ cm}^3$ 로 추정되었다.

마. 합성불확도

반복측정, 분해능 및 교정불확도 등을 합성하여 추정하며, 온도측정에 대한 불확도는 제외하였다.

$$u_c = \sqrt{(0.04)^2 + (0.3)^2 + (0.03)^2 + (0.045)^2} = 0.307 \text{ kPa}$$

바. 유효자유도

포함인자  $k$  값을 구하기 위하여 합성불확도에 대하여 각각의 불확도 구성요소와 자유도를 결합시켜 유효자유도를 구하였다.

$$\nu_{eff} = \frac{(0.307)^4}{\frac{(0.04)^4}{4} + \frac{(0.3)^4}{200} + \frac{(0.03)^4}{200} + \frac{(0.045)^4}{200}} \approx 872$$

사. 확장불확도

신뢰 수준 95 %에서  $k = 2$ 일 때 확장불확도는  $0.62 \text{ kPa}$ 이다.

III. 결론

사용후핵연료봉 내압측정시험에 대한 측정불확도를 추정하였다. 그 결과 신뢰수준 95 %에서  $k=2$ 일 때 확장불확도는  $0.62 \text{ kPa}$ 로 나타났다. 기기교정, 시험환경 및 숙련도 등에서 어려움이 있는 핫셀시험에 대하여 불확도를 추정함으로써 사용후핵연료봉 내압측정시험에 대한 더 높은 신뢰성을 향상할 수 있었다.

IV. 참고문헌

- [1] "측정결과와 불확도추정 및 표현을위한지침" KOLAS, 2002. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement