

사용후 핵연료봉 내압측정장치 성능평가

이형권, 김도식, 서항석, 황용화, 권형문, 장정남

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

nhkleel@kaeri.re.kr

1. 서론

핫셀에서 사용되는 시험장비의 소급성 유지는 일반시험장비보다 매우 까다롭다. 그 이유는 방사선때문에 접근이 어렵고 장비를 외부로 이동을 할 수 없기 때문이다. 그렇다고 중요한 시험을 수행하면서 장비의 정밀도를 고려하지 않을 수는 없다. 핫셀시험에서 생산되는 자료는 원자력분야의 안전성과 경제성을 위해 매우 중요한 자료로 이용되기 때문이다. 그만큼 중요한 시험이기 때문에 사용 중인 장비는 반드시 성능을 점검하고 확인하여야 한다.

사용후 핵연료봉 내압측정시험에서 생산된 데이터는 핵연료의 건전성 및 저장·관리를 위해 매우 중요한 자료이다. 특히 봉내압 측정시험에 관련된 자료는 원자력발전에서 핵연료의 수명, 안전성 및 경제성을 확보하기 위한 기본 자료로 이용된다. 그러므로 현재 아무 이상없이 사용 중인 장비라도 시험장비의 정밀도를 확보하고 성능을 확인할 필요성이 있다. 그리고 시험데이터에 대한 신뢰성 제고 및 확보를 위하여 불확도 추정이 필요하다.

2. 본론

2.1 장비의 시험정밀도

사용후 핵연료봉 내압측정시험 장비의 정밀도를 확인하기 위해서는 표준 모의연료봉을 제작하고, 그 연료봉에 대한 봉내압측정시험을 수행하여야 한다. 그리고 그 결과를 표준값과 비교하여 시험장비의 노후화에 따른 정밀도 변화를 확인하는 것이다.

2.1.1 봉내압 측정시험

충진압력이 1920 kPa인 표준모의연료봉을 핫

셀내에 투입하여 내압측정시험을 수행하였다. 그 결과 측정값은 1961 kPa로 나타났으며 실험값에 대한 오차는 3.1 %이다. 장비를 최초 제작하여 성능시험을 수행하였을 때 봉내압측정에 대한 정밀도는 $\pm 5\%$ 이었다. 그러므로 실험결과에서 검증되었듯이 장비 정밀도에 대한 건전성은 계속 유지되고 있는 것으로 평가되었다.^[1]

2.2 불확도 추정

2.2.1 불확도 추정요인

불확도 추정요인으로서는 시험장비, 환경, 시험자들을 고려할 수 있다.^[2] 여기서 시험환경에 대한 불확도는 불확도 추정 5 % 규칙에 의하여 제외하고 추정하였다. 시험장비에서 불확도 요인과 관련된 항목은 압력계, 온도계 및 표준용기체적 등을 고려할 수 있다. 그러나 온도계와 표준용기의 체적은 방사선오염 때문에 최초 교정이후 재교정이 불가능하다. 그러므로 온도계와 표준용기의 체적은 최초 교정값으로 대체하거나 불확도 추정 5 % 규칙에 의하여 제외 하였다. 압력계의 경우는 국가공인기관에서 교정한 압력계를 이용하여 현장에서 압력계를 자체 교정한다. 압력계에 대한 불확도 추정은 외부에서 교정된 압력계와 현장 압력계의 상호간 불확도가 미미하다고 가정하고 외부에서 교정한 값을 이번 불확도 추정에 반영하였다. 그리고 반복시험에 대한 불확도 추정값은 시험 조건상 반복시험을 수행할 수 없기 때문에 압력계의 반복 읽음으로 대체하였다.

2.2.2 수학적 모델

$$P_f = \frac{V_i \times P_1 \times T_f}{V_f \times T_1} \quad (1)$$

- P_f : 연료봉 내압 (kPa)
- V_i : 천공용기의 체적 (cm³)
- P_i : 천공용기에서 핵분열기체의 압력 (kPa)
- T_i : 연료봉내의 온도 (°C)
- V_f : 연료봉 공간체적 (cm³)
- T_1 : 천공용기내의 온도 (°C)

2.2.3 불확도 추정

2.2.3.1 반복측정에 대한 불확도

반복시험을 수행할 수 없는 시험이므로 압력계의 반복 읽음을 반복시험으로 가정하여 불확도를 추정하였으며 표준불확도의 추정값은 0.03 kPa이다.

2.2.3.2 압력계 교정에 대한 표준불확도

압력계의 교정값이 신뢰수준 95 %에서 $k=2$ 일 때 확장불확도가 0.57 kPa 이므로 표준불확도는 0.29 kPa로 추정되었다.

2.2.3.3 압력계 분해능에 대한 불확도

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

2.2.3.4 표준용기 체적 불확도

용기의 체적에 대한 교정값은 신뢰수준 95 %에서 $k=2$ 일 때 확장불확도는 0.09 cm³이므로 표준불확도는 0.045 cm³로 추정되었다.

2.2.3.5 합성불확도

합성불확도의 추정은 반복측정, 분해능 및 교정 불확도 등을 합성하며, 온도측정에 대한 불확도는 불확도 추정 5 % 규칙에 의하여 추정값에서 제외하였다.

$$u_c = \sqrt{(0.03)^2 + (0.3)^2 + (0.03)^2 + (0.045)^2} = 0.306 \text{ kPa}$$

2.2.3.6 유효자유도

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

$$\nu_{eff} = \frac{(0.307)^4}{\frac{(0.03)^4}{4} + \frac{(0.3)^4}{200} + \frac{(0.03)^4}{200} + \frac{(0.045)^4}{200}} \approx 2717$$

2.2.3.7 확장불확도

신뢰 수준 95 %에서 $k = 2$ 일 때 모의 표준연료봉의 봉내압측정시험에 대한 확장불확도는 1961.0 ± 0.6 kPa이다.

3. 결론

사용후 핵연료봉 내압측정시험장비에 대한 시험정밀도 평가와 불확도 추정을 수행하였다. 표준도의 연료봉을 이용한 봉내압 측정실험에서 시험장비 오차범위 ±5 % 이내인 3.1 %로 나타내 장비의 정밀도에 대한 성능이 계속 유지됨을 확인하였다. 불확도 추정에 대한 결과는 신뢰수준 95 %에서 $k = 2$ 일 때 확장불확도는 1961.0 ± 0.6 kPa로 나타났다. 조사후시험시설 핫셀에서 오래 동안 사용해왔던 시험장비의 정밀도를 확인하고 불확도를 추정 및 평가함으로써 시험장비의 건정성과 시험데이터의 신뢰성을 확보할 수 있었다.

4. 참고문헌

- [1] 이형권 외, “가압정수로 사용후핵연료봉의 핵분열기체포집장치 개발 및 모의핵연료봉을 이용한 시험평가”, 한국원자력학회 춘계학술 발표회 논문집, 2000.
- [2] “측정결과의 불확도추정 및 표현을위한지침” KOLAS, 2002. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement.