

활성탄필터 누설시험 검출기의 교정불확도 추정 및 평가

이형권, 황용화, 전용범, 민덕기, 이은표, 권형문, 서항석, 임성호, 양송열, 김길수

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

nhkleel@kaeri.re.kr

I. 서론

원자력시설에서 사용하는 활성탄필터는 주로 방사성기체 I^{131} 를 흡착하는 필터이다. 운영자는 필터를 포함한 필터뱅크의 건전성을 확인하기 위하여 시험주기 규정(Reg. Guide 1.14, 1.52)에 의하여 누설시험을 수행한다.^[1] 시험 전에는 반드시 누설시험 검출기(Halide detector)의 교정을 수행하여 검출기에 대한 소급성을 유지시켜야만 시험의 신뢰성을 확보할 수 있다. 국내에서 검출기의 교정은 교정기관이 없어 자체적으로 교정을 수행한다. 현재까지의 검출기교정은 유효화된 방법이 없어 공식적으로 인정받을 수 없지만 KOLAS 기법을 도입하여 활성탄필터 누설시험검출기 교정 불확도를 추정 및 평가함으로써 교정에 대한 정확성과 신뢰성을 확인할 수 있다.^[2]

II. 검출기의 교정 불확도 추정 및 평가

1. 검출기 및 장비

검출기의 교정에 대한 불확도 추정 및 평가는 국내 원자력시설 누설검출기로 가장 많이 사용하고 있는 NUCON사 Halide Detector(Model : FD-1000)를 대상으로 수행하였으며, 교정장비로는 표준가스(R11), 제로가스(압축공기), Calibration Rig 등이 사용되었다.

2. 교정방법 및 불확도 요인

검출기의 교정은 국제적 또는 국내적으로 유효한 규격이 없어 NUCON사의 교정절차서(NUCON 12-40, Rev. 8)에 의하여 상류측과 하류측 검출기 각각에 대하여 수행하였다.

불확도 추정요인으로는 표준가스(프레온, 제로가스), 검출기, 교정환경, 교정자 등을 고려하였으나, 환경과 교정자에 의한 요인은 불확도 평가에서 제외하였다. 불확도 주요인인 검출기에 대해서는 반복측정에 의한 불확도, High Voltage, Filament Voltage, 진직성 등을 고려하였다.

3. 수학적 모델

$$E_x = f(C_x, \delta C_L, C_g, \delta C_c) \\ = C_x - (C_g + \delta C_c) + \delta C_x + \delta C_L$$

E_x : 상류측 및 하류측 검출기 지시오차값(ppb, ppm)

C_x : 상류측 및 하류측 검출기의 지시값(ppb, ppm)

δC_x : 상류측 및 하류측 검출기의 분해능(ppb, ppm)

C_g : 표준가스의 표시값(ppb, ppm)

δC_c : 표준가스의 교정값(ppb, ppm)

δC_L : 상류측 및 하류측 검출기의 직직성 측정에 의한 불확도(ppb, ppm)

3. 불확도 추정

가. A형 표준 불확도

(1) 정밀도 시험

상류측 검출기는 10 PPM Range에서 하류측 검출기는 200 PPB Range에서 각각 10회 반복 시험을 수행하여 각각의 표준편차와 표준불확도[0.05 PPM(상류측), 0.92 PPB(하류측)]를 추정하였다.

(2) 지시값 변화

측정된 변화폭의 1/2 또는 검출기의 1/2 눈금중에서 큰값을 적용하여 표준불확도(0.03 PPM, 1.15 PPB)를 산출하였다.

나. B형 표준불확도

표준가스의 표준불확도(0.24 PPM, 1.25 PPB)를 산정한다.

다. 합성불확도

정밀도시험,진직성, 지시값변화, 표준가스 등의 각각의 표준불확도를 합성한다

$$u_c = \sqrt{(0.05)^2 + (0.05)^2 + (0.03)^2 + (0.24)^2} = 0.25 \text{ PPM}, 1.8 \text{ PPB}$$

라. 유효자유도

포함인자 k 값을 구하기 위하여 합성불확도에 대하여 각 불확도 구성요소의 자유도를 결합시킨 유효자유도를 구한다.

$$v_{eff} = \frac{(0.25)^4}{\frac{(1 \times 0.05)^4}{9} + \frac{(1 \times 0.05)^4}{6} + \frac{(1 \times 0.03)^4}{\infty} + \frac{(1 \times 0.24)^4}{100}}$$

$$v_{eff} \approx 112 \text{ (상류측 검출기)},$$

$$\approx 57 \text{ (하류측 검출기)}$$

마. 확장불확도

t-분포표로부터 신뢰 수준 95 %와 유효자유도가 112(ppm), 57(ppb)에 대응하는 각각의 확장 불확도는 0.5 PPM, 4 PPB이다.

III. 결론

원자력시설 활성탄필터 누설시험에서 사용되는 Halide detector의 교정 불확도를 추정 및 평가하였다. 그 결과 상류측 및 하류측 검출기에 대한 공급값이 9.7 PPM, 200 PPB 일 때 각 검출기의 불확도는 0.5 PPM과 4 PPB로 나타났다. 활성탄필터 누설시험에 있어서 KOLAS 시스템을 도입하여 누설시험 검출기에 대한 불확도를 추정 및 평가함으로써 이제까지의 교정결과보다 더 높은 신뢰성과 정확성을 확보할 수 있다.

IV. 참고문헌

- 1) David Anglen, et al., "Nuclear Air Cleaning Hand Book", DOE Technical Standard, 2003.
- 2) "측정결과와 불확도추정 및 표현을위한지침" KOLAS, 2002.