

활성탄필터의 누설시험 불확도 추정

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

I. 서론

원자력시설에서 배출되는 방사성기체 I^{131} 을 흡착하기 위해서는 활성탄필터를 사용하며, Regulatory guide 1.14, 1.52 규정에 따라 현장누설시험을 수행하여야 한다.^[1] 누설시험은 필터의 자체에 대한 시험이 아니라 필터의 흡착능력, 필터뱅크 결함, 설치상태, 개스킷 손상 등을 고려한 종합적인 건전성시험이다. 그러므로 누설시험은 원자력시설의 안전성과 직결되는 중요한 시험이며, 그 중요성만큼 시험에 대한 신뢰성은 반드시 확보하여야 한다. 시험의 신뢰성을 확보하기 위해서는 시험장비의 소급성, 시험조건 및 환경 등이 시험선행조건으로 유지되어야 한다. 그러나 현재까지 시험의 중요도나 판정기준에 비해 교정용 표준가스, 시험장비, 시험조건 및 시험기술 등이 미비하거나 부족하다. 그렇지만 원자력시설의 안정성을 확보하는 중요성만큼 시험에 대한 신뢰성을 확인하기 위하여 활성탄필터의 누설시험에 대한 불확도를 추정할 필요가 있다.^[2]

II. 누설시험의 불확도 추정

1. 시험장비

활성탄필터 현장누설시험에 사용한 장비는 국내·외 원자력시설에서 누설검출기(Leak detector)로 가장 많이 사용하고 ANSI/ASME N510 시험요건에 적합한 NUCON사의 Halide detector(FD-1000)와 Halide generator(HG-1000)가 사용되었다. 그리고 검출기는 장비의 소급성을 유지하기 위하여 NUCON사의 교정절차서(NUCON 12-40, Rev. 8)에 의하여 교정을 수행하고 교정에 대한 신뢰성을 확보하기 위하여 불확도를 추정하였다.

2. 시험방법 및 불확도 요인

현장누설시험은 ANSI/ASME N510의 규격에 따라서 수행하였다. 불확도 요인으로는 각각 상류측과 하류측 검출기의 불확도, Halide generator 성능, 시험조건, 시료균질도, 환경 및 시험자 등이 있지만 주로 장비와 시료균질도에 대한 요인만을 고려하였다.

3. 수학적 모델

$$Y = f(C_u, C_d, G_u, G_D)$$

$$M_e(\%) = 100 - \frac{C_d}{C_u \times 1000} \times 100$$

M_e : 활성탄필터시스템의 기계효율(%)

C_d : 하류측 농도(PPB)

C_u : 상류측 농도(PPM)

C_{dc} : 하류측 검출기 지시값의 교정오차(%)

C_{uc} : 상류측 검출기 지시값의 교정오차(%)

G_u : 상류측 시료채취평균 균질도(%)

G_D : 상류측과 하류측 검출기에 의한 오차(%)

3. 불확도 추정

가. 표준불확도

(1) 반복시험

활성탄필터 누설시험은 반복시험이 곤란하므로 반복시험에 대한 불확도는 추정하지 않았다.

(2) 지시값 변화

측정된 변화폭의 1/2 또는 검출기의 1/2 눈금중에서 큰값을 적용하여 불확도를 추정하나 검출기 교정에서 이미 반영하였으므로 제외하였다.

나. 검출기 교정불확도

누설시험 검출기의 교정불확도는 상류측 및 하류측검출기에서 각각 9.7 ± 0.5 PPM, 200.6 ± 4 PPB이다.

(3) Halide generator 및 상류측 시료채취 균질도

Halide generator에서 시료 발생능력이 ± 20 %를 유지하고, 상류측 시료채취점에서도 시료의 농도가 ± 20 %를 유지하여야 하다는 최대 허용오차만 있고 다른 정보는 없기 때문에 사각분포 처리하여 불확도를 추정하였다.

(4) 각 검출기의 상대불확도

각각 검출기의 정밀도는 ± 10 % 이므로 상대 검출기의 최대 정밀도는 ± 20 %를 산정하여 불확도를 추정하였다

다. 합성불확도

$$u_c = \sqrt{(2.630)^2 + (1.000)^2 + (11.547)^2 + (11.547)^2} \approx 16.571 \%$$

라. 유효자유도

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

$$\nu_{eff} = \frac{(16.571)^4}{\frac{(1 \times 2.630)^4}{112} + \frac{(1 \times 1)^4}{57} + \frac{(1 \times 11.547)^4}{\infty} + \frac{(1 \times 11.547)^4}{\infty}} = 169,536$$

마. 확장불확도

t-분포표로부터 신뢰 수준 95 %와 유효자유도가 168,536일 때 포함인자값은 2이므로 확장불확는 ± 33.142 % 이다.

III. 결론

원자력시설의 배기여과시스템에 사용되는 활성탄필터뱅크 누설시험에서 대하여 불확도를 추정하였으며, 그 값은 신뢰수준 약 95 % (k= 2) 에서 99.96 ± 33.142 %이다. 불확도 추정값이 누설시험의 판정기준(99.95 %)을 고려할 때 매우 큰 것으로 나타났다. 그 이유는 현재 국내 또는 국제적으로 사용 중인 검출기 및 발생기의 정밀도, 표준가스 생산 능력, 시험조건 등이 원자력시설의 안전도를 뒷 받침해주지 못하고 있기 때문이다. 그렇지만 누설시험에 대한 불확도를 추정해봄으로서 시험의 미비한 부분에 대하여 보완 및 발전할 수 있는 계기를 마련할 수 있을 것이다.

IV. 참고문헌

- 1) David Anglen, et al., "Nuclear Air Cleaning Hand Book", DOE Technical Standard, 2003.
- 2) "측정결과와 불확도추정 및 표현을위한지침" KOLAS, 2007.