

원전 공기조화계통 활성탄 흡착기 Halide 냉매기체 누설 성능시험시 측정시간 평가

성기방*, 권혁철, 이두호, 최종락

한국수력원자력(주) 중앙연구원, 대전광역시 유성구 유성대로 1312 번길 70

*kind.sung@khnp.co.kr

1. 서론

원전의 주제어실 공기정화계통 등에는 활성탄 흡착기가 사용되며, 이들 성능점검은 ASME N510 & N509, 미국 NRC Reg. Guide 1.52, KEPIC 부록 TA-VII 의 흡착기뱅크 현장 누설시험의 요건이 반영된 절차에 따라 수행한다. 현장 경험에 따르면 추적자 측정법을 이용할 때 시험전의 배경농도가 매우 낮고 안정되어야 하나, 일부 계통에서는 배경농위가 높아 실험조건이 불만족되고, 실험조건을 충족하기 위해 수일씩 정상유량으로 배출운전후 재시험 하고 있다. 배경농위 상승 원인은 이전주기의 점검과정에서 사용된 추적자가 계통내 활성탄에 흡착되어 있다가 누설되기 때문이다. 본 논문에서는 추적자의 잔류로 인한 시스템 오차를 줄이기 위해서는 활성탄의 흡착기 성능시험법의 할로겐화탄화 수소 냉매기체를 사용하는 투과시험의 절차 개선이 필요하며, 이를 위해 원전별로 측정시간의 길이가 10sec마다 10cycle 측정 또는 30sec마다 10 측정하는 2가지 사례에 대해 기존 측정규정의 만족성을 검토하였다.

2. 본론

2.1 활성탄 흡착기 누설시험

2.1.1 Halide 냉매기체 누설시험 절차

누설시험은 주로 R-11 냉매용 기체를 추적자로 사용하며[1], 주요 시험 절차는, 1)추적기체 발생기를 활성탄 흡착기의 추적기체 주입구에 연결, 발생기 기술지침서에 따라 조절. 2)시료채취관을 흡착기의 상류부와 하류부에 있는 시료채취관에 연결. 3)활성탄 흡착기의 상류부와 하류부에서 초기 상태의 시료를 채취하여 그 농도를 5cycle 이상 측정. 4)초기상태에서 하류부의 시험결과에 지장을 초래할 정도의 오염물이 검출될 경우에는 여과기공의 정격유량으로 계통을 정화. 5)추적기체 발생기로부터 주입구를 통해 검출기까지 추적기체가 통과하는 시간을 산출 후 주입 시작. 6)산출한 통과시간이 경과한 후 상류부의 농도를 측정하기 시작하여 최초의 추적기체가 검출되었을 때를 0 시간으로 설정.

정. 7)추적기체 검출기를 가급적 빠르게 조작하여 상류부와 하류부의 시료농도를 10 sec(또는 30 sec) 간격으로 10cycle 이상 채취한 후 시험결과를 기록. 8)10 sec 간격의 투과누설률은 다음 식을 사용하여 계산한다.

$$\text{투과율}(p) = \frac{C_d}{C_u} \times 100(\%) \quad (\text{식 1})$$

여기서, p : 투과누설률(%)

C_d : 하류부 검출기의 하류부 농도(mg/m³)

C_u : 상류부 검출기의 상류부 농도(mg/m³)

2.1.2 Halide 냉매기체 시험 주의사항

ASME N510[2]에 의하면 흡착기의 유량시험 및 성능시험은 다음의 제한사항이 있다. 1)냉매기체 주입위치는 시험가스의 적절한 혼합과 균일농도를 유지하기 위해 상류측 Duct 폭 또는 지름의 10배 이상의 거리에서 주입 또는 시료분무기 사용 주입. 2)시험 종료후 유로에 남아있는 추적기체 농도가 0.01 ppm 이하가 될 때까지는 공기조화계통을 계속 운전. 3)활성탄 흡착기의 상류측과 하류측에 시료 채취관이 있음을 확인하며 시료 채취관과 검사 성능 시험장비 사이의 시료채취 라인을 최소화하고 채취라인의 길이도 거의 동일해야 함. 4)성능시험 중 상.하류측 배경농도값을 측정하고 5 min간 변화 없어야하며, 최소한 10 min이상 안정되면 수치를 0으로 조정후 시험할 수 있음(하류측은 가능하다면 0.03 ppm 이하에서 시험수행) 5)단일지점(1 point) 시료채취 측정시 공기분배 시험을 실시하여야 하며, 공기분배시험을 실시하지 아니할 때는 활성탄 흡착기 공기통로의 평면을 최대 12 인치 간격으로 나눈 각각의 중앙에서 시료를 채취. 6)성능시험중 상류측 추적기체의 농도는 가능한 한 10 ppm이상으로 주입하고, 최소값과 최대값이 2 배 이상 차이가 나지 않도록 유지하여야 하며, 약 1 min에서 8 min사이에 시험을 실시하여야 함(최대 3 min 정도의 안정시간을 두어야 함). 7)시험기체의 시료채취점은 필터의 전/후면에서 가능한 멀리 떨어진 곳에 위치.

2.1.3 관내 유량측정시 추적자의 요건

활성탄 흡착기의 누설 측정은 추적자(R-11)을 이용한 관내 가스흐름 측정법과 같다. 추적자를 이용할 경우의 선택기준은 기술표준원 KS B ISO 4053(관내 가스흐름 측정-추적자법)에 따르며 서로 다른 많은 종류의 추적자를 이용할 수 있는데 방사성, 광물성 또는 유기재료 등을 이용할 수 있지만 어떤 추적자든지 다음 요건에 따라야 한다.

1) 관내의 gas와 쉽게 혼합. 2) 유속에 대해 무시해도 좋거나 또는 알려진 만큼만 변경. 3) 독성, 부식성 등에 주의하면서 최대 허용농도보다 낮은 농도에서 충분히 정확하게 측정. 4) 사용조건에서 화학적으로 안정. 5) 무시해도 좋거나 또는 일정한 농도로 본래 관에서 유동하는 gas에 존재. 6) 측정비용 저렴. 7) 관에서 유동하는 gas와, 아니면 추적자가 접촉할 수 있는 다른 물질과 측정에 영향을 미치는 식으로 반응해서는 안됨. 8) 최고의 정확도를 얻기 위해서 검출기 신호는 추적자 농도에 비례하고 그 반응시간은 무시할 수 있어야 한다.

2.2 흡착기 누설시험 시간 및 횟수 적합성 검토

2.2.1 시간 적합성 검토

현재 누설시험시 측정기기 요건은 측정값의 선형성이 $1 \sim 10^5$ 범위에서 유지되어야 하고, 반응응답성이 빨라야 한다. Halide 측정기기는 NUCON F-1000HD를 사용하며, 이 기기의 규격은 $1 \sim 8 \times 10^5$ 범위에서 선형성이 유지되고, 연속측정이 가능하여 반응속도를 만족한다. 따라서 10 sec간격 및 30 sec 간격의 측정시간은 모두 적합하다.

2.2.2 측정 횟수 적합성 검토

발전소의 절차에 기술된 측정횟수는 측정의 불확도를 줄이기 위해 10 cycle 이상으로 기술되어 있고, 기록지 양식에는 15 cycle이다. 측정횟수는 모두 적합하다.

2.2.3 측정 총 시간 검토횟수 적합성 검토

측정 총 시간은 1회측정 시간 및 측정cycle의 곱이다. $10 \text{ sec/cycle} \times 10 \text{ cycle}(15 \text{ cycle}) = 100 \text{ sec}(150 \text{ sec})$ 이고, $30 \text{ sec/cycle} \times 10 \text{ cycle}(15 \text{ cycle}) = 300 \text{ sec}(450 \text{ sec})$ 이다. 이들 총 시간은 모두 냉매의 시험 시간 조건인 1 min~8 min 조건을 충족한다.

2.2.4 유량측정시 오차 검토

어떤 물리량의 측정과도 마찬가지로 추적자에 의한 관내 유속의 결정은 측정장치에서의 오차 또는

사용된 측정방법에서의 오차에 기인한 시스템 오차와 유동방식(특히 유동 매체 변수에 영향을 미칠수 있는 압축률을 갖는 가스 상태의 유체에 대하여) 또는 측정장치에서 임의의 변화로 얻어지는 임의의 오차가 있다. 이 중에서 추적자와 관계된 사항은 시스템 오차이다. 살펴보면,

어떤 측정기구와도 마찬가지로 유체 측정에 이용된 것들은 측정에 영향을 미친다. 이들 영향은 적절한 방법을 이용하거나 또는 측정 과정의 어떤 환경적 변수의 지식에 근거하여 그 결과를 정정함으로써 완전히 또는 부분적으로 제거할 수 있다. 또 다른 유형의 시스템 오차는 추적자를 이용한 유량 측정에 존재할 수 있으며 그 방향은 정할 수 있지만 그 크기는 정할 수 없다. 이러한 오차는 관벽과의 화학적 반응에 의한 특정양의 추적자의 소멸과 관련된 현상으로부터 기인한다. 이들 반응에 의해 야기되기도 하는 시스템 오차는 희석법을 이용할 때 일반적으로 유속의 과대 평가(추적자의 소멸)로 이끌어 간다. 이와 반대로 추적자가 소멸되지 않고 남아 있어서 차기 점검주기까지 남아있는 경우에는 과소평가할 수 있다. 이 오차는 적합한 추적자를 선택하고 그리고 적합한 주입, 검출 샘플링 및 분석절차를 사용함으로써 미미하게 줄어들 수 있다. 따라서 흡착기의 시험시간은 가능한 짧고 빠르게 해야 한다.

3. 결론

활성탄 흡착기의 정기점검시 주기적인 성능시험으로 인한 추적자의 배경농도로 인해 어려움이 많으며, 이를 해소하기 위해 10 sec간격 10 cycle 수행과 30 sec간격 15 cycle 수행하는 것을 비교하였으며, KS 규격과 ASME 규격의 추적자 요건을 만족한다. 다만, 활성탄 흡착기의 측정시 시스템 오차를 줄일 수 있는 10 sec 간격 10 cycle 수행이 합리적이다.

4. 참고문헌

- [1] 발전소 정기시험 절차서(공기조화계통 유량점검 및 성능시험. 한수원).
- [2] ASME N510(Testing of Nuclear Air Treatment Systems).
- [3] KS B ISO 4053(관내 가스흐름 측정-트레이서법, 기술표준원).