이동식 공기정화기 및 HEPA 청소기의 성능평가

김광남, 최진규, 강선행
한국필터시험원, 광주광역시 북구 오룡동 1110-23
kftlmgr@kftl.re.kr

1. 서론

일본 후쿠시마 원자력 사고 이후로 국민들의 원자력발전 및 방사성 물질에 관련된 지식이 큰 폭으로 증가하였으며, 특히 대기 중으로 방출되는 방사성 물질로 인한 직/간접적인 위해성은 사회적으로도 많은 이슈를 낳았다.

원자력이용시설 및 원자력발전시설에서 발생하는 공기 또는 가스 상의 방사성 물질들의 농도를 저감하고 여과하기 위해서, 원자력공기처리시스템(NATS, Nuclear Air Treatment System) 또는 원자력공기정화기(NACU, Nuclear Air Cleaning Unit)가 설치되어 운영되어 오고 있다.

방사성 물질은 고체, 액체, 기체 등 다양한 형태로 발생 되는데 이 중 기체상의 방사성 물질의 경우 누출 사고가 발생 시 시설 내 종사자와 설비에 치명적인 위해를 가할 수 있으며, 특히 일반 대기 환경 공간으로의 누출은 크나큰 염려와 손실을 끼칠 수밖에 없다. NATS 및 NACU는 시설 내의 방사성 누출사고 뿐만 아니라 일반 화재사고와 케미컬사고가 발생할 경우에도 공기 중의 유해 분진 및 가스를 제거하고 시설 운영에 필요한 공간 및 거주자에게 호흡할 수 있는 환경을 제공하기 위해 사용되는 아주 유용한 설비이다. 이러한 NATS 및 NACU와 유사한 형태로 구성된 장비 중 특정의 공간 또는 국부적인 공간의 방사성 물질의 농도저감, 여과, 흡착을 위해서 사용되는 설비로 이동식 공기정화기 또는 국부 지역의 오염물질 제거를 위한 HEPA 청소기가 있다.

원자력시설에서 사용되는 이동식 공기정화기는 사용 전에 반드시 해당 부품에 대한 성능을 확인하고 부품이 제대로 장착되어 본래의 기능을 수행하기에 충분한지를 성능 평가 해주어야 한다. 이러한 성능 평가 방법에는 ASME-N510, ASME-N511, ASME-AG1, KEPIC-MHD, DOE Handbook 등의 원자력관련 기술 규격을 참조할 수 있다.

2. 본론

이동식 공기정화기 및 HPEA 청소기는 기본적인 구성 요건과 그 순기능에 있어서는 원자력시설에 설치된 공기정화장치(NACU) 또는 공기처리시스템(NATS)과 같다고 할 수 있다. 이러한 NACU 및 NATS는 제작과정 중, 최종 설치 후 그리고 기기운영 중에 각기 확인하고 평가되어야 할 시험 및 검사 항목이 있으며, 사용자는 반드시 이러한 선행 평가 결과를 확인한 후 그 성능이 입증된 기기만을 사용하여야 한다. 그러나, 이동식 공기정화기와 HEPA청소기에 대해서는 아직까지 특정한 기술기준이나 별도의 시험 규격이 마련되어 있지 않고 있다. 이에 본문에서 이동식 공기정화기 및 HEPA 청소기가 갖추어야 할 최소한의 구성요건과 구성부품들의 성능, 그리고 제품의 누설시험 및 유지관리에 대해서 기술하고 제안하고자 한다.

2.1 제품 구성

이동식 공기정화기 또는 HEPA 청소기는 공기 중 방사성 물질을 여과, 흡착, 저감시키기 위해서 최소 아래와 같은 부품으로 구성되어야 한다.

2.1.1 이동식 공기정화기의 구성

[Pre 필터 + HEPA 필터 + Charcoal 필터 + FAN]

① Pre 필터 : 큰먼지여과, HEPA필터 수명연장
② HEPA 필터 : 방사성 미세입자를 여과
③ Charcoal 필터 : 방사성 가스를 흡착하는 흡착기 필터(Adsorber)
④ FAN : 흡입 또는 배출 유량 발생

단, 사용 목적에 따라서 상기 구성부품의 배열을 달리하거나 중복 배열할 수 있다.

2.1.2 HEPA 청소기의 구성

[Pre 필터 + HEPA 필터 + FAN]

① Pre 필터 : 큰먼지여과, HEPA필터 수명연장
② HEPA 필터 : 방사성 미세입자를 여과

③ FAN : 흡입 또는 배출 유량 발생

2.2 부품 성능

구성 부품 중 HEPA와 Charcoal 필터의 성능은 반드시 개별 전수 시험되어야 하며 그 성능 기준과 참조할 수 있는 시험 규격은 아래와 같다.

① HEPA 필터 : 공기 중 0.3 ㎛ 크기의 입자를 최소 99.97 % 이상 여과할 수 있는 필터
(시험규격 : MIL-STD-282, ASME-AG1)

② Charcoal 필터 : Elemental iodine을 최소 95 % 이상 흡착할 수 있는 활성탄으로 충진된 흡착기 필터로써 반드시 활성탄을 장착한 후 ASME-AG1에 따라 인수시험을 수행하여 그 누설율이 0.05 % 이하인 필터
(시험규격 : ASTM-D3803, ASME-AG1)

2.3 누설시험

이동식 공기정화기에 필터 부품들을 설치한 후 미세입자(DOP Aeorosol 입자 사용)와 냉매가스(R-11 냉매 사용)를 이용해서 설치 후 누설시험을 수행하여 아래와 같은 성능을 보장하여야 한다.

2.3.1 DOP 에어로졸 누설 시험

① 시험 규격 : ASME N510:2007 9. HEPA 필터 Bank In-Service Leak Test

② 사용 입자 : DOP(Di-Octyl Phthalate) 에어로졸

③ 입자의 크기 : 3 ㎛ 이하의 입자가 99 % 이상으로 평균 입자크기는 약 0.7 ㎛

④ 성능 기준 : 누설율 0.01 % 이하

이동식 공기정화기 및 HEPA 청소기는 규모면에서 매우 작고, 필터 부품들이 서로 붙어 있는 경우가 많으므로 NACU와 같이 HEPA 필터 뱅크 단독으로 시험을 수행하기는 어렵다. 따라서 기기 흡입구 전단에서 에어로졸의 상류 농도를 한꺼번에 측정하게 되는데 이때 DOP 에어로졸 누설시험의 경우, 일반적으로 0.3 ㎛ 의 입자에 대해 누설율이 0.03 % 이하인 HEPA 외에도, Pre 필터가 HEPA 전단에 장착되어 약 50% 정도의 에어로졸을 감소시키므로, NATS나 NACU와는 달리 누설율이 최소 0.01 % 이하이어야 한다

2.3.2 R-11 냉매 가스 누설 시험

① 시험 규격 : ASME N510:2007 10. Adsorber Bank In-Service Leak Test

② 사용 가스 : R-11($CFCl_3$) 냉매 가스

③ 성능 기준 : 누설율 0.05 % 이하

2.3.3 누설시험 주기

이동식 공기정화기 또는 HEPA 청소기는 정기적 또는 부정기적 시험을 통하여 그 성능을 확인하고 시스템을 최상의 상태로 유지시켜 주어야 하며, 시험주기는 다음과 같다.

① 새로운 필터의 장착 또는 교체 후,

② 사용된 필터가 수분에 노출되었을 때,

③ 공기 및 가스 누설과 연관되는 부품의 교체 및 수리가 행해졌을 때,

④ 계속된 운전으로 조임 장치 및 압착상태가 의심스러울 때,

⑤ 사용 중 필터의 차압이 갑자기 떨어졌을 때

3. 결론

원자력시설에서 사용되는 이동식 공기정화기 및 HEPA 청소기는 국부적인 공간의 정화 또는 작업지역에서의 오염물 제거를 위하여 사용되는 공기처리시스템이다.

따라서 반드시 개별 성능이 입증된 필터 부품들을 사용하여야 하며, 부품들을 이동식 공기정화기에 설치한 후에는 장착상태의 확인 및 기타 물리적인 손상이나 관통이 없음을 시험으로 성능을 평가하여야 하며, 정기적/비정기적으로 그 성능을 평가하고 유지하여야 한다.

4. 참고 문헌

[1] KEPIC MH (2005) 공조기기.
[2] Reg. Guide 1.140 version 2 (2001).
[3] Reg. Guide 1.52 version 3 (2001).
[4] ASME N509 (1989) "NPP Air-Cleaning Units and Components".
[5] ASME N510 (1989) "Testing of Nuclear Air Treatment System".
[6] ASME AG-1 (1997) "Code on Nuclear Air and Gas Treatment".
[7] DOE-HDBK-1169(2003) & ERDA 76-21 "Nuclear Air cleaning Handbook".