

방사성동위원소 이용시설 공기정화장치의 시험기준에 대한 고찰



강 선 행

한국필터시험원 원장

요 약

원자로의 운전, 핵연료의 가공, 방사화학물질의 조작 과정 및 방사성물질을 취급하는 병원 등 의료시설과 관련 연구기관 등의 계통은 정상운전 중 혹은 비정상적 작동 조건에서 다량의 방사성입자나 오염물질 등이 방출될 우려가 있다. 이 때 off-gas의 방사성입자나 오염물질을 효율적으로 제거하여 작업자나 일반대중을 보호하기 위해 모든 방사성동위원소 이용시설에는 계통의 최후방에 공기정화장치(Air Cleaning Unit, ACU)를 설치한다.

이러한 공기정화장치는 분진 및 오염물질의 제거에 효과적인 해파 필터, 요오드와 같은 방사성물질의 제거를 위한 흡착제(adsorbent) 등을 핵심부품으로 갖도록 구성하고 있으며, 방사성물질에 대한 환경기준에 따른 배출공기의 허용농도가 관련기준에 의해 엄격히 제한되어 있다. 따라서 배출공기에 대한 법률로 정

해진 허용농도 이내의 실용 가능한 기준을 충족시키기 위해서 흡착제나 해파 필터는 모두 극히 높은 포집효율이 요구되며, 부품을 포함한 장치 전체가 관련기술기준을 철저히 준수하도록 설계, 제작, 시험이 이뤄져야만 한다.

본 보고서는 방사성동위원소 이용시설의 공기정화장치 및 핵심부품에 대한 설치 전 인수시험 및 현장 설치후의 현장시험에 대한 그간의 기술기준을 검토하여 관련업계에 종사하는 이들로 하여금 시설의 유지·보수 등에 대한 일반적 기준을 제공하는데 그 목적이 있다.

방사성 물질을 이용하는 시설은 크게 원자력 발전소와 같은 공학적 안전설비(Engineered Safety Features, ESF)를 갖추고 있어야만 하는 시설과 ESF로는 구분되지 않지만 공공의 안전과 관련하여 배출기준이 법적으로 제한되어 있는 일반 방사성동위원소를 활용하는 병원 등과 같은 시설의 정상계통(Normal System)으로 구분된다.

본 보고서는 다수의 개별기관으로서 방사성 동위원소를 이용하고 있는 개방형 동위원소 이용시설에 대한 정상계통의 공기정화장치에 대해 시설운영자나 장비 및 부품 납품자, 그리고 시설에 대한 안전검사를 실시하는 분야에 종사하는 이들을 위한 정보전달을 위해 준비되었다.

특별히 관심의 대상이 되는 부분은 각 핵심 부품과 공기정화장치 자체에 대한 기술기준에서 제시된 성능과 관련한 값들로서 이는 공기정화장치 관련 계통의 설계, 제작, 시험 등에서 무척 중요한 가이드 라인이 된다는 점에서 참고문헌 2와 참고문헌 11의 기술기준을 참조하였다.

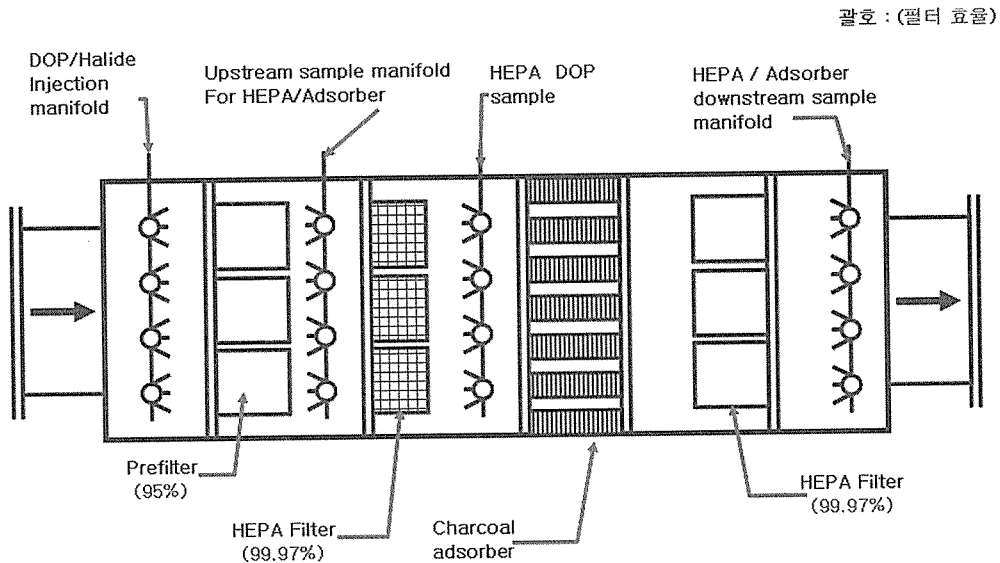
1. 공기정화장치의 개요

방사성동위원소 이용시설의 공기정화장치

(ACU)란 방사성 가스 및 분진, 오염물 등에 대해 물리적 특성을 심각하게 변화시키지 않으면서도 효율적으로 제거하는데 이용할 목적으로 설계된 시스템으로 작업자에게 쾌적한 근무여건을 제공하고 대기 배출 오염원을 사전에 제거함으로써 환경에 미치는 영향을 최소화할 목적으로 사용된다.

일반적으로 공기정화장치는 <그림 1>과 같이 해파 필터와 활성탄 흡착제(Carbon Adsorber)를 핵심부품으로 한다.

또한 공기정화장치는 원자력시설 근무자에 대한 만족할만한 작업조건을 제공하고 방사성 물질이나 유독물질이 대기로 방출되는 것을 막기 위하여 특수한 환경 요인들을 감안하여 설계, 제작, 시험되어야 하며, 관련시설의 사고 발생시, 대기로의 방사능누출을 막기 위한 최후의 관문 역할을 하는 핵심 설비인 관계로 성능증명을 위한 검증시험은 선택사항이 아닌



(그림 1) 공기정화장치의 개략도 및 주요부품의 효율

의무사항이다.

여기서 고려되어지는 환경요인으로는 격납 용기 내 가스의 정상(방사능, 유독성, 부식성, 입자크기 및 입자의 분포, 입자의 형상 및 점성 등), 열(계통 운전 열 혹은 화재에 의한 열), 습도, 방사성농도 및 기타 조절되어야 할 환경조건 등이다. 이와 같이 방사성동위원소 이용시설의 공기정화장치는 관련시설의 규모나 발생 핵종 등에 따라 설비 자체가 다를 수 있으므로 공기정화장치의 시험기준에 대해 일괄적으로 기술하는 것은 불가능하다. 그러므로 본 보고서에서는 원자력발전소나 핵연료 제조시설과 같은 원자력 등급 규제요건을 따르는 시설 외에 개방형 동위원소를 사용하는 시설(예 : 병원 등)의 공기정화장치에 대한 안전한 운전과 유지보수차원의 현장시험 등에 대한 규제요건과 운전자가 관심을 기울여야 할 사항 등에 대해 기술하고자 한다.

특히, 대개의 공기정화장치의 핵심부품인 필터(헤파 필터와 활성탄필터)의 성능시험방법과 기술기준에 대해 기술하였다. 또, 그것들을 핵심부품으로 설치하고 있는 공기정화장치의 주기시험인 현장시험에 대해서 기술기준과 규제요건을 기술하고자 한다.

2. 공기정화장치의 구성과 시스템

공학적 안전설비에서 공기정화장치는 헤파 필터와 활성탄 흡착제(Carbon Adsorber) 외에 장치 내에 전처리필터(Pre Filter), 후처리 필터(Post Filter) 및 활성탄필터(Carbon Filter), 히터와 냉각코일 및 제습기와 같은 보조 공기정화 기구가 한 개 이상 수반되도록 구성된다. 이들 각각은 공기정화장치의 효율적인 운전과 사용목적에 맞는 기능을 구현하기

위해 직렬로 설치되며 설계요건에 따라 일부 부품이 설치되지 않을 경우가 있다.

한편, 정상계통의 경우, 공학적 안전설비와 다소 구분되지만 공기정화장치 설계시 시설의 환경이력(산업오염물질, 공해, 온도, 상대습도)에 따라 필터나 흡착제의 풍화 및 노화가 달라질 수 있고, 또 설치 위치마다 평균온도나 습도가 다르므로 이를 고려해 설계하게 된다.

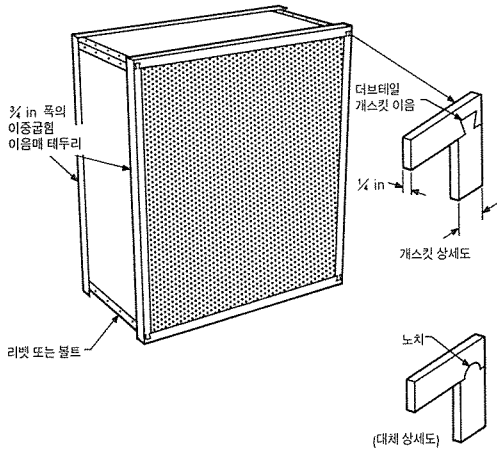
공기정화장치의 주요 부품에 대한 개별 기능에 대한 설명은 다음과 같다.

가. 덕트 가열기(Air Heater)와 습분분리기(Moisture Separator)

원자력발전소는 설계기준사고(Design Basis Accident, DBA) 발생 시 공기정화장치로 유입되는 공기에 높은 습분이 포함되어 있어 장치 내부의 핵심시설인 헤파 필터와 활성탄 필터 성능에 악영향을 미치게 되므로 계통 내의 습도를 낮추기 위해 덕트 가열기(공기히터) 혹은 습분분리기를 설치한다. 정상계통에서는 원자력발전소와 같은 상황이 발생하지 않게 되므로 이들 부품을 별도로 설치하는 것은 선택사항이다.

나. 전처리필터(Pre Filter)와 헤파(HEPA) 필터

헤파(High Efficiency Particulate Air, HEPA) 필터는 고효율 입자 공기필터로써 서브 마이크론(sub-micron) 단위의 미립자를 포집대상으로 하며, 0.3 μm 크기의 단분산 DOP 에어로졸 입자를 이용한 시험시 최소 효율 99.97% 이상인 필터를 말한다. 미세 입자를 포집대상으로 하기 때문에 거친 입자에 대해서는 수명이 급격히 줄어드는 문제가 있으므로 통상 헤파 필터 전단에 거친 입자를 제거



〈그림 2〉 금속 케이스 헤파필터

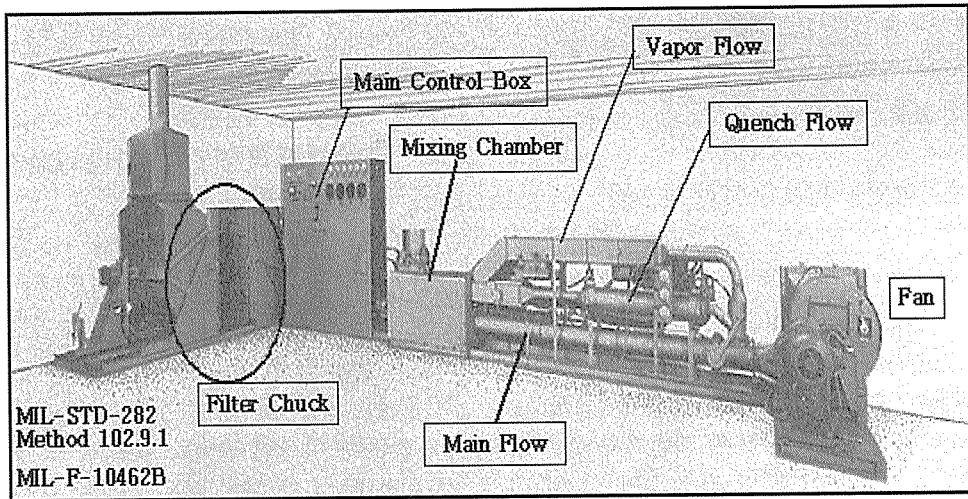
하는 용도의 전처리 필터(Pre Filter)를 설치한다.

〈그림 2〉에 헤파 필터의 일반적인 형상을 보였다. 헤파 필터는 통상 필터여재를 프레임으로 감싸 밀봉하고 게스킷, 플리트 및 보호판 등

과 같은 부품으로 구성되며, 이들 각각은 KEPIC MH FC 기준에 따라 설계·제작·시험되어야 한다.

방사성동위원소 이용시설의 안전성에 관련되는 공기정화장치에서 사용하는 헤파 필터는 방사성 물질 취급시설의 미립자 방사능 노출에 대응하기 위한 배기 시설의 핵심 부품이며, ASME AG-1, KEPIC MHB FC의 설계기준과 인정 재료에 따라 설계, 제작되며 MIL-STD-282, KEPIC MHB FC 5000에 따른 성능시험에 합격된 제품만을 사용하도록 되어 있다.

여기서, MIL-STD-282 시험방법이란 2차 세계 대전 이후 1952년에 미 국방성에서 화학방전의 중요성을 파악하고 이를 구성하는 부품인 필터 유닛, 보호의류, 방독면 부품과 그와 관련된 제품들에 대한 성능시험방법으로 제정된 이래 현재까지 MIL-F-51068, DOE-STD-3020, ASME AG-1, IEST-



〈그림 3〉 헤파필터 효율 측정 장치 (Q-107 Penetrometer)

RP-CC001.3, UL-586, KEPIC-MH 등에서 제시한 설계·제작기준이 되는 성능시험의 표준시험방법이며, 일반 산업용 헤파 필터의 시험방법과 엄격히 구별되어야 한다.

MIL-STD-282 시험방법에 따르는 헤파필터의 효율시험은 <그림 3>의 Q-107 시험장비를 이용하여 0.3 μ m의 단분산 에어로졸을 만들어내고(Hot DOP 방법), 시험에 필요한 정격풍량에서 헤파필터의 DOP 누설량 및 차압을 측정하는 시험 방법을 말한다.

원자력등급 헤파 필터와 일반 산업용 헤파 필터의 검증시험 기준 및 조건을 <표 1>에 비교하였다. 원자력 등급 헤파필터의 경우, MIL-STD-282의 기술기준에 따라 저유량조건(정격풍량의 20% 조건)에서 효율시험을 하여야 한다. 이것은 원자력등급 헤파 필터는 제조공정상의 부주의함이나 필터 여재의 불량에 따른 핀 홀(Pin Hole)과 같은 아주 작은 크기의 불량도 허용될 수 없음을 의미한다.

여기서 주목해야 할 부분은 필터의 시험에 대한 요건으로서 모든 헤파 필터는 독립적인 필터시험기관(Independent Filter Test

Laboratory)에 의해 수행되도록 되어 있다는 점이다. 독립적인 필터시험기관이란 KEPIC MHB의 기술기준을 따르는 헤파 필터 공급자와 관계가 없고, 헤파 필터가 이 기술기준을 만족시킨다는 것을 실증하는데 필요한 시험을 수행할 수 있는 단체를 의미한다(KEPIC MH 2005).

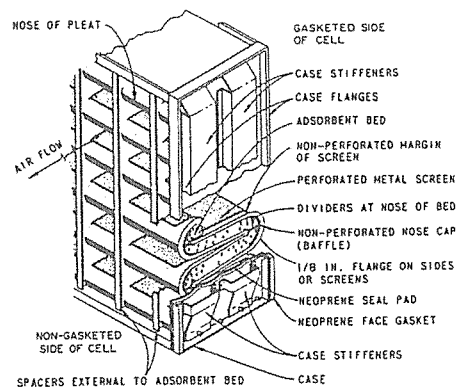
다. 활성탄 흡착제(Carbon Adsorbent)

공기정화장치의 흡착제는 공기유량이 통과해서 공기유량으로부터 가스상의 요오드(요소 요오드)를 제거하는 역할을 하며 대개 활성탄에 의한 방사능 요오드의 흡착을 목적으로 사용된다.

대개 활성탄 흡착제는 규정된 양의 공기 또는 가스를 처리하기 위한 크기로 적절한 위치에 하나 이상의 활성탄 베드를 갖는 흡착기에 충전되어 사용된다. 흡착기의 베드는 구멍이 있는 박판 또는 구조물을 용접으로 제작한 조립품이며, 공기는 상류면으로 들어와 채워진 흡착제를 통과한 후 하류면으로 빠져나가면

<표 1> 헤파 필터의 검증시험 항목

| 시험항목 | 일반등급 HEPA필터 기술기준 [UL 586] | 원자력등급 HEPA필터 기술기준 [ASME AG-1] |
|----------------------------------|------------------------------------|--|
| 차압 [MIL-STD-282] | ○ | ○ |
| 정격유량에서 효율시험 [MIL-STD-282] | ○ | ○ |
| 20%유량에서 효율시험 [MIL-STD-282] | × | ○ |



<그림 4> 활성탄 흡착기 TYPE I (Pleated Bed Type)

서 공기정화장치로 유입되는 공기 중의 요오드 등을 제거하는 공기정화장치의 핵심 부품이다.

〈그림 4〉에 TPYE I 활성탄 흡착기(플리터드 베드 타입)를 보였다.

활성탄의 수명은 주로 활성탄 자체의 갱년 열화에 의해 결정되는데 그 현상을 야기하는 과정은 에어링(airing) 과 워셔링(washer-ing)이다. 에어링이란 상온의 대기조건을 만족시키는 밀폐용기 내에 활성탄을 집적한 경우에 나타나는 현상으로 보존방법에 따라 3년 내지 5년이 목표가 된다. 워셔링이란 활성탄이 공기 중에 포함되어 있는 수증기나 불순물과 반응하여 방사능 요오드에 대한 흡착성능이 저하되는 현상을 말한다.

습도가 높은 환경에서 사용될 경우 공기정화장치 내의 활성탄 필터의 흡착효율이 떨어지므로 통상 무기물 혹은 유기물을 침착한 침착활성탄(Impregnated Carbon)을 사용한다. 이 때, 침착활성탄의 검증시험은 상대습도 조건에 따라 요오드화메틸 혹은 요소요오드에 대한 제거효율을 확인하는 절차로서 KEPIC MHB FF 5000에서 제시하고 있는 ASTM D-3803의 기술기준을 따라야 하며 침착활성탄이 충족하여야할 제거효율은 다음과 같다.

- ① 요오드화 메틸의 제거 (저온) : 80℃의 온도와 95 %의 상대습도에서 요오드화 메틸의 제거 효율은 99.0 % 이상
- ② 요소 요오드의 제거 : 30 ℃의 온도와 95%의 상대습도에서 요소 요오드의 제거 효율은 99.9 % 이상
- ③ 요오드화 메틸의 제거 (고온) : 130 ℃의 온도와 95 %의 상대습도에서 요오드화 메틸의 제거 효율은 98 % 이상

④ 요오드화 메틸의 제거 : 배치시험에서 30℃의 온도와 95 %의 상대습도에서 요오드화 메틸의 제거 효율은 97 % 이상

⑤ 요소 요오드의 보유 : 배치시험에서 180℃의 온도에서 요소 요오드의 보유효율을 시험하여야 하고, 승인할 수 있는 최소 효율은 99.5 %

이상과 같이 공기정화장치의 각 부품들은 각각 정해진 시험방법에 따라 효율시험 혹은 성능시험을 거친 후, 공기정화장치에 설치되어 운전된다. 따라서 공기정화장치는 본래의 설치목적에 맞는 기능 즉, 원자력시설 대기 방출 공기의 방사성물질에 대한 허용 값 이내로 오염물질 제거를 수행하게 된다. 하지만, 필터류의 설치 혹은 교체 과정에서 필터의 취급 부주의나 필터가 설치되는 설치프레임 등을 통한 누설이 있을 수 있다.

그러므로 비록 필터가 각각 규정에 따라 시험되고 성능이 입증되었다 하더라도 필터 설치 후 반드시 시험을 통해 검증되어야만 한다.

다음 절에서는 필터류를 교체 혹은 설치후의 현장시험에 대한 시험조건과 시험방법 및 절차 등에 대해 알아보하고자 한다.

3. 필터의 현장시험 (In-Place Filter Testing)

본 절에서는 공기정화장치의 핵심 부품인 헤파 필터와 활성탄 필터에 대한 현장시험기준에 대해 검토하고자 한다. 특히, 이들은 모두 주기적으로 교체되어진다는 점에서 공기정화장치의 성능 즉, 대중의 안전과도 관련이 큰 시험항목이다. 따라서 부품시험과 현장시험을 거쳐야하는 까다로운 시험기준을 충족하여야 할뿐만 아니라 시험기준을 엄격히 관리해야

할 품목들로서 이 절에서는 필터의 현장시험에 대해 논의하기로 한다.

가. 현장시험(In-place Testing) 기준에 대한 검토

헤파 필터나 활성탄 필터는 필터 자체가 아무리 높은 효율을 지니고 있다 해도 운반 중이나 설치시에 손상을 받거나 또는 설치의 잘못으로 누설 등이 발생하면 공기정화장치 전체로서는 높은 성능을 발휘할 수 없다. 따라서 공기정화장치 전체의 성능을 평가하기 위해서 필터 설치 후 반드시 시험을 통해서 그 성능을 평가하여야만 한다.

정상운전을 위한 장치(equipment) 양도 전에 초기 계통 설치 요건에 따라 현장 인수시험(Surveillance Test)을 실시하여야 하며, 기기 교체, 수정 또는 비정상 사고의 경우 또한 설계시방서를 만족하는지를 검증하기 위하여 해당 검사 및 시험을 실시하여야 한다. 이러한 시험을 인수시험이라 부르며 이와 관련한 시험기준은 KEPIC MHD TA 4000 혹은 ASME AG-1 (1997)에 따라야 한다.

이상의 인수시험과 별도로 공기정화장치는 현장시험을 실시하도록 되어 있다 (ASME N510-1989, Sec.10). 현장시험이 이뤄져야 하는 조건은 다음과 같다. 즉, ① 최초 설치시, ② 적어도 24개월 마다, ③ 헤파 필터뱅크의 부분 또는 전체 교체 후에, ④ 필터의 기능에 역효과를 줄 수 있는 일반 공기청정시스템의 어떤 부분으로 수분의 침투 또는 다른 물질의 침투가 일어난 증거 또는 감지가 된 이후, ⑤ 페인팅, 화재, 또는 시스템의 수행 능력에 역효과를 주는 시스템으로 통해있는 어떤 환기 지역에서의 화학적 방출이 일어난 이후에 현장시험을 통하여 그 성능이 입증되어야 한다.

먼저, 공기청정시스템 및 모든 관련된 구성 부품의 육안검사를 수행한다. (ASME N510-1989, Sec.5)

나. 공기정화장치의 현장 누설시험(In-place Testing)

(1) 육안검사

현장시험에 있어서 가장 먼저 수행해야 할 시험은 육안검사이다. 육안검사 부품과 품목에 대한 기술은 KEPIC MH 부록 TA-I을 참조하면 된다. 이 부록은 육안검사가 필요한 각 기기에 대한 대표적인 검사품목을 명시하고 있기 때문이다.

(2) 헤파필터뱅크의 현장 누설시험

헤파 필터 현장 누설 시험은 ① 최초 설치시, ② 적어도 24개월 마다, ③ 헤파 필터뱅크의 부분 또는 전체 교체 후에, ④ 필터의 기능에 역효과를 줄 수 있는 일반 공기청정시스템의 어떤 부분으로 수분의 침투 또는 다른 물질의 침투가 일어난 증거 또는 감지가 된 이후, ⑤ 페인팅, 화재, 또는 시스템의 수행 능력에 역효과를 주는 시스템으로 통해있는 어떤 환기 지역에서의 화학적 방출이 일어난 이후에 수행되어야 한다(ASME N510-1989, Sec.10). 이때, 누설시험은 정격유량의 $\pm 10\%$ 내에서 공기정화장치의 챌린지 에어로졸 누설량이 0.05% 미만이어야 한다. 이런 조건을 만족시키는 공기정화장치는 시스템의 제거 효율이 99%라는 것이 보장되는 값으로서 시험의 결과를 판정하는 요건이 된다.

누설 시험 조건을 만족시키지 못한 헤파 필터 섹션은 누설의 원인 및 위치를 파악하거나 필터 프레임의 재배치, 필터 고정 볼트의 조임

강화와 같은 수리작업 외에 해파필터 각각에 대한 스캔시험 (Scan Test) 등이 수행되어야 한다. 이 때, 결함이 있거나 손상이 있는 필터는 교체되어야 하며 수리작업 후나 필터 교체 후에는 반드시 앞서 기술한 것과 같이 시험을 통해 확인되어야 한다.

(가) 시험장치 및 기기

해파 필터의 현장시험에 있어서 필터뱅크 시스템의 효율을 측정하기 위해 사용되는 장치는 다음과 같다.

- DOP 입자발생기 : 라스킨 노즐방식의 입자발생 원리를 이용한 Cold DOP 발생기
- 가압원 : 공기압축기 혹은 압축공기통
- 에어로졸 감지기 : 평균 최소 10⁵의 선형범위 갖는 입자계수기
- 유량측정장비
- 필터 스캔 테스터기
- 덕트 또는 벙크로부터 시료채취용 샘플링 호스 및 기타 부속품 (시험경계의 밀봉덮개, 타이머, 압력계, 온도계, 공기누설탐지용 거품용액 등)

(나) 시험용 에어로졸

ASME N 510 (1989) 및 ASME AG-1 (1997)의 TA-1000에 따라, 해파 필터뱅크의 현장 누설시험을 위해 사용되는 표준 챌린지 에어로졸은 평균입도분포가 3.0 μm미만은 99%, 0.7 μm미만은 50%, 0.4 μm미만은 10%가 되는 다분산 DOP(Dioctyl Phthalate) 입자가 사용된다.

(다) 시험항목과 시험주기

현장 누설시험에서 시험되어야 할 항목의 시험목적은 다음과 같다.

① 구조적 능력시험 : 유량제어기를 가진 팬을 하우징 또는 덕트에 연결, 하우징 또는 덕트 내부에 압력 지시계를 설치한 후 정상적인 방법으로 시험경계를 밀폐하고 접근 개방구를 폐쇄한 후 구조저항 압력에 도달할 때까지 팬을 동작하여 검사기간 동안 압력을 유지하면서 건전성이 뒤틀리거나 파단이 있는지 시험경계를 점검하는 시험. 압력 해제 후 영구적인 뒤틀림이 있는지를 확인한다.

② 덕트 및 하우징 누설시험 : 덕트 및 하우징을 통해 누설되는 량을 측정하기 위한 시험으로 일정압력법, 압력감쇄법, 기포누설 위치법 및 청취 누설위치법 등이 사용된다. 압력감쇄법은 차단밸브를 가진 팬을 덕트/하우징에 연결하고 내부에 온도, 압력방치를 설치한 후 시험압력에 도달할 때까지 팬을 동작하고 온도가 최소 10분 동안 ± 0.5℃내에 유지될 때까지 유량제어기로 시험압력을 일정하게 유지한 후 차단밸브를 폐쇄하고 최초 시간에서 온도, 압력을 기록한 후 기압계를 기록한다. 시험압력의 75%까지 압력이 감쇄할 때까지 또는 최대 15분 동안 분당 1회씩 압력을 기록하여 누설률을 계산한다. 그 때 사용되는 평균 누설률 계산식은 아래와 같다.

$$\bar{Q} = \left(\frac{P_i}{T_i} - \frac{P_f}{T_f} \right) V (R \Delta T (0.075))$$

여기서, P_i, P_f: 초기 및 최종 시간의 절대압력, lb/ft²(Pa 절대압력)

T_i, T_f: 초기 및 최종 시간의 절대온도, °R(K)

V: 시험경계 내의 체적, ft³(m³)

R:공기의 기체상수 53.35 ft.lb/1b.

°R(kJ/kg. K)

ΔT:ti-tf, 시간차(분)

이다.

- ③ 공기유량 용량 및 분배시험 : 실제 현장조건에서 최대 및 최소 필터 차압에서 팬을 작동하여 설계공기 유량을 달성할 수 있는지를 입증하고, 설계유량에서 각 해파 또는 흡착기 बैं크를 가로지르는 공기유량의 분포가 균일한지를 입증한다.
- ④ 공기-에어로졸 혼합 균일성 시험 : 분무기체가 해파 필터뱅크 또는 흡착기 단을 접근하는 공기흐름에 균일하게 혼합할 수 있는지를 검증하는 시험으로 각 필터의 상류 1ft 및 중심에서 농도를 기록하고 각 기록의 평균값에 대한 % 차이를 확인한다.
- ⑤ 덕트 댐퍼 바이패스 시험 : 덕트의 바이패스를 통한 흐름을 없앨 목적으로 폐쇄

된 댐퍼나 밸브를 통한 누설을 저누설장치에 대해서는 압력감쇄법으로, 고누설장치는 DOP나 할라이드 누설시험으로 측정한다. 이 때 누설률은 다음 식으로 계산된다.

$$\% \text{ penetration} = 100 \times \frac{\text{bypass leakage rate, cfm}}{\text{measured airflow capacity flowrate, cfm}}$$

- ⑥ 계통 바이패스 시험 : 처리계통까지 모든 가능한 누설경로를 포함하는 주입 및 시료위치를 선정하여 시스템의 누설을 확인한다.
- ⑦ 흡착제 실험실 시험 : 방사능 요오드의 흡착을 위한 전체 बैं크의 총 효율을 결정하기 위해 실험실에서 흡착제 시료를 시험하

〈표 2〉 공기정화장치의 시험 종류, 시험항목 및 시험주기

| ASME N510 (1989) 시험항목 | 권고 시험주기 |
|-----------------------------|--------------------------------|
| 육안검사 | 매 시험전 |
| 덕트 누설시험 | 인수시험 |
| 하우징 누설시험 | 인수시험, 10년주기 |
| 구조적 능력시험 | 인수시험 |
| 마운팅 프레임 압력누설시험 | (선택사항) |
| 공기유량 용량시험 | 인수시험, 감시시험 |
| 공기유량 분포시험 | 인수시험, 감시시험 |
| 공기-에어로졸혼합균일시험 | 인수시험 |
| In-place 누설시험, HEPA 필터 बैं크 | 인수시험, 필터교체후, 매 운전주기에 적어도 한번 |
| In-place 누설시험, 활성탄필터 बैं크 | 인수시험, 흡착기교체후, 매 운전주기에 적어도 한번 |
| 덕트 댐퍼 우회 시험 | 인수, 매 운전주기 |
| 계통 바이패스 시험 | 인수, 매 운전주기 |
| 덕트가열기 성능시험 | 인수시험, 매 운전주기에 적어도 한번 |
| 활성탄 Lab 시험 | 인수시험, 흡착기교체전, 매 운전주기, 720시간 이내 |

며, 시험방법은 ASTM D 3803에 따른다. 이상과 같은 시험 항목을 현장시험을 통해 실시하여야 하며 <표 2>에 공기정화장치의 현장 누설시험과 관련한 시험항목별 시험주기를 보였다.

(라) 시험에 대한 성능기준

누설시험을 통해 인정되는 성능 허용기준은 필터장치에 관계된 방사선 작업의 종류, 취급하는 방사성 물질의 종류 및 량, 농도, 허용방출량 등의 인자에 영향을 미친다. 미국에서는 통상 0.05 % 값이 최소 허용 누설량으로 정해져 있다. (즉, 최소 허용 효율은 99.95 % 이다.)

(3) 활성탄 필터뱅크의 현장 누설시험

흡착제를 위한 현장 누설시험은 ① 최초 설치시, ② 최소 24개월 마다, ③ 만일 흡착제 섹션이 영향을 받아서 시험소 시험을 위해 흡착제의 샘플이 제거된 후, ④ 흡착제 섹션 내에 있는 탄소 흡착제의 완전 또는 부분 교체 후에, ⑤ 흡착제의 기능에 역효과를 줄 수 있는 일반 공기청정시스템의 어떤 부분으로 수분의 침투 또는 다른 물질의 침투가 일어난 증거 또는 감지가 된 이후, ⑥ 페인팅, 화재, 또는 시스템의 수행 능력에 역효과를 주는 시스템으로 통해 있는 어떤 환기 지역에서의 화학적 방출이 일어난 후에 수행되어야 한다. (ASME N510-1989, Sec.11)

이 때, 현장시험의 내용은 활성탄의 요오드 흡착 성능, 활성탄의 충전 상태 및 필터를 통한 누설량 검사 등이다. 예상 누설 조건을 만족하지 못한 흡착제 섹션은 누설의 원인과 위치를 결정하기 위해서 조사되어야 하며, 흡착제 셀의 재배치, 흡착제 셀의 고정 볼트의 조임 강화, 테스트용 캐니스터(canister) 장착물의 조

임 강화 등과 같은 수리작업을 수행하여야 하며, 수리가 행해진 이후에는 시험을 통해 검증되어야 한다.

(가) 시험장치

활성탄 필터에 대한 현장 누설시험을 위해서는

- 챠린지 가스 (R-11, R-112) 발생장치
- 챠린지 가스 검출장치
- 유량측정장비
- 덕트 또는뱅크로부터 시료채취용 샘플링 호스 및 기타 부속품등이 필요하다.

(나) 시험용 에어로졸

활성탄 필터의 현장 누설시험방법은 통상 다른 방법에 비해 방사선의 위험성에 대한 문제가 없고 간편한 할로젠 화합물 가스를 이용한다.

(다) 시험에 대한 성능기준

ASME N 510 (1989) 및 ASME AG-1 (1997)의 Sec.TA에 따라 현장 흡착제 현장 누설 시험에서는 표준 챠린지가스로 할로젠 화합물을 사용된다. 이와 관련하여 Savannah River 연구소에서 개발된 프레온 R-112에 의한 누설시험법은 농도 20 ppm의 R-112를 포함하는 공기를 활성탄 층에 흘려보내고 필터 상류, 하류 각 지점에서 채취한 시료공기에 대해 R-112를 가스크로마토그래프로 분리하여 그 농도를 측정하는 방법으로 가장 널리 이용되고 있는 방법이다.

시스템의 성능과 관련한 값으로 누설 시험은 정격 흐름의 ± 10% 내의 정격 유량에서 챠린지 가스의 누설이 0.05% 미만이어야 한다. 다만, 바이패스의 누설률 허용기준은 통상 0.1%가 기준으로 사용된다.

다. 활성탄의 시험소 시험 (Lab Testing)

일반 공기청정시스템의 흡착제 섹션은, 요구되는 효율에서 공기로부터 나오는 가스상의 요오드(요소 요오드)를 제거하는 것이 입증된 어떤 흡착 물질을 포함해도 좋다. 그러나, 첨착활성탄이 거의 독점적으로 사용되기 때문에, 여기에서는 첨착 활성탄 필터를 대상으로 논의한다.

흡착제 섹션에서 사용되는 개개의 오리지널 또는 교체 배치 또는 많은 수의 첨착활성탄들은 ASME AG-1 (1997)의 Sec. FF과 KEPIC MHB FF 5000에 부합해야 한다. “인수시험”으로써 수행되는 시험은, 일반적으로 이전 제품의 일반적인 성능을 수립하는 일반적 적용을 위해 제작자의 제품의 적절성을 수립하는 시험을 의미하는 것으로서 통상 배치시험 (Batch Test)으로써 증명한다. 배치시험이란 특

별한 적용을 위해 알맞게 설정한 각 제품의 제품 배치 토대 위에서 수행되는 시험이다. 한편, 사용 중인 흡착제는 매 720시간마다 캐니스터의 흡착제를 실험실 시험으로 규정된 조건에 따라 그 성능을 확인하도록 되어 있다. (Regulatory Guide 1.52, Sec.7, 2001, NRC GL 99-01, 1999)

만일 활성탄이 흡착제로써 사용된다면, 흡착제 시스템은 흡착제 베드의 2인치마다 0.25초의 평균 공기 거주시간을 갖도록 설계되어야 한다. (ASME AG-1, 1997 Sec. FD, FE)

라. 현장시험(In-place Testing)기준에 대한 검토

공기정화장치와 관련한 시험은 인수시험 (Acceptance Test), 감시시험(Surveillance Test) 및 필요시 실시되는 현장시험(Periodic

〈표 3〉 공기정화장치의 시험조건과 최소허용기준 (ASME N510, 1989 기준)

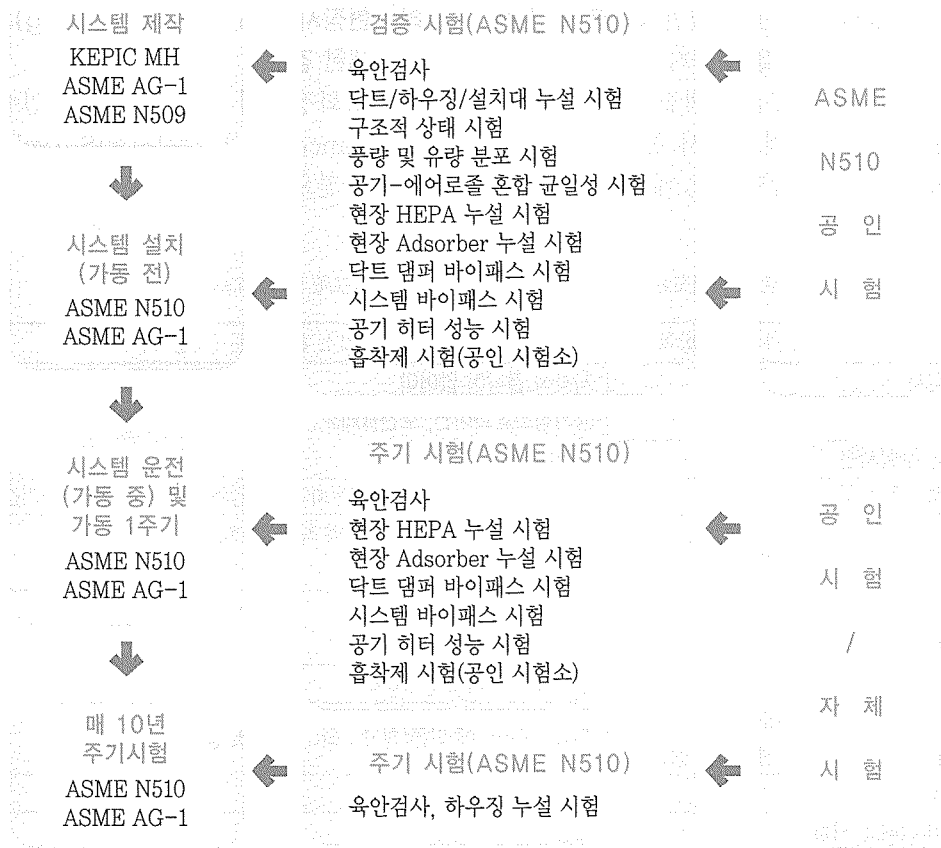
| ASME N510 시험항목 | 최소 허용기준 (시험조건) |
|-----------------------------|---|
| 육안검사 | 시각적 결함이 없어야 |
| 덕트 누설시험 | 공기정화효과여건, 보건물리요건, 품질요건에서 결정 (최대운전압력의 1.25배 조건) |
| 하우징 누설시험 | 영구변형 및 갈라진 틈 없을 것(최대 설계압력 1.25배 이상을 검사기간 유지) |
| 구조적 능력시험 | 설계자결정(참고 : 설계유량의 최대 0.1%,1980기준) (최대운전압력 1.25배 조건) |
| 마운팅 프레임 압력누설시험 | 설계유량의 최대 ± 10% |
| 공기유량 용량시험 | 평균유속의 최대 ± 20% |
| 공기-에어로졸혼합균일시험 | 평균농도의 최대 ± 20% |
| In-place 누설시험, HEPA 필터 बैं크 | Tech. Spec에 따름(참고 : 최대 0.05% 통과율, 1980 기준) |
| In-place 누설시험, 활성탄필터 बैं크 | |
| 덕트 댐퍼 우회 시험 | 계통설계자가 결정 |
| 계통 바이패스 시험 | 계통설계자가 결정 |
| 덕트가열기 성능시험 | Power-On Elec./Mech.Test |
| 활성탄 Lab 시험 | Tech. Spec에 따름(참고 : ASME N 509, Table 5-1,1980 version) |

In-place Leak Test) 등으로 구분되어 실시된다. 각 시험항목별 시험조건과 최소허용기준은 <표 3>과 같다.

여기서, 인수시험 (Acceptance Test)은 공기정화장치가 규정된 요구조건을 충족하는지를 증명하기 위한 시험으로서 초기 시스템 제작 완료 후, 그리고 어떤 중요한 계통의 수정 혹은 수리 후 이루어진다. 설계에 대한 검토는 KEPIC MH (ASME AG-1, ASME-N509)에 따라 실시하며, ASME-N510에 따라 시

험, 검증되어야 한다.

공기정화장치는 인수시험(Acceptance Test) 외에 각 운전주기별 감시시험(Surveillance Test)과 시스템에 변경사항이 발생하거나, 헤파 필터나 흡착제 교체 등과 같은 부품 교체 시에 각각 시험을 실시하여 그 안전성을 검증받아야 한다. 이러한 시험의 기준은 모두 ASME N510 기준을 따라 실시하여야 하며 시험에 대한 고도의 신뢰성이 요구되므로 독립된 공인 시험소에서의 시험이 추천된다.



(그림 5) 공기정화장치의 시험항목별 관련 기술기준과 시험방법

〈그림 5〉에서는 〈표 1〉을 다른 형태로 나타낸 그림으로 설계단계에서 설치 후 가동단계에 이르기까지 공기정화장치의 시험항목과 관련 기술기준 및 시험방법을 도식화하였다.

4. 공기정화장치의 유지, 관리측면에서의 고려사항 및 시설 운용에 대한 제언

국내 방사성동위원소 이용시설의 공기정화장치에 대한 시험은 주기적으로 수행되어야 한다는 기술기준을 비교적 성실히 따르고 있는 것 같다. 그러나, 현장시험이 제대로 수행되기 위해서는 공기정화장치의 제작, 설치단계부터 검증절차가 제대로 수행되어야만 한다.

현장시험의 실제 적용에 있어서 문제되는 사례를 열거하자면 다음과 같은 경우가 해당된다. 즉,

- ① 시료주입구와 입자발생기의 규격이 다른 예
- ② 프레임 조임부의 설계부적합의 예
- ③ 취급부주의로 찢어진 필터가 장착된 예
- ④ 필터 가스켓의 부착위치가 뒤바뀌어 있는 예
- ⑤ 설치 프레임이 변형되었거나 필터 고정용 구조설계 불량으로 고정용 볼트가 이

탈된 예

- ⑥ 공기-에어로졸 혼합 균일성 시험을 충족하지 못함에 따라 누설시험 조건을 형성하기 힘든 예 등

이상의 원인으로는 국내 원자력 시설의 경우 제작과 설치단계에서 공급업체가 자체 시험을 실시하고 있어 시험결과에 대한 신뢰성을 확보하기가 곤란하기 때문으로 설명될 수 있다.

그 외에 시험원의 시스템에 대한 이해와 시험절차에 대한 숙지 및 경험 등이 시험성패와 직결되기도 하며, 시험기구 및 장비의 완벽한 구비 등이 현장시험에서는 무엇보다도 중요하다 하겠다.

이미 원자력 이용시설에 사용되는 모든 해파 필터는 고도의 안전성과 신뢰성이 요구되는 품목으로써 특별 관리되어야 하는 관계상 운영 중인 발전소 및 건설 중인 발전소에 대해서도 KEPIC-MHB-FC 2005에 따라 공인필터 시험기관에서 100% 전수시험을 수행하여 합격한 제품만을 공급하도록 소급 적용되는 기준을 적용하고 있다.

마찬가지로, 공기정화장치에 대한 시험 역시 시험에 대한 전문성, 객관성, 신뢰성 제고를 위해 해파 필터의 예에서와 같이 독립된 공인시험기관에서의 시험이 권장된다. **KRIA**

참고문헌

1. ASME AG-1, Code on Nuclear Air and Gas Treatment, 1997
2. ASME N 509, Nuclear Power Plant Air-Cleaning Units and Components, 1996
3. ASME N 510, Testing of Nuclear Air-Treatment Systems, 1995
4. Regulatory Guide 1.14, Design, Inspection, and Testing Criteria for Air Filtration and Adsorption Units of Normal Atmosphere Cleanup Systems in Light-Water-Cooled Nuclear Power Plants, 2001
5. Regulatory Guide 1.52, Design, Inspection, and Testing Criteria for Air Filtration and Adsorption Units of Post-Accident Engineered-Safety-Feature Atmosphere Cleanup Systems in Light-Water-Cooled Nuclear Power Plants, 2001
6. KEPIC MH, 공조기기, 대한전기협회, 2005
7. MIL-STD-282, Filter Units, Protective Clothing, Gas Mask Components and Related Products: Performance Test Method
8. NRC Generic Letter 99-02, Laboratory Testing of Nuclear-Grade Activated Charcoal, 1999
9. MIL-F-51068F, Filter Medium, Fire resistance, High Efficiency
10. DOE-STD-3020, Specifications for HEPA Filters Used by DOE Contractors, 1997
11. UL-586, Standard for Safety High Efficiency, Particulate Air Filter Units, 1990
12. DOE Handbook, Nuclear Air Cleaning Handbook, DOE-HDBK-1169-2003, Nov.2003
13. 공기청정편람 제 3권, 응용편, 한국공기청정협회, 2003
14. Harvard University, Continuing Education Center, Filter In-Place Test Workshop Handout, 2005

