

Emery 3004 에어로졸을 사용한 고성능필터의 누설시험

In-place Leak Test for HEPA Filter Using Emery 3004 Aerosol

이형권, 전용범, 박광준, 양송열, 이은표, 황용화

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

새로운 고성능공기필터 누설시험 시약 Emery 3004를 사용하여 KAERI의 조사후시험시설에서 고성능필터 누설시험을 수행하였다. 시험결과 누설율이 0.003 ~ 0.006 %로 Reg. Guide 1.14 합격기준인 0.05 % 만족한다는 것을 확인하였다. 그러므로 발암물질을 함유하지 않는 이 시약이 DOP 대신 공기필터누설시험 에어로졸로써 사용될 수 있다는 것을 확인하였다. 따라서 이 시약의 사용은 방독마스크와 방호복을 착용해야 하는 불편한 일을 줄일 수 있을 것이다.

Abstract

New air filter leak testing aerosol, Emery 3004, was used to carry out the in-place leak test for high efficiency particulate air(HEPA) filters at PIEF in KAERI. As a result of leak test, penetration rate appeared to be 0.003 ~ 0.006 %. These values satisfy that of Regulatory Guide 1.14 reference, 0.05%. Therefore, Emery 3004 aerosol which has not any elements causing the cancers, was confirmed to be able to employ as the HEPA filter leak test aerosol in place of DOP(Dioctyl Phthlate). And also it can reduce some additional works such as wearing mask and cloths for protecting the personnel from poisonous gas.

1. 서론

원자력시설의 공기정화시스템에서 사용되는 고성능필터(HEPA filter)의 효율시험은 0.3 μm 크기의 단분산 DOP입자를 사용한다. 고성능필터의 효율은 99.97 % 이상이 합격기준이며, 운반 또는 필터의 설치를 설치할 때 손상으로 인한 성능을 확인하기 위하여 현장누설시험을 실시하게 된다.

현장누설시험에서도 시약으로 DOP를 사용하여왔다. 현장에서 사용되는 DOP입자는 다분산입자 로써 MMD(Mass Median Diameter) 0.7 μm 의 크기를 갖는다. 현장시험에서 사용되는 입자의 크기는 ANSI/ASME N510-89의 규정에 의하면 3.0 μm 의 크기를 갖는 입자의 수가 99 %, 0.7 μm 의 입자가 50 %, 0.4 μm 크기의 입자가 10 % 이하이어야 한다.^[1]

DOP는 1980년도에 발암물질로 구분되어 취급과 관리를 하는데 매우 주의를 요하고 있다. 시험자들은 시험을 수행할 때 방독면과 방호복을 착용해야하며, 특수검진을 받아야 한다.^[2]

DOP는 시험자들에게 매우 위험하므로 미국 에너지성에서는 DOP 시약의 대체물질로서 옥수수 오일을 추천하였다. 시험결과 옥수수오일은 DOP와 같이 적합한 크기와 많은 양의 에어로졸을 발생시킬 수 있었지만 에어로졸이 응고되어 시험장비에 손상을 주며, 덕트에 응결되는 현상이 나타났다. 또한 시간이 경과된 후 불쾌한 냄새가 났다.

또 다른 대체 물질로서 PEG(polyethylene glycol 400)와 DOS(Dioctyl Sebacate)를 제시했다. PEG는 콜드 에어로졸발생기를 사용할 때는 우수하게 에어로졸이 발생되지만 대용량인 가열 에어로졸발생기에서 에어로졸이 발생되지 않아 사용이 불가능하였다.

DOS 시약의 경우 콜드와 가열 에어로졸발생기에서 DOP와 같은 성능으로 에어로졸을 발생시켰지만 화학구조가 거의 DOP와 비슷하여 결국 발암물질 규정되었다. 다음 대체물질로서 Emery 3004가 선정되었으며, WHC(Westinghouse Hanford Company)의 직원에 의해서 에어로졸 발생시험을 수행하였다. 그 결과 DOP 시약을 사용할 때와 같이 에어로졸발생에서 매우 좋은 경과를 얻었으며, 시험장비에도 손상이 없었다. 그리고 Emery 3004가 ANSI/ASME N510에 규정된 입자 크기 분포기준을 만족하는 지를 8개월 동안 실험한 결과, 미국에너지성의 고성능필터 시약의 대체물질로 승인 받게 되었다.^[3]

대체물질인 Emery 3004와 Emery 3006은 시약명이 PAO(Polyalphaolefins)이며, Henkel사의 상품명이다. Nuclear Consulting Service Inc.에서는 Emery 3004와 Emery 3006을 가지고 ANSI/ASME N510에 규정된 에어로졸입자 크기에 대한 분포 실험, 에어로졸 발생능력 실험, 점화온도실험 및 액체에서 기체로 변환되는 양의 실험을 수행하였다.^[4] 그 결과 액체에서 기체로 변환되는 양을 제외하고는 모든 결과가 거의 비슷하였다. 조사후시험시설에서도 시험자의 건강과 주변환경을 보호하고 Emery 3004 시약에 대한 시험평가기술을 확보하기 위하여 고성능필터에 대한 누설시험을 수행하였다.

2. 실험방법

가. 실험장치

고성능필터의 현장누설시험장치는 검출기와 에어로졸발생기로 구성된다. 에어로졸 발생기는 콜드 에어로졸발생기와 가열 에어로졸 발생기가 있다.

검출기는 한 대로 상류측과 하류측의 샘플농도를 번갈아 가면서 측정하며 ANSI/ASME N510 규정에 의하면 측정감도가 최소한 10^5 배인 검출기를 사용하여야 한다.

발생기는 필터뱅크의 풍량이 소량인 경우 콜드 에어로졸 발생기를 사용하며 대용량일 경우는 가열 에어로졸 발생기를 사용한다. 콜드에어로졸발생기는 Laskin 노즐과 Slit 노즐을 가진 두 가지 형태를 주로 사용한다. Laskin 노즐형태의 에어로졸발생기는 자체에서 제작하거나 상품화된 것을 사용하며, 노즐 한 개당 사용할 수 있는 필터의 풍량은 500 cfm 이다. Slit 노즐의 용량은 Laskin 노즐의 8배이며 소형으로 취급이 간편하여 주로 많이 사용하고 있다. 가열 에어로졸 발생기는 대용량의 필터뱅크에 사용하도록 제작되어 많은 에어로졸을 발생하지만 히터로 시약을 가열하여 에어로졸을 발생시킴으로서 가열되는 시간이 소요되며, 다른 필터뱅크를 시험할 때 발생기가 냉각될 때까지 기다려야 하는 단점이 있다. 조사후시험시설에서 시험에 사용한 에어로졸발생기는 Emery 3004 전용으로 제작된 가열 에어로졸 발생기이다. DOP와 Emery 3004는 서로 비등점이 다르기 때문에 검출기는 같이 사용하지만 에어로졸 발생기는 전용으로 사용한다.

나. 실험 방법

고성능필터의 현장누설시험은 ANSI/ASME N 510 규정에 따른다. 누설시험을 수행하기 이

전에 선행조건으로는 필터뱅크에 공기의 유량이 적합하게 유동하는가를 확인하기 위하여 풍량측정을 수행하여야 한다. 또한 에어로졸 발생 분포가 균일한가를 확인하기 위하여 에어로졸 발생 분포시험을 수행하여야 하며, 에어로졸이 분포가 균일하게 발생하기 위해서는 시료 주입구 위치는 덕트직경의 10배 거리이상으로 해야 한다.

Fig. 1은 고성능필터뱅크에 대한 현장누설시험 개략도를 나타낸 것으로 시험절차는 다음과 같다.

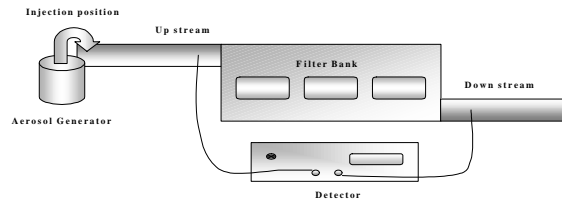


Fig. 1. Schematic diagram of in-place leak test for HEPA filter bank.

1) 예비 및 시험 준비사항

- (가) 필터뱅크 상류측에 에어로졸 발생기를 설치하고, 시료주입구 라인을 덕트에 연결한다.
- (나) 검출기를 설치하고 상류측과 하류측에 샘플채취라인을 연결한다. 이때 샘플채취라인은 상류측과 하류측의 길이가 같아야 하며 9 m를 초과하지 말아야 한다.
- (다) 검출기의 field calibration을 수행한다. 상류측 샘플라인에서 "0.01" rang에서 "10" 이상을 읽어야 하며, 또한 사무실에서 담배연기를 이용하여 field calibration 실시할 때는 "1" rage에서 "100" 이상 읽어야 한다 .

2) Emery 3004 에어로졸 발생기 가동절차

- (가) Pressure valve 를 "VENT" 위치로 돌려 용기의 압력을 제거한다.
- (나) Fill Port를 통해 Emery 3004를 적당하게 채운다.
- (다) Pressure valve 를 on시켜 압축공기(400~800 kPa)를 공급한다. 여기서 "Flow"밸브 또는 "Vapor" 밸브를 열지 않는다.
- (라) Main power 를 on 시킨다.
- (마) Heat switch 를 on 시킨다. (가열시간 15분, 400. C)
- (바) 시험 준비가 끝났을 때 Flow 밸브를 서서히 돌린다.
- (사) 측정된 필터뱅크의 공기량으로 시료 주입량을 계산하며, 식은 다음과 같다.

$$Emery\ 3004\ Flow = \frac{Airflow \times Concentration\ of\ Emery}{Generator\ Efficiency \times Emery\ 3004\ Specific\ Gravity}$$

3) 검출기 가동절차

- (가) Main Power 스위치를 켜다.
- (나) CAL. LIGHT와 SPAN을 " 0,0,0 " 에 놓고 TEST/CAL. 스위치를 CAL.로 위치한다.
- (다) AUTO/ MANUAL 스위치를 MANUAL로 놓고 UP/DOWN 스위치를 사용하여 메터에서 읽음값이 " 0.01 "이 되도록 한다.
- (라) ZERO Range를 사용하여 " 0 " 점 조정한다.
- (마) 계측기를 5분동안 안정시킨 후에 다시 " 0 " 점 조정한다.
- (바) " 0.01 " Range에서 지시값이 "100" 이 되도록 CAL. LIGHT Range로 조정한다.
- (사) Range를 " 0.1 " 에 놓으며, 메터에서 읽음값은 " 10 " 을 읽어야 한다.
- (아) CAL. LIGHT Range를 조정하여 " 100 "을 읽도록 한다.
- (자) Range를 " 1.0 " 에 놓으며, 이때에도 읽음값은 " 10 "이어야 한다
- (차) 모든 Range에 대하여 이 절차를 수행하며 오차는 ±10% 이내 이어야 한다
- (카) " 100 " Range의 읽음값이 " 10 "일 때 " 10 " Range로 돌리면 메터의 눈금은 "100" 읽어야 하며 오차는 ±10% 이내이다.
- (타) linearity check가 완성되면 AUTO/MANUAL 스위치를 AUTO로 전환시키고, ZERO control을 사용하여 " 0.01 " Range에서 " 0 "점을 조정한다.

4) 시험

- (가) 에어로졸발생기와 검출기의 가동준비가 완료되면 계산된 Emery 3004 유량을 Flow meter에서 조정하여 에어로졸을 분사시킨다.
- (나) UP STREAM/CLEAR/DOWN STREAM스위치를 UP STREAM으로 전환시키고 상류측의 값을 읽는다.
- (다) 검출기는 상류측 입자수의 다소에 따라서 Range는 자동으로 전환되며, 시험자는 메터에 지시된 값을 읽는다. 누설율 0.05%를 계산하기 위한 값은 " 1 " Range에서 " 100 "을 읽으면 충분하나 값이 적을 때는 SPAN을 사용한다.
- (라) 상류측 측정이 완료되면 광학챔버를 폐지시키기 위하여 스위치를 CLEAR로 전환시킨다.
- (마) 폐지가 완료되면 ZERO control를 이용하여 다시 " 0 "점 조정을 한다.
- (바) UP STREAM/CLEAR/DOWN STREAM스위치를 DOWN STREAM으로 전환시키고 하류측의 값을 읽는다.
- (사) 하류측값을 측정한 후에 UP STREAM/CLEAR/DOWN STREAM스위치를 UP STREAM으로 전환시켜 상류측의 값이 일정한지 확인한다.

5) 누설율 계산

고성능필터의 누설율 계산은 각 Range에서 측정된 상류측과 하류측의 값으로 계산되며 식은 다음과 같다. ^[5]

$$P = \frac{C_d}{C_u} \times 100$$

$$CE = 100 - \left[100 \times \frac{C_d}{C_u} \right]$$

P : Percent penetration(%)

C_d : Downstream concentration

C_u : Upstream concentration

CE : Contact efficiency(%)

3. 시험결과

고성능필터의 누설시험 시약인 Emery 3004는 미국 Westinghouse Hanford Co.에서 수 백개의 필터를 시험하여 시약의 유효성을 입증하였다. 조사후시험시설에서도 DOP 시약을 사용하였을 때와 비교 평가함으로써 시약의 유효성을 확인하고 시험기술을 확보하기 위하여 2개의 고성능필터뱅크를 선정하여 각 3회씩 수행하였다.

Table 1.은 누설시험시약 Emery 3004를 사용하여 고성능필터에대한 누설시험을 수행한 결과를 보여준다. 그 결과 필터뱅크 No. 1에서는 누설율이 0.004%, 0.003%, 0.004%이며, No. 2에서는 0.006%, 0.006%, 0.005%로 나타남으로써 Regulatory guide 1.14 판정 기준인 0.05%를 만족한다. 그러나 이 시험에서 사용된 것과 동일한 필터를 가지고 이전에 DOP 시약으로 수행한 결과들을 보면 누설율이 0.001% 정도로 나타났다. 이러한 결과는 대체물질인 Emery 3004를 사용할 때 보다 DOP를 사용할 때가 누설율이 적다는 것을 알 수 있다.

Table 1. Results of in-place leak testing for HEPA filter

구분	Filter bank No. 1			Filter bank No. 2		
	1회	2회	3회	1회	2회	3회
상류측 농도(100 range)	23	52	51	28	32	40
하류측 농도(0.01 range)	10	18	18	18	18	19
누설율 (%)	0.004	0.003	0.004	0.006	0.006	0.005

최근까지 고성능필터누설시험 시약으로 DOP가 사용되어 왔으나 국내에서 대체물질인 Emery 3004시약으로 시험을 수행하여 그 유효성을 확인하였다.

앞으로 국내 원자력시설에서도 시험자의 건강과 주변환경을 보호하고 Emery 3004 시약에 대한 시험평가기술을 좀더 확보하기 위하여 고성능필터에 대한 더 많은 실험이 뒷받침되어야 할 것이다.

4. 결론

고성능필터 누설시험시약 Emery 3004를 사용하여 필터의 누설시험을 수행하였다. 시험결과 누설율이 0.003 ~ 0.006%로 Regulatory Guide 1.14합격 기준인 0.05 %를 만족한다는 것을 확인하였다.

이 시약은 발암물질이 아니기 때문에 시험시 시험자의 건강뿐만 아니라 방독면과 방호복착용으로 인한 불편을 해소할 수 있는 이점이 있다. 따라서 향후 국내에서도 고성능필터의 누설시험시약으로 Emery 3004가 인정받을 경우 시험자가 발암물질을 취급에서 오는 불안감 해소할 뿐만 아니라 발암물질 취급에 대한 훈련, 방독면과 방호복 착용, 시험장소의 DOP 잔류여부 모니터링 및 출입금지 등의 부가적인 일이 감소될 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] C. A. Burchsted, J. E. Kahn " Nuclear Air Cleaning Handbook " Oak Ridge National Laboratory, P192-193, 1976.
- [2] D. H. Steffen, C.K. Girres, "Emery 3004 as a Challenge Aerosol : Operational Experience at Westinghouse Hanford Company", Westinghouse Hanford Company, 1992.
- [3] J. D. Baber, D.A. Gilles, " Emery 3004 as a Challenge Aerosol for HEPA Filter Testing" Energy Facility Contractors Group Conference San Francisco, Ca. 1994.
- [4] B. J. Kovach, et al, " Comparison of Emery 3004 and 3006 Characteristics with DOP for Possible use in HEPA Filter Leak Tests ", 23rd DOE/NRC Nuclear Air Cleaning and Treatment Conference, P758-765, 1995.
- [5] B. J. Kovach, " NUCON Aerosol Detector F-1000-DD Model F Operation and Maintenance Manual", NUCON International Inc., 1992