

조사후시험시설에서의 방사성 오염배기체의 포집장치 및 여과효율

Filtration System and its Efficiency of Exhaust System at Post Irradiation Examination Facility

황용화*, 이형권, 전용범, 민덕기, 엄성호, 홍권표
한국원자력연구소 핵연료주기시험부

요 약

조사후시험시설에는 시설내의 부압기준을 다르게 설정하여 시설의 운전조건을 최적화로 유지하고 방사성물질을 처리하기 위한 오염배기를 포집하는 여과장치가 설치되어 있다. 필터 포집장치에 대해 관련된 효율시험과 검사를 주기적으로 수행하여 운전효율과 안전을 향상시키고 있다.

ABSTRACT

Filtering system is installed at post irradiation examination facility(PIEF) to maintain optimized operating condition of the facility by keeping different negative pressure condition depending on contamination level in the PIEF due to its treatment of radioactive materials. Inspection on each system, filter leak test and other related test are periodically performed as the performance test for increasing operational efficiency and safety.

1. 서 론

다목적연구 원자로에서 조사된 방사능 물질인 핵연료, 노재료, 사용후핵연료봉 등으로 이런 핵물질의 안전 및 건전성을 평가하기 위한 시험을 수행할 때 시설에서 취급하는 핵연료로부터 방사성 부유입자, 방사성 기체 등 오염물질이 종사자의 피폭과 시설 내·외부로 확산되어 오염이 우려된다. 이런 사고를 미연에 방지하기 위해서는 시설내 부압유지와 배기체 여과장치가 필연적이다. 방사성 오염배기체를 포집에는 해파(HEPA)필터 및 활성탄 장치가 설치되어 있으며, 주기적인 누설을 및 효율시험을 실시하여 좋은 성능이 유지되고 있다.¹⁾

2. 배기체의 여과성능

2.1 방사성 해파(HEPA)필터 포집장치 및 여과효율

오염 배기체의 여과에는 저방사능작업구역(MUP, Medium Under Pressure)과 화학분석(FH, Fume Hood)에는 1단의 필터뱅크로 설치되고 핫셀과 같은 고준위 방사선이 존재하는 DUP(Deep Under Pressure)에는 2단 직렬의 필터뱅크가 있다.(Fig.1) 필터매질을 통과하는 투과공기는 공기 유속에 비례하며 필터의 기공발생 등의 결함이 있는 경우, 투과율은 급격한 증가로 이러한 거동은 해파필터의 결함유무를 판별하는데 매우 유용하다. 해파필터의 성능시험에는 DOP(Dioctyl

Phthalate) 입자발생기(NUCON F-1000-DG)와 입자검출기(NUCON F-1000-DD)가 필요하다. 입자발생기는 DOP를 가열하여 식(1)에 의해 적정량의 분무입자가 Fig.2와 같이 필터전단부(upstream)에 투입되어 흡입공기에 희석된다. 검출기는 필터 전·후단과 튜브로 연결되며 채취한 공기시료는 광산란방식에 의해 투과율과 효율이 측정된다. ANSI N-509 및 N510에 의해 5fpm(2.5Cm/sec)이하의 설계유속에서 0.3 μ m입자가 99.97%이상 여과효율을 기준으로 하고 있다. 현장누설시험에는 식(2)에 의해 DOP 누설율이 0.03% 이하로 유지되고 있으며 필터의 손상(편흔, 크랙, 가스켓 손상 등), 설치에 따른 누출 등의 점검이 실시되고 있다.^{2, 3)}

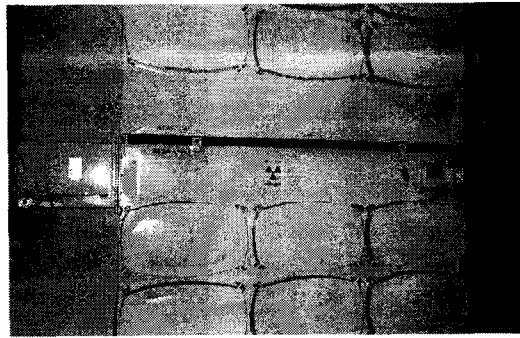


Fig.1 2-stage HEPA filter casing.

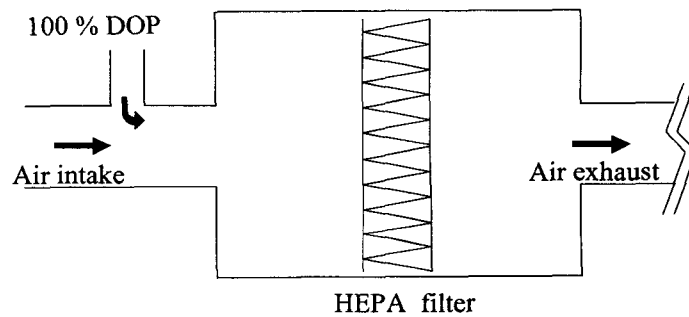


Fig.2 Testing of HEPA filter of each bank

$$\text{DOP유량} \quad DOP \text{ Flow} = \frac{\text{Air Flow} \times \text{Concentration of DOP}}{\text{Generator Efficiency} \times \text{DOP s.g.}} \quad (1)$$

공기유량 : Air Flow(cfm)

DOP 농도 : Concentration of DOP(gm/lit)

발생기 효율 : Generator Efficiency(%)

DOP s.g. : DOP Specific Gravity(g/lit)

$$\text{누설율} \quad \%P = \frac{C_d}{C_u} \times 100 \quad (2)$$

P = Percent Penetration

C_d = Downstream

C_u = Upstream

2.2 침착활성탄(Activated Charcoal)필터의 포집장치 및 여과효율

핫셀 배기체에는 Tray 타입(Fig.3) 활성탄필터를 설치하여 공기중의 분진을 포집하고 있으며, 핵연료에서 생성되는 요오드(I131)는 활성탄에 흡착·반응되어 여과되어진 된다. 포집장치는 Fig.3과 같이 R-11 추적(tracer)가스를 상류측에 투입하여 활성탄층으로 통과되며 할로겐검출기(halogen leak detector)에 의해 필터의 상·하류측에서 채취한 시료공기로 농도를 측정하고 있다. 추적가스의 양을 Fig.4와 같이 투입시키고 5분 동안 Upstream과 Downstream을 실시간 비교 측정한 결과 99.97% 이상의 성능이 유지됨을 알 수 있었다. 또 포집효율은 식(3)과(4)에 의해 설정되며 활성탄의 포집성능은 필터내의 공기풍속, 풍화(weathering) 지속기간 및 요오드의 함량에 따라 효율이 점차 저하되는 것으로 알려져 있다.

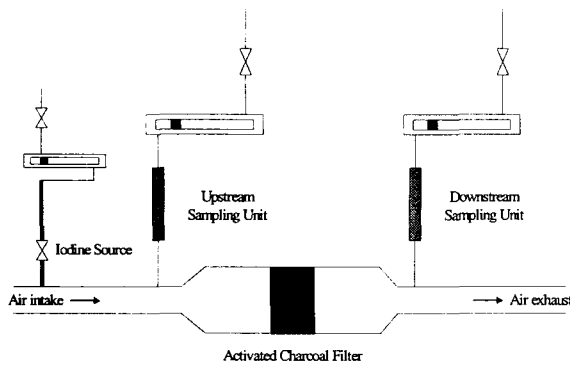


Fig.3 Test setup for radio-iodine tracer tests.

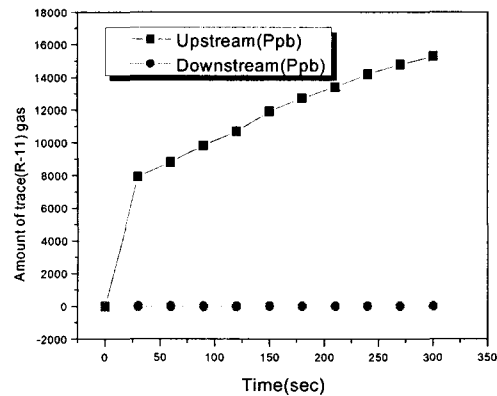


Fig.4 Amount of Trace gas(R-11)

$$\text{Leakage } P = 100 \times C_d / (C_u \times 1000) \quad (3)$$

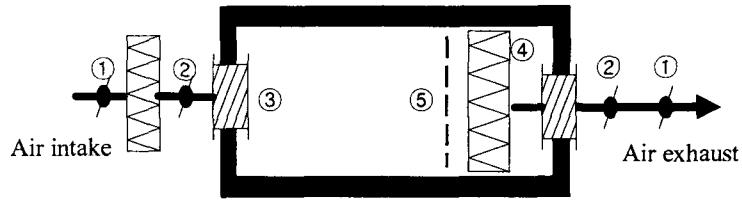
$$\text{Efficiency } E = 100 - [100 \times C_d / C_u \times 1000] \quad (4)$$

2.3 핫셀배기체 포집장치

핫셀(hot-cell)에는 핵료봉의 파괴 및 비파괴 실험으로 배출된 고준위의 방사능이 존재한다. 따라서 핫셀 전단으로 인입한 공기는 하단의 원통형 해파필터를 통과하여 핫셀 외부의 2단 직렬 배기체필터(Fig.5)에서 완전히 포집 여과시키고 있다. 공기의 유동이 상단부에서 하단부로 통과하면서 방사능 분진미립자가 자중으로 바닥에 가라앉도록 되어있고, 또 원통필터(cylindrical filter)를 셀 내에 장착하는 이유는 원격조종기(manipulator)로 필터교체가 용이하기 때문이다. 셀 내의 부압은 항상 15~25mmWg 범위로 유지하여 셀 외부로 오염공기 누출을 방지하고 있다.

2.4 필터의 초기차압 및 교체주기

필터의 차압 및 사용수명은 여과될 기체의 분진, 입자의 크기 및 시설내의 청결조건에 밀접한 관계가 있다. v-pleats type의 해파 신필터는 Fig.6에서와 같이 초기압손이 3,000CMH의 유량에서 25mmWg(1inch)이하이며 사용기간의 경과에 따라 약 2배의 차압이 발생하는 60mmWg에서 최종압손점으로 설정하였다. 그러나 100 μ g/m³/year의 분진포집 설계조건에서 볼 때 구조재의 손상 또는 효율저하가 없으면 최종압손점 이상까지도 사용이 가능하나, 필터의 손상방지와 안전을 위해



① Manual Damper ② Isolating Damper ③ Protective Damper
 ④ Absolute Filter ⑤ Spark Arrestor

Fig.5 In-output port of Hot-cell

50mmWg를 교체주기로 제시하였다. 최종압손점 이상(100mmWg)에서는 필터차압이 선형적인 상승이 나타났으며 여과재는 포화상태에 도달되었다. 여기부터는 허용범위 내의 공기배출이 어렵고 핀홀(pin-hole) 발생과 필터의 파손으로 이어질 수 있었다. 활성탄 카드리지(Fig.7)필터는 개당 150CMH에서 1inch 이내의 차압이 유지되며 2inch 차압까지 사용이 가능하였다. 누설시험은 ANSI 규정의 시험방법에 따라 매 18개월 주기로 실시되며 99.97%이상의 성능이 나타났다.

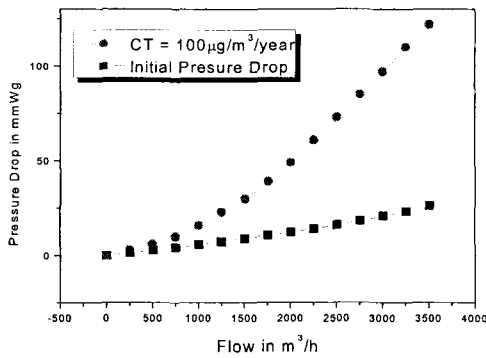


Fig.6 resistance & clogging capacities in HEPA filter(No.1506-26)

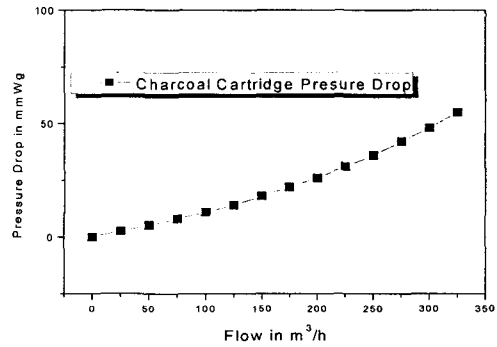


Fig.7 Charcoal cartridge characteristics & pressure drop (model 3604)

4. 결론

- 방사성오염 배기체 여과장치는 시설내의 방사능 부유입자와 유독가스를 포집하여 제거하는 것이 주목적으로 주기적인 성능시험과 필터에 대한 효율적인 측정기술이 중요하다.
- 해파필터 및 침적활성탄의 누설시험은 검출기의 예민한 특성으로 주변(background)의 영향을 많으므로 실험전에 충분한 실내환기가 필요하다.
- 포집장치는 정상상태로 점검 유지되고 ANSI에 규정한 이상의 여과효율이 나타났다. 또 정확한 데이터를 얻기 위해서는 많은 현장시험(field test)에 대한 경험이 요구되었다.

참 고 문 헌

1. Hwang, Y. H., 1999, KAERI/TR-1387/99, Design & Operation Technology of Ventilating System for Irradiated Materials Examination Facility, pp.17
2. C.A. Burchsted. Nuclear Air Cleaning Handbook (ERDA 76-21), pp198-205
3. Hwang, Y. H., 1997, KAERI/TR-943/98 Field Test of Radioactive High Efficiency Filter and Filter Exchange Techniques of fuel Cycle Examination Facility, pp. 13-20