

필터 교체 주기와 유지관리

2021. 10.28

(재)한국공기안전원
정문용

- 목 차 -

- I. HVAC 계통에 사용되는 HEPA 필터의 교체 주기 ?
- II. HVAC 계통에 사용되는 활성탄 필터(또는 흡착제)의 교체 주기?
- III. HEPA 필터와 활성탄 필터는 어떻게 취급되고 관리되어야 하는가?
- IV. HVAC 계통의 필터를 취급하고 관리 제안 사항

I. HVAC 계통에 사용되는 HEPA 필터의 교체 주기 ?

일반적인 공기필터(Pre or HEPA)는



물리적 기능 저하

시간 경과

수분 노출

수분노출 조건에서 HEPA 필터의 수명

| | 건식 여재 | |
|-----|--------|----------------------------|
| 조 건 | 건조한 조건 | 수분 노출 조건 (상대습도 70 % 이상) |
| 수 명 | 7 년 | 3 년 |

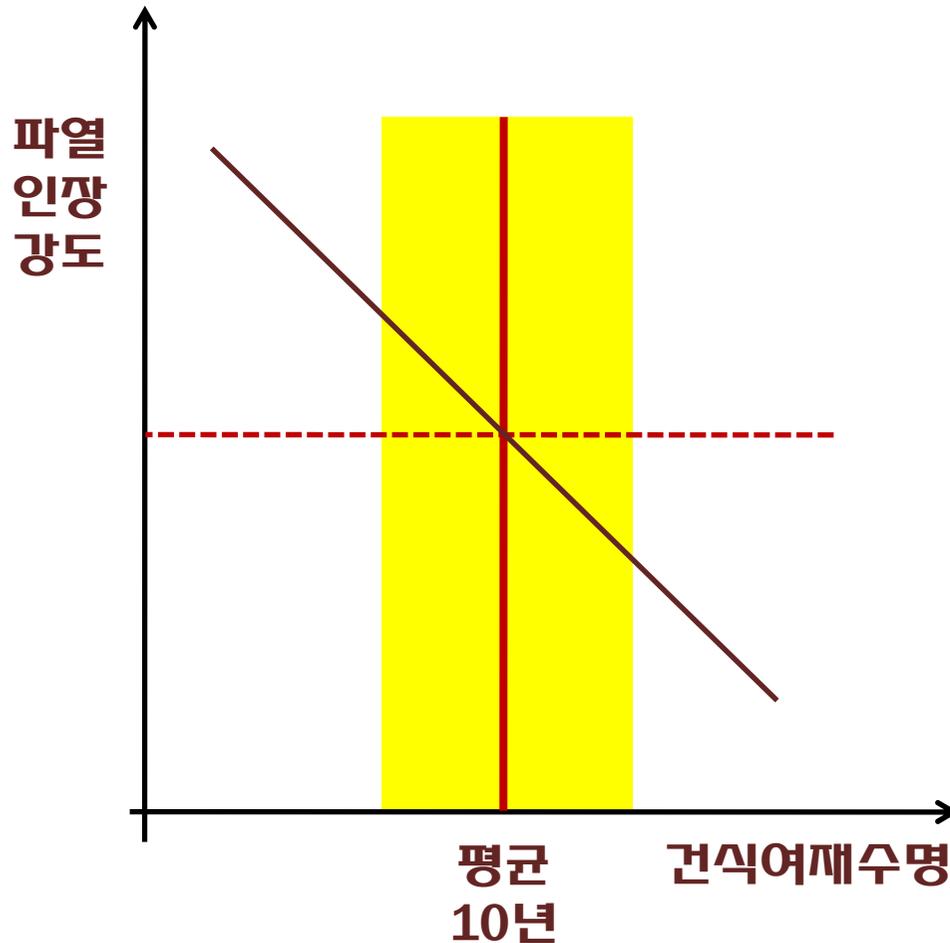
| | 헤 파 필터 | |
|-----|------------|-----------|
| 조 건 | 건조한 조건 | 수분 노출 조건 |
| 수 명 | 7 년 ~ 13 년 | 3 년 ~ 7 년 |

인장강도 감소
파열강도 감소
발수성 감소
평균 5년

수분에 노출이 되면 필터 여재의 강도가 더욱 감소.
-> 수명 단축에 기여

필터 여재의 발수성 감소도 수명에 영향을 미침
-> 여재를 주름 잡게 되는 순간부터 발수성이 감소되며,
주름진 여재가 수분을 흡착하게 되면 발수성 감소가 확대

최적 사용 조건에서 HEPA 필터의 수명



최적의 설치 조건(건조하고 청정한)에서 사용된 HEPA 필터의 경우라 하더라도

짧게는 7년 드물게는 13년이 지나면 HEPA 필터 여재가 지니는 인장강도의 설계기준 이하로 저하되는 것으로 예측.

따라서 최상의 운전 조건(건조하고, 청정한)에서 사용되었다 하더라도, HEPA 필터는 최대 10년 이내에 교체

참조문헌 : DOE-HDBK-1169
ASME-AG1, FK
KEPIC-MH, FK

공기가안전한^韓나라

HEPA 필터 차압에 따른 수명

[일반적인 필터 교체 차압의 기준]

원자력등급 HEPA 필터의 경우,
각 사용 기관의 관리 설정 조건에 따라 차이는 있지만
일반적으로 2.5 ~ 3.0 in.wg에서 교체하도록 하고 있음.

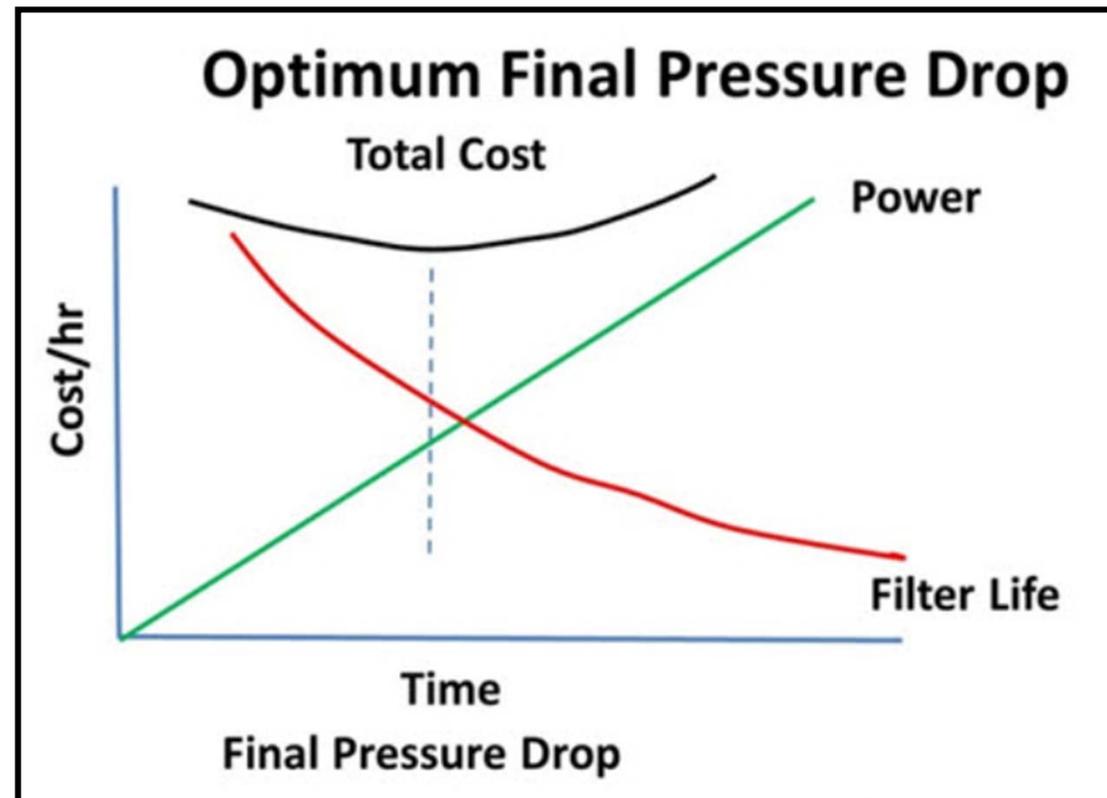
유량단위: cfm

| 구분 | 일반 정격유량 (250~1250) | 저유량/고유량용 (125이하, 1500이상) |
|---------|-----------------------|-----------------------------|
| 신규 필터 | 1.0 in.wg 이하 | 1.3 in.wg 이하 |
| 사용 중 필터 | 2.5 ~ 3.0 in.wg | 2.5 ~ 3.0 in.wg |

HEPA 필터 교체 차압 기준 설정

[필터의 계속 사용과 유지비용을 고려]

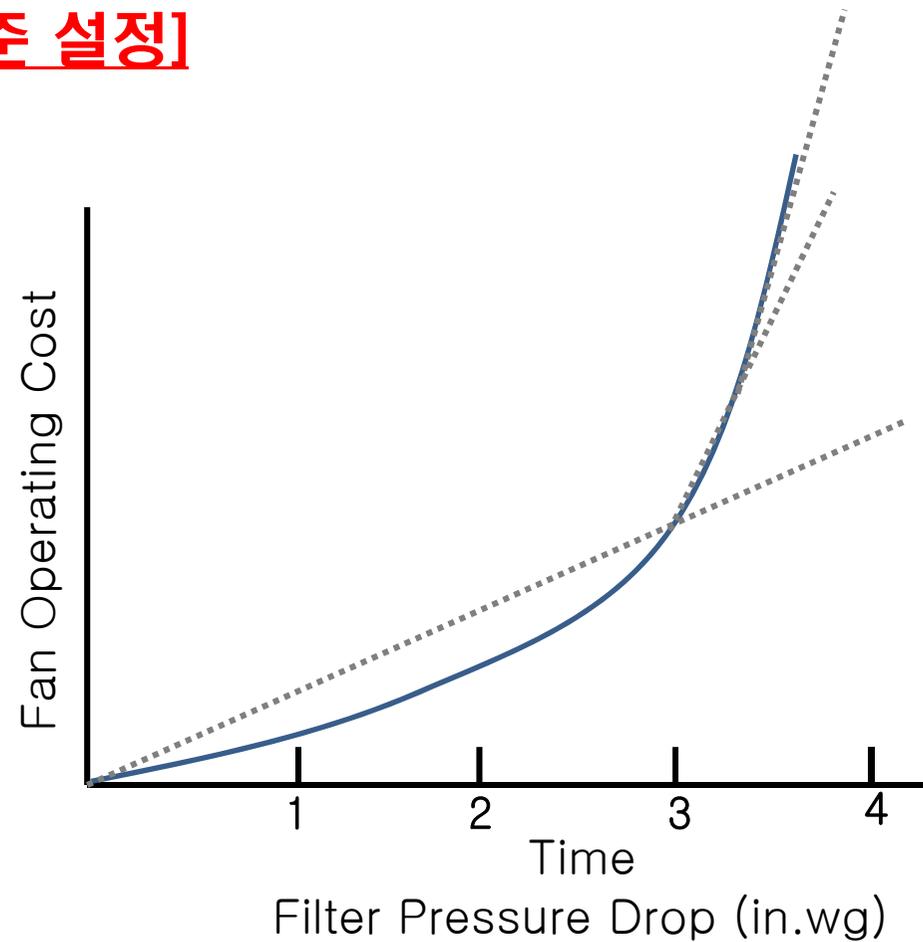
필터를 장기간 사용할 경우,
당연히 구매 비용의 절감으로
제품 구매비용은 감소할 수 있으나
반대로 동일한 정격 유량을
운전하기 위해서는 동력소모
비용이 매우 커짐



[합리적인 필터 차압 교체 기준 설정]

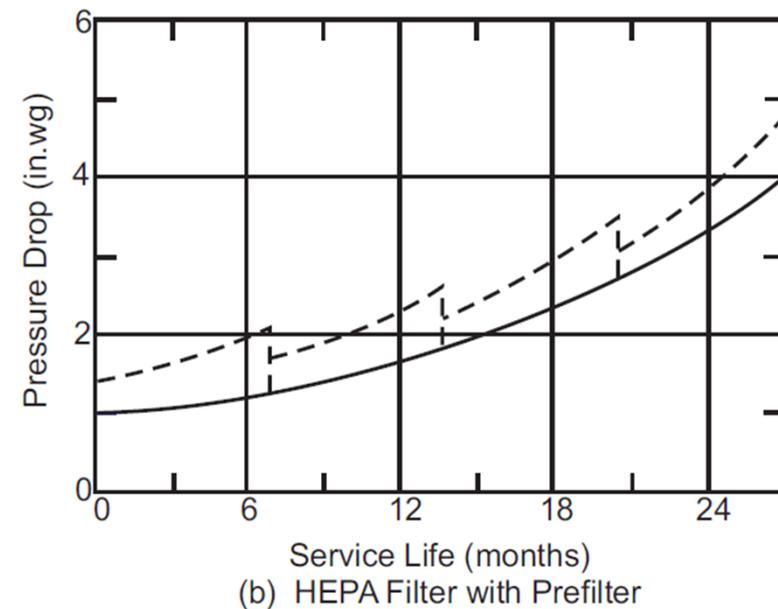
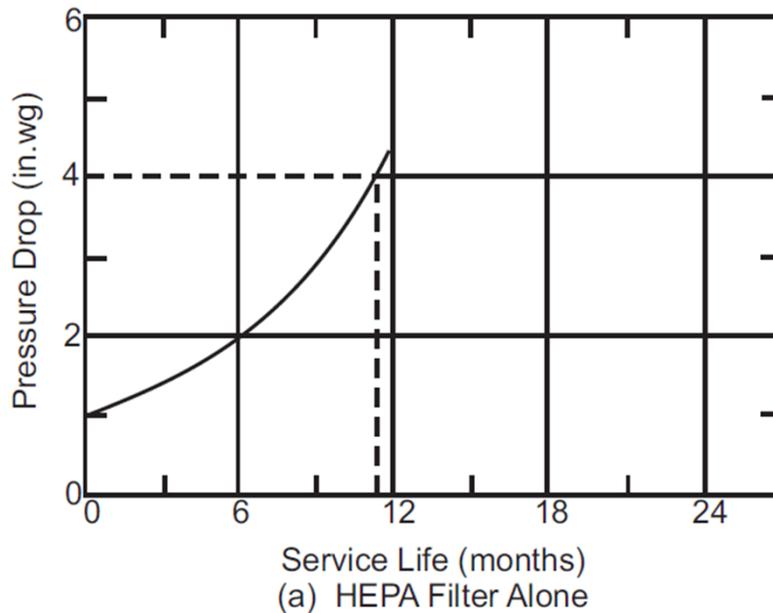
필터의 차압은 3인치를 넘어서면서 정격유량이 형성되지않 유지시켜주는 동력 운전 비용이 급격히 상승하게 됨

따라서, 교체차압을 준수하는 것은 유지비용의 효율적인 관리라는 측면에서 중요



[HEPA 필터 수명의 연장을 위해서]

HEPA 단독 보다는, HEPA 전단에 수명연장을 위해 PRE 필터(프리 필터, 또는 미들편터)를 설치하는 것만으로 차압 교체기준 수명을 확실히 연장할 수 있음.



원자력 등급 HEPA 필터의 교체 주기

| 교체 기준 | 교체 주기 |
|---|---------|
| 육안점검 중 사용 중 필터가 손상된 경우(찢어짐, 파괴 등) | 즉 시 |
| 필터 차압이 관리기준 초과 시 | 즉 시 |
| 주기적 필터 차압 관리 중 차압이 더 이상 증가하지 않거나 이전 기록수치보다 현저히 떨어진 경우 | 즉 시 |
| 필터뱅크 현장 누설시험 불합격 시 | 즉 시 |
| 필터 하류에서 위험물질 감지 시 | 즉 시 |
| 필터 여재가 수분에 직접적으로 노출 되었을 때 | 즉 시 |
| 200°F(121°C) 이상 높은 온도 사용 시 | 즉 시 |
| 스프레이 등 수분에 직접적으로 노출될 수 있는 계통에 장착 사용되는 필터 | 5 년 이내 |
| 건조한 양질의 조건에서 장착되어 사용된 필터 | 최대 10 년 |
| 최적의 환경으로 장기간 보관된 미사용 필터 | 최대 13 년 |

자료출처 : ASME-AG1/KEPIC MUB, DOE HDBK-1169

II. HVAC 계통에 사용되는 활성탄 필터(또는 흡착제)의 교체 주기 ?

원자력 등급 활성탄필터&흡착제의 수명

products (e.g., penetrations of four KI-I; impregnated activated carbons, claimed to be equivalent to one another, ranged from 0.28% to 12.8% in the 4-hr 180°C radioiodine desorption test)¹⁹ and, on occasion, between successive production lots of the same material. For this reason, the user should verify test results of production lots to satisfy himself that the product meets specification requirements. For conservatism, the efficiency values of Table 3.11 are recommended for design purposes. (These values are single-pass efficiencies, and the efficiency of a recirculating system would be multiplicative.)

Capacity. The capacity of a nuclear grade adsorbent is its breakthrough capacity, that is, the quantity of adsorbate (radioactive iodine or iodine compound) which, when charged to the adsorbent bed, results in the first appearance of the adsorbate in the effluent from the bed. Capacity is a function of the surface area of "active sites" in the adsorbent, and therefore of the depth and area of the beds. For impregnated activated carbons it is also a function of the nature, quantity, and condition of the impregnant.

Aging. Aging or weathering of activated carbon is the gradual deterioration of "active sites" due to oxidation of its surfaces or to desorption or chemical reaction (with environmental poisons) of its impregnant.²⁰ This deterioration results in decreases, with time, of capacity and efficiency, and thus affects the useful life of the carbon. There are currently no valid guides for estimating the useful life of activated carbon. Tests by the British in 1986, using coal-base activated carbon impregnated with KI and TEDA, indicated a life of 18 months in a continuously on-line system, 3 years in a standby (i.e., normally off-line) system, and 5 years for carbon kept in sealed

containers.²¹ Experience in the United States with coconut-base and certain experimental coal-base carbons indicates much more gradual, but still significant, aging effects.^{20,22} The numbers of the British tests can probably be ignored for practical purposes, but the ratio of the numbers is probably valid. That is, the carbon of a standby system can be expected to last about twice as long as the same grade of carbon when installed in a continuously on-line system. Therefore, test and experience data obtained from ERDA facilities with continuously vented containments can be extrapolated to the off-line system. Because of the uncertain life of activated carbon under normal operating conditions, NRC recommends that samples from ESF systems be taken for laboratory testing every 720 hr of fan operation. Installation of an elapsed timer on the fan is recommended as a means of timing the withdrawal of test samples. Regulatory Guide 1.52 gives the requirements for laboratory testing of used carbons, using the test procedures but not the acceptance criteria of RDTM-101 for new carbons.²³

The loss in capacity for elemental iodine is much slower than that for methyl iodide. Beds exposed continuously to flowing air at one installation showed adequate remaining capacity for elemental iodine after four years of service.²⁴ At other installations, however, exposure of the beds to paint and solvent fumes reduced capacity to the point that efficiency fell to unacceptable levels in only a few months.^{25,26} The loss of breakthrough capacity indicates (1) a need for routine analytical tests on samples taken from the bed to determine remaining capacity; (2) a need for conservative adsorbent design; and (3) the need to protect adsorbents from unnecessary exposure to moisture, hydrocarbons, and other poisons. There is no way to rejuvenate used carbon other than by complete reactivation, a process which is impossible for carbon that has been even slightly radioactively contaminated.²⁰

The use of a sacrificial or guard bed in advance of the active bed to protect the active bed from "tramp" contaminants was suggested several years ago and is still recommended where cost permits.²⁷ The guard bed can be filled with a less expensive carbon and does not require costly leak tests. In any event, adsorbents should be protected against fumes, dust, and dirt during construction and maintenance operations or they may have to be replaced before startup. It is strongly recommended that, in construction situations, adsorbents not be installed until the system is ready for startup. During maintenance

Table 3.11. Recommended design values for single-pass methyl iodide efficiency of full-scale adsorbents containing impregnated activated carbon

2-in. bed depth, 0.2-sec minimum gas residence time

| Relative humidity | Percent efficiency for radioiodine as methyl iodide | |
|-------------------|---|--------|
| | 70° F | 270° F |
| 85 or less | 95 | 98 |
| 90 | 90 | 90 |
| 95 | 80 | 70 |
| 98 | 70 | 30 |

자료출처 : ERDA 76-21 또는 KFTL 홈페이지 기술자료

KI 나 TEDA 함침된 활성탄은 연속해서 온라인 계통에서 사용하였을 때 18개월, 오프라인 예비 계통에서 3년, 사용하지 않고 격납밀폐되어 저장된 것이라 할지라도 5년의 사용 수명을 보이는 것으로 나타남.

또한 불확실한 수명 때문에 NRC에서는 매 팬 기동 사용시간 720시간이 경과된 시점에서는 시험소 시험을 수행할 것을 권장하고 있음. (샘플링 캐니스터)

활성탄 필터뱅크(흡착제) 교체 주기

| 교체 기준 | 교체 주기 |
|---|--------|
| 육안 점검 중 흡착기 베드에 공동이 발견된 경우 | 즉 시 |
| 개스킷 또는 필터 유닛이 손상 되었을 경우 | 즉 시 |
| 현장 누설시험 불합격 시 | 즉 시 |
| 활성탄의 방사능 흡착 시험에 부적합한 경우 (사용 중 경과 720시간 후, 또는 최소 2년 마다) | 즉 시 |
| 계통의 습도가 지나치게 높거나 물에 젖은 경우 | 즉 시 |
| 페인트, 신나, 기타 유기 용제 등에 노출된 경우 | 즉 시 |
| 계통에서 연속 사용 시 | 1년 6개월 |
| 예비 계통에서 간헐적 사용 시 | 3 년 |
| 포장된 상태에서 보관 시 | 5 년 |

자료출처 : ERDA 76-21, Reg. guide 1.140&1.52

III. HEPA 필터와 활성탄 필터는 어떻게 취급되고 관리되어야 하는가?

원자력 등급 HEPA 필터의 유지 관리

- 포장시 : ① 개별포장
 ② 판지상자에 포장된 필터의 모서리에
 여분의 충격 흡수재 포함
 ③ A형, C형 D형 필터 : 플리트가 수직
 B형 필터 : 플리트가 수평



원자력 등급 HEPA 필터의 유지 관리

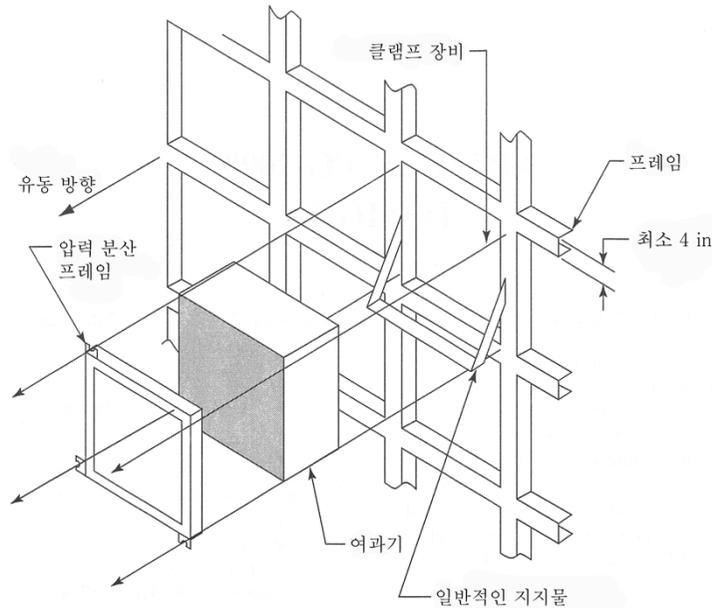
운송, 저장, 취급 시 :

- ① KEPIC-MHA, AA 7000 및 KEPIC-QAP-2 B등급
- ② 필터는 3개를 초과해서 쌓지 말아야 함.

KEPIC-QAP-2 B 등급 저장 :

- ① 내화성, 인열저항성, 내후성, 통기성이 좋은 건물 또는 이와 동등한 실내에서 저장
- ② 도난이나 파괴에 대한 주의 필요
- ③ 홍수 등 침수에 영향을 받지 않는 장소에 있고 건설되어야 하며,
배수가 잘되는 장소
- ④ 팔레트나 공기 순환이 잘 되는 침목 위에 저장
- ⑤ 균일한 온도가 유지되도록 관리되며, 응축과 부식을 방지할 수 있는 장소
- ⑥ 제작사 권장 저장 온도 범위가 없는 경우
일반적으로 최소 40 °F(5 °C) ~ 140 °F(60 °C)로 유지
- ⑦ 필터는 3개를 초과해서 쌓지 말아야 함.

원자력 등급 HEPA 필터의 장착



HEPA 필터의 장착 :

- ① 설치 방향 (A,C,D 형은 여재 주름이 수직, B 형은 수평)
- ② 클램프는 적어도 4개의 독립적인 압착점으로 클램핑
- ③ 개스킷 압착은 최소 개스킷 두께의 65 % ± 15 % 으로 균일하게 압착

흡착제의 유지 관리

흡착제의 보호

운송 준비를 완료한 이후에, 모든 포장, 운송 및 저장 절차는 흡착제의 사용 전에 노화나 마모 등에 의해 품질이 저하되지 않도록 보증

- ✓ 증기 유입을 최소화
- ✓ 주위로부터 내용물을 보호하도록 설계한 용기에 포장, 운송 및 저장
- ✓ KEPIC-QAP-2에 규정된 B 등급 품목의 요건에 따라서 포장, 운송 및 인수
- ✓ 흡착제는 운송 용기의 밀봉을 유지한 상태에서 저장

흡착제의 저장

운송 중인 경우를 제외하고 저장은 항상 다음의 시설을 갖춘 지역의 실내에 저장

- ✓ 배기 설비
- ✓ 최저온도 40 °F(4.4 °C) ~ 최고온도 120 °F(48.9 °C)
- ✓ 상대습도 70 % 이하
- ✓ 연기를 발생시키는 재료 또는 휘발성 유기 용매에 노출이 최소인 지역
- ✓ 기계적 충격 및 진동으로부터 보호되는 지역
- ✓ 저장은 빈번하게 움직이는 통로 근처, 진동장치 근처, 또는 작업자의 빈번한 접근이 필요한 단기보관 품목들 사이가 아닌 곳에 저장

흡착제의 용기

- ✓ 포장용기는 건전성이 유지
- ✓ 흡착제의 보호를 위한 기밀용기(vapor container)는 특히 건전성이 유지
- ✓ 저장 용기를 떨어뜨리거나 기울여 저장하지 않도록 주의

Type II 흡착기의 유지 관리

포장 시 :

- ① 개별포장
- ② -30 °F 140 °F(-34.4 °C ~ 60 °C)의 온도 범위에서 습기 및 수증기에 견디는 밀봉된 플라스틱 자루에 담음
- ③ 포장한 흡착기 셀은 50g의 가속도 하에서 충격 및 진동을 흡수하도록 내부에 완충장치를 설치한 나무상자나 판지상자에 차폐망이 수평이 되도록 담음
- ④ 나무상자나 판지상자는 취급, 운송 및 저장 중에 상자의 바른 방향을 확실하게 알 수 있도록 “윗면”이라는 설명문이나 유사한 문장을 표시

운송을 위한 적재:

- ① 규정된 방향으로 스킨드 또는 받침판에 끈으로 묶음
- ② 나무 분리대 및 가죽끈 보호대는 판지상자의 단(tire)과 단 사이 및 최상부 판지상자의 위에 설치
- ③ 스킨드 또는 받침판에 쌓아 올린 판지상자가 움직이지 않도록 충분한 가죽끈을 사용
- ④ 흡착기 셀은 스킨드 또는 받침판 위로 5단보다 높게 쌓아서는 안 됨
- ⑤ 바닥의 흡착기 셀이 손상되지 않도록 위의 단을 지지하는 버팀대를 설치하지 않을 경우에 스킨드는 2개보다 높이 쌓지 말아야 함

저장: 실내지역에 저장

- ① 환기가 잘되는 장소
- ② 최저 온도 40 °F(4.4 °C) ~ 최고 온도 120 °F(48.9 °C)에 저장
- ③ 연기를 발생하는 재료 또는 휘발성 유기 용매에 노출이 적은 장소
- ④ 판지상자에 화살표에 따라서 필터를 바른 방향으로 저장
- ⑤ 필터는 공장에서 포장한 판지상자에 저장하고, 설치 전까지 제거하지 않음
- ⑥ 꼬리표에 쉽게 접근할 수 있도록 필터를 저장
- ⑦ 통행이 빈번한 통로나 복도 근처, 진동장치 근처 또는 직원들이 빈번하게 접근하는 단기저장 품목들 사이에 저장하지 말아야 함
- ⑧ 저장용기가 떨어지거나 기울어지지 않도록 주의

용기:

- ① 일반적인 포장용기 및 특별한 증기용기(vapor container)의 건전성을 유지

Type III 흡착기의 유지 관리

저장, 취급 :

- ① KEPIC-QAP-2 C 등급
- ② 흡착제가 충전된 상태에서 운송 금지
- ③ 흡착제는 흡착제 저장 요건과 동일

Type IV 흡착기의 유지 관리

포장 :

- ① - 30 °F ~ 140 °F (- 34 °C ~ 60 °C)의 온도범위에서 수분 및 수증기에 견디는 밀봉된 플라스틱 자루에 담음
- ② 포장한 흡착기 셀은 내부에 완충장치를 설치한 나무상자나 판지상자에 차례로 담음
- ③ 흡착기 셀은 차폐망이 수평이 되도록 해서 나무 및 판지 상자에 담음
- ④ 나무 및 판지 상자는 취급, 운송 및 저장 중에 상자의 바른 방향을 확실하게 알 수 있도록 “윗면” 이라는 설명문이나 유사한 문장을 분명히 표시

운송을 위한 적재:

- ① 규정된 방향으로 스킨드 또는 받침판에 끈으로 묶음
- ② 나무 분리대 및 가죽끈 보호대는 판지상자의 단과 단 사이 및 최상부 판지상자의 위에 설치
- ③ 스킨드 또는 받침판에 쌓아 올린 판지상자가 움직이지 않도록 충분한 가죽끈 을 사용
- ④ 흡착기 셀은 스킨드 또는 받침판 위로 3단을 초과 해서는 않됨

저장: 실내지역에 저장

- ① 환기가 잘되는 장소
- ② 최저 온도 40 °F(4.4 °C) ~ 최고 온도 120 °F(48.9 °C)에 저장
- ③ 연기를 발생하는 재료 또는 휘발성 유기 용매에 노출이 적은 장소
- ④ 판지상자에 화살표에 따라서 필터를 바른 방향으로 저장
- ⑤ 필터는 공장에서 포장한 판지상자에 저장하고, 설치 전까지 제거하지 않음
- ⑥ 꼬리표에 쉽게 접근할 수 있도록 필터를 저장
- ⑦ 통행이 빈번한 통로나 복도 근처, 진동장치 근처 또는 직원들이 빈번하게 접근하는 단기저장 품목들 사이에 저장하지 말아야 함
- ⑧ 저장용기가 떨어지거나 기울어지지 않도록 주의

용기:

- ① 포장용기 및 가스 용기의 건전성을 운반, 취급, 저장 단계에서 지속적으로 유지

원자력 등급 활성탄 흡착기의 장착

카트리지형 흡착기(Type-II,IV) 의 장착 :

- ① 필터 제작사가 표시해놓은 방향으로 설치
- ② 클램프는 적어도 4개의 독립적인 압착점으로 클램핑
- ③ 개스킷 압착은 최소 개스킷 두께의 65 % ± 15 % 으로 균일하게 압착

벌크형(영구장착형) 흡착기 (Type-III) 의 충전 :

- ① 활성탄 충전 전 고정되어 장착되어 있는 흡착기 베드 구조물의 손상을 확인
- ② 제작사가 제공한 충전 매뉴얼에 따라서 충전
 - > 충전 시 에어포켓이 발생하지 않도록 진동 또는 다지기 등의 방법으로 충실하게 충전하여야 함
 - > 활성탄 흡착기 베드와 덮개 사이에 존재하는 공간의 최소 1/2까지 충실하게 충전

IV. HVAC 계통의 필터를 취급하고 관리 제안 사항

필터 유지 관리자 자격의 필요성

원자력시설 필터(헤파필터, 활성탄필터)의 설계성능의 지속적 유지관리는 매우 중요하다.

HVAC system 및 필터 부품의 유지관리는 교육과 유지관리 경험이 검증된 자가 수행하여야 한다.

필터 유지관리자의 최소 자격 요건(제안사항)

- ① KEPIC-MH 공기정화기술교육과
- ② 가동 중 HVAC 계통 유지관리교육을 이수한 자로써

설치, 시험, 운전 등의 경험이 풍부하고 능력이 검증된 자

감 사 합 니 다.