

입자 및 가스상 오염물질 제거 관련 국제 표준



신철웅

- 2011. 한양대학교 건축환경공학 석사
- 2022. 한양대학교 건축공학 박사수료
- 2010-2015. 한국건설기술연구원 석사후연구원
- 2015-현재. (재)한국건설생활환경시험연구원 책임연구원

1. 서 론

현대 사회에서 산업화에 따른 미세먼지(PM10), 초미세먼지(PM2.5), 유해가스 등의 오염물질이 인간의 건강과 환경에 미치는 악영향이 더욱 부각되고 있다. 또한 COVID-19 팬데믹은 전 세계적으로 공기 중 감염의 위험성을 부각시키며, 공기 정화 기술과 에어 필터의 중요성을 재조명하는 계기가 되었다. 이러한 공기 오염 문제를 해결하는 데 있어 섬유 산업이 중요한 역할을 하고 있다. 섬유 기반 에어 필터는 다양한 형태로 제조될 수 있으며, 공기 중의 오염물질을 효과적으로 포집하고 제거하는 데 유용하게 활용되고 있다. 특히 섬유 기반 에어 필터는 가벼우면서도 넓은 표면적을 가지며, 필터의 구조를 미세하게 조정함으로써 높은 여과 효율을 달성할 수 있다. 일반적으로 공기 중의 미세먼지를 제거하는 필터는 섬유직물, 부직포, 나노 섬유 등의 형태로 제작되며, 이를 통해 공기 중의 먼지, 박테리아, 바이러스 등을 걸러낼 수 있다. 또한, 활성탄이나 금속산화물 촉매를 포함한 특수 기능성 섬유는 유해가스를 흡착하거나 분해하여 더욱 깨끗한 공기를 제공하는 데 기여한다[1-2]. 산업 현장에서도 대기오염 저감을 위한 섬유 기반 필터의 적용이 점점 확대되고 있다. 발전소, 제조업 공장, 화학 시설 등에서는 각종 배출가스를 정화하기 위해 고성능 여과 시스템을 도입하고 있으며, 이를 통해 환경 규제를 준수하고 대기환경 개선에 기여하고 있다.

공기 정화를 위한 섬유 소재의 활용이 더욱 확대되고 있는 상황에서, 에어 필터의 성능을 객관적으로 평가하는 시험 방법의 중요성은 증대되고 있다. 섬유 기반 에어필터 제품의 신뢰성을 높이는 방안으로 국제 표준(ISO), 한국 산업 표준(KS), 해외 단체 표준(ASHRAE) 등의 시험 방법을 준수하여 필터의 성능을 검증하고 하는 것이 중요하다. 이에 본 고에서는 에어필터 성능평가를 위한 주요 국제 규격의 내용을 소개하고자 한다.

2. 입자상 오염물질 제거를 위한 시험 규격

2.1. ISO 16890 시리즈

ISO(International Organization for Standardization)는 국제표준화기구로서 다양한 분야의 시험 규격을 개발하여 보급하고 있다. ISO에서는 다양한 분야의 시험 표준을 관리하기 위하여 분야별 Technical Committees(기술위원회, 이하 TC)를 운영하고 있으며, 173개국의 정부와 각 분야의 전문가가 참여하고 있다.

입자상 오염물질 제거 성능에 대한 시험 표준은 ISO/ TC 142(Cleaning equipment for air and other gases)에서 운영하고 있다. 해당 기술위원회는 일반 환기 및 산업 응용을 위한 공기 및 가스 청소 및 소독 장비의 용어, 분류, 특성, 시험 및 성능 방법 분야의 표준화를 목적으로 13개의 Working group(이하 WG)을 운영하고 있으며, 개인용 보호구(ISO/TC 94)와 차량 등에 사용되는 필터(ISO/TC 22, TC 23, TC 127)는 다른 기술위원회에서 관리하고 있다. Table 1은 TC 142에서 관리 운영하고 있는 공기 정화 제품 군의 WG을 구분하고 있다. 대표적인 시험 규격인 ISO 16890시리즈는 WG 3(General ventilation filters), ISO 29463시리즈는 WG 4에서 제.개정을 담당하고 있다.

Table 1. ISO TC 142 WG List

Reference	Title
ISO/TC 142/WG 1	Terminology
ISO/TC 142/WG 2	UV-C technology
ISO/TC 142/WG 3	General ventilation filters
ISO/TC 142/WG 4	HEPA and ULPA filters
ISO/TC 142/WG 5	Dust collectors, droplet separators and purifiers
ISO/TC 142/WG 7	Cleanable filter media used in industrial applications
ISO/TC 142/WG 8	Gas-phase air cleaning devices
ISO/TC 142/WG 9	Particulate air filter intake systems for rotary machinery and stationary internal combustion engines
ISO/TC 142/JWG 10	Joint ISO/TC 142 - ISO/TC 85/SC 2 WG: Aerosol filters for nuclear Applications
ISO/TC 142/JWG 11	Joint ISO/TC 142 - IEC/TC 59 WG: Portable room air cleaners for comfort applications
ISO/TC 142/WG 12	Sustainability of air cleaning equipment and media
ISO/TC 142/WG 13	Biological equipment for waste gas treatment
ISO/TC 142/WG 14	Airborne microorganisms filtration and decontamination efficiency

ISO 16890 표준이 제정된 2016년 이전에는 EN 779 표준이 에어 필터의 대표적인 시험표준으로 유럽 등에서 활용되었다. EN 779는 0.4 μm 크기의 입자(시험 입자 : DEHS diethylhexyl-sebacate (Sebacic acid-bis(2-ethylhexyl) ester) 크기에서 평균 여과 효율(Em)을 측정하여 공조 및 산업용 필터에 대하여 필터 성능 등급을 표시하였다. EN 779 필터 성능 등급은 공조 설비 등을 운영하는 엔지니어에게 여과 효율 및 압력 손실에 대한 정

보 제공에 유용하게 활용되었다. 그러나 일반 사용자가 해당 정보를 파악하는데 한계점이 있었다. 이러한 요구에 따라 해당 분야 전문가 외 일반 사용자들이 필터 성능에 대한 정보를 파악하기 용이하게 하기 위하여 2016년 ISO 16890 시리즈 표준이 제정되었다.

ISO 16890 시리즈 표준은 Table 2와 같이 총 4개의 part로 구성되어 있으며, 현재 KS표준으로도 부합화되어 있다. Part 1은 ePM을 기반으로 한 기준과 분류, Part 2는 입자 포집 효율과 압력 손실 측정 방법, Part 3은 시험 분진의 질량 측정 기반 포집 효율과 압력 손실에 관한 시험방법, 그리고 Part 4는 최소 포집 효율 측정을 위한 전처리 방법을 규정하고 있다[3].

ISO 16890은 Figure 1과 같이 필터 효율을 측정하기 위한 입자 크기 구간 규정하였으며, 필터 등급을 판정하기 위한 최소 효율을 규정하고 있다. ePM10, ePM2.5 ePM1 에 대한 필터 효율 판정을 위한 입자 크기 구간을 설정하여 측정한다. ePM2.5, ePM1의 필터 효율 판정을 위해서는 최소 제거 효율이 50% 이상이 측정되어야 한다.

Table 2. ISO 16890

표준 번호	표준명	KS 부합화 여부
ISO 16890-1:2016	Air filters for general ventilation — Part 1: Technical specifications, requirements and classification system based upon particulate matter efficiency(ePM)	KS B ISO 16890-1:2023
ISO 16890-2:2022	Air filters for general ventilation — Part 2: Measurement of fractional efficiency and air flow resistance	KS B ISO 16890-2:2023
ISO 16890-3:2024	Air filters for general ventilation — Part 3: Determination of the gravimetric efficiency and the air flow resistance versus the mass of test dust captured	KS B ISO 16890-3:2021
ISO 16890-4:2022	Air filters for general ventilation — Part 4: Conditioning method to determine the minimum fractional test efficiency	KS B ISO 16890-4:2021

Group designation	Requirement			Class reporting value
	ePM ₁ , min	ePM _{2.5} , min	ePM ₁₀	
ISO Coarse	—	—	<50 %	Initial grav. arrestance
ISO ePM10	—	—	≥50 %	ePM ₁₀
ISO ePM2.5	—	≥50 %	—	ePM _{2.5}
ISO ePM1	≥50 %	—	—	ePM ₁

Figure 1. ISO 16890 Filter groups.

ISO 16890에 따른 필터 등급은 Table 3과 같은 절차로 진행된

다. ISO 16890-1에서는 초기효율값과 컨디셔닝된 효율값의 평균값을 에어 필터의 실제 효율을 예측하는데 사용된다. 실제 측정된 입경 효율은 ISO 16890-1에서 주어진 것과 부분적으로 다를 수 있다는 점에 유의해야 한다. 또한, ISO 16890-4로 적용되는 컨디셔닝 단계는 에어 필터에 부과된 정전기력을 제거하기 위한 단계로 일부 에어필터의 섬유 매트릭스의 구조나 섬유에 화학적 영향을 미치며, 심지어 필터 매체를 완전히 파괴하기도 한다. ISO 16890-4에 기술된 과정은 분진부하(dust load) 없이 필터 엘리먼트의 초기 성능에 대한 정전기적 효과의 정도를 정량적으로 나타낸다. 이는 정전력 효과가 완전히 제거되어 효율 증가의 어떤 보상도 없는 상태에서 얻을 수 있는 최고의 효율 수준을 나타낸다. 따라서, 컨디셔닝 단계 이후 입경 효율은 정전기력을 제외한 에어필터의 물리적 여과성능(중력(gravity), 관성력(inertia), 충돌(interception), 확산(diffusion))에 대한 성능을 의미하게 된다.

Table 3. ISO ePM 평가 프로세스

Step 1	ISO 16890-2에 따라 유량 함수로 유량에 따른 저항(압력손실) 측정
Step 2	ISO 16890-2에 따른 입자 크기 함수로서, 분진 미부하 및 정전력 미 제거 필터 엘리먼트의 초기 입경 효율 곡선(E_i) 측정
Step 3	ISO 16890-4에 따라 인공적인 컨디셔닝(정전력 제거) 단계 수행
Step 4	ISO 16890-2에 따라 최소 입경 효율과 동일한 입자 크기의 함수로서, 컨디셔닝된 필터 엘리먼트의 입경 효율 곡선($E_{D,i}$) 측정
Step 5	E_i 및 $E_{D,i}$ 로 평균 입경 효율 곡선($E_{A,i}$)을 다음 식으로 계산 ($E_{A,i} = 0.5 \cdot (E_i + E_{D,i})$)
Step 6	ISO 16890-1에 따라 ePM1, ePM2.5, ePM10 효율 및 최소 효율값 판정

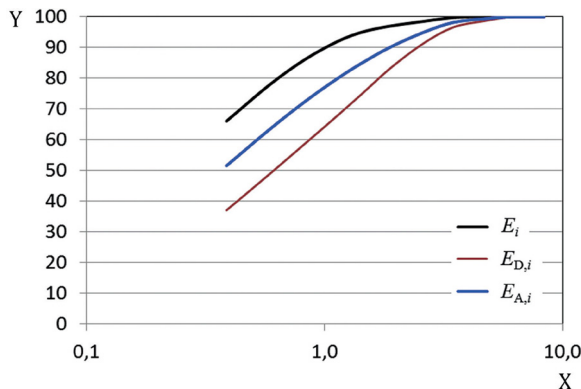


Figure 2. 입자 크기별 효율 곡선 예시.

2.2. ANSI/ASHRAE 52.2

ANSI/ASHRAE Standard 52.2(Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size)는 ASHRAE(The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 이하 ASHRAE)의 단체 표준이 ANSI(American National Standards Institute, 미국 국립 표준 협회)에서 채택하여 국가표준으로 운영하고 있다.

1999년에 최초 발표된 ASHRAE Standard 52.2 는 HVAC 시스템에 일반적으로 사용되는 에어 필터의 입자 크기별 효율 측정방법을 제시하고 있으며[3], 주요 측정 항목은 입자 크기별 효율 및 압력 손실, 부하분진유지용량(Dust Holding Capacity), MERV(Minimum Efficiency Reporting Value)이다.

ASHRAE 52.2는 1992년 제정된 ASHRAE 52.1과 2012년 개정을 통해 ASHRAE 52.2로 통합되었으며, 2017년 개정본이 현재 활용되고 있다. 시험 입자는 0.3~10.0 μm 의 입자 크기 구간을 12개로 구분하여 측정하며, KCl(Potassium chloride(염화칼륨)) 수용액으로 발생시키고, Loding dust는 ISO 12103-1, A2 Fine Test Dust, powdered carbon 그리고 cotton linters가 조합된 시험 분진을 사용한다(Figure 3).

시험 입자의 측정은 다음의 Table 4와 같이 12개 크기 구간으로 측정되어진다. 직경 범위의 0.3~10.0 μm 의 입자 크기를 상한입자크기와 하한입자크기로 분류하여 총 12개의 입자크기 구간을 설정하고, 최종 결과 보고 시 E1(Table 4, Size range 1~4), E2(Table 4, Size range 5~8), E3(Table 4, Size range 9~12)로 3개 구간으로 구분하여 판정한다[4].

ASHRAE 52.2에 따른 에어필터 성능 측정 절차를 Figure 4로 요약하였으며, 측정 절차에 따라 측정된 입자 크기 구간별 PSE(Figure 5)를 측정하여, 최소 PSE 값을 기초로 복합 최소 효율 곡선(Figure 6)을 다음과 같이 도출한다. 도출된 복합최소효율값을 E1(Size Range 1~3), E2(Size Range 5~8), E3(Size Range 9~12) 그룹에 따라 계산하여 최소 PSE를 산출하여 MREV Parameter(Figure 7)에 따라 판정한다.

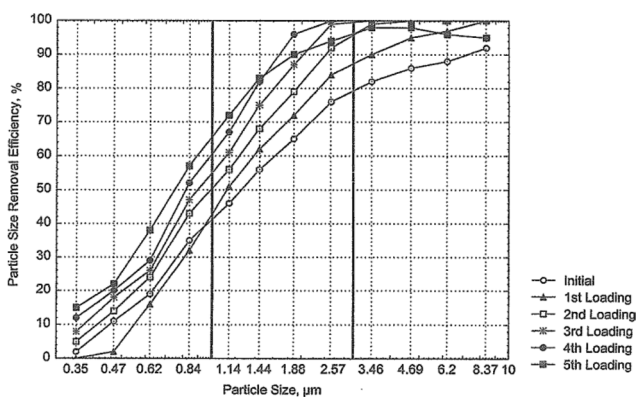
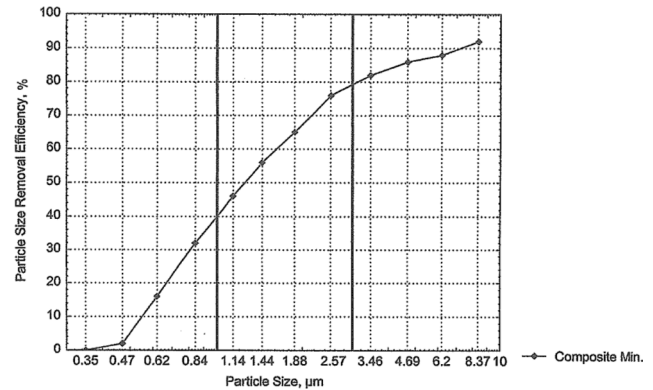


Figure 3. ASHRAE 52.2 Test Wind Duct.

Table 4. Particle Counters Size Range Boundaries

Size Range	Size Range Boundaries		Geometric Mean Particle Size, μm
	Lower Limit, μm	Upper Limit, μm	
1	0.30	0.40	0.35
2	0.40	0.55	0.47
3	0.55	0.70	0.62
4	0.70	1.00	0.84
5	1.00	1.30	1.14
6	1.30	1.60	1.44
7	1.60	2.20	1.88
8	2.20	3.00	2.57
9	3.00	4.00	3.46
10.	4.00	5.50	4.69
11	5.50	7.00	6.20
12	7.00	10.00	8.37

상관비 측정(최소 3회)	
저항/유량측정	
초기 PSE 측정	•분진투입전(Initial)
1차 분진부하	•분진 30 g 투입 또는 시험체 압력손실 10 Pa 증가 시
PSE 측정	•1st Loading PSE
2차 분진부하	•최종저항의 25 % 시점
PSE 측정	•2nd Loading PSE
3차 분진부하	•최종저항의 50 % 시점
PSE 측정	•3rd Loading PSE
4차 분진부하	•최종저항의 75 % 시점
PSE 측정	•4th Loading PSE
5차 분진부하	•최종저항의 100 % 시점
PSE 측정	•5th Loading PSE

Figure 4. MERV Test Process.**Figure 5.** 입자 크기 구간별 PSE 곡선(발췌 ANSI/ASHRAE 52.2 예시).**Figure 6.** 복합최소효율곡선(발췌 ANSI/ASHRAE 52.2 예시).

Standard 52.2 Minimum Efficiency Reporting Value (MERV)	Composite Average Particle Size Efficiency, % in Size Range, μm			Average Arrestance, %
	Range 1 0.30 to 1.0	Range 2 1.0 to 3.0	Range 3 3.0 to 10.0	
1	N/A	N/A	$E_3 < 20$	$A_{avg} < 65$
2	N/A	N/A	$E_3 < 20$	$65 \leq A_{avg}$
3	N/A	N/A	$E_3 < 20$	$70 \leq A_{avg}$
4	N/A	N/A	$E_3 < 20$	$75 \leq A_{avg}$
5	N/A	N/A	$20 \leq E_3$	N/A
6	N/A	N/A	$35 \leq E_3$	N/A
7	N/A	N/A	$50 \leq E_3$	N/A
8	N/A	$20 \leq E_2$	$70 \leq E_3$	N/A
9	N/A	$35 \leq E_2$	$75 \leq E_3$	N/A
10	N/A	$50 \leq E_2$	$80 \leq E_3$	N/A
11	$20 \leq E_1$	$65 \leq E_2$	$85 \leq E_3$	N/A
12	$35 \leq E_1$	$80 \leq E_2$	$90 \leq E_3$	N/A
13	$50 \leq E_1$	$85 \leq E_2$	$90 \leq E_3$	N/A
14	$75 \leq E_1$	$90 \leq E_2$	$95 \leq E_3$	N/A
15	$85 \leq E_1$	$90 \leq E_2$	$95 \leq E_3$	N/A
16	$95 \leq E_1$	$95 \leq E_2$	$95 \leq E_3$	N/A

Figure 7. MERV Parameters.

3. 가스상 오염물질 제거를 위한 시험 규격

고성능 에어필터는 반도체, 디스플레이, 제약 바이오 등 첨단 산업에 적용되는 클린룸 등 적용되고 있으며, 해당 시설에 적용되는 표준은 더스트, 파티클, 에어로졸 등을 대상으로 에어필터 성능 평가 방법(ISO 29463 시리즈, EN 1822)이 주로 활용되고 있다. 클린룸에서 제조되는 첨단 제품에 화학물질로 인한 제품 불량 및 수율에 대한 제조사의 관리가 강화되고 있는 실정이다. 공기중 비산되는 가스상 오염물질(화학물질) 제거와 관련하여 많이 알려져 있는 표준은 도로차량용 캐빈필터(ISO 11155-2, DIN 71460-2) 표준이 일부 활용되고 있으나, 제조공정에서 발생하는 화학물질 제거를 위한 시험표준기반 확보 및 활용이 저조한 실정이다. 첨단 소재 및 제품 제조 현장에서는 가스상 오염물질 제거를 통한 제품 생산성 향상을 위하여 기술개발이 이루어지고 있으며, 이와 관련한 성능평가 방법에 대한 요구도 증대되고 있다.

3.1. ISO 10121

가스상 오염물질을 제거하는 공기정화장치(케미컬 필터)의 성능에 대한 시험 표준은 ISO/TC 142(cleaning equipment for air and other gases) WG 8에서 담당하고 있다. 가스상 오염물질 제거 장치(제품)에 대한 시험 표준은 2013년 처음 제정되었으며, 2014년 제품 구성품(모듈, 소재)에 대한 시험방법이 제정되었다. 2022년 ISO 16890-1 입자상 오염물질 제거 장치(제품)의 등급분류 표준이 제정된 후, 가스상 오염물질 제거장치(제품)에 대한 등급분류 표준이 제정되었다.

ISO 10121은 일반 공조시스템에 적용 가능한 공기 정화 장치에 대하여 가스상 오염물질을 제거하는 시험방법을 3개 Part로 구성하여 제공하고 있다. Part 1은 가스상 오염물질을 제거하는 공기 정화 장치에 사용되는 원단(media)에 대한 시험방법, Part 2는 공기정화장치(GPACD, gas-phase air cleaning devices)를 대상으로 성능평가 방법, Part 3은 실외 공기 처리에 적용되는 공기정화장치 분류 시스템에 대하여 기술하고 있다.

Table 5. ISO 10121 표준

표준 번호	표준명
ISO 10121-1:2014	Test method for assessing the performance of gas-phase air cleaning media and devices for general ventilation — Part 1 : Gas-phase air cleaning media
ISO 10121-2:2013	Test method for assessing the performance of gas-phase air cleaning media and devices for general ventilation — Part 2 : Gas-phase air cleaning devices (GPACD)
ISO 10121-3:2022	Test method for assessing the performance of gas-phase air cleaning media and devices for general ventilation — Part 3 : Classification system for GPACDs applied to treatment of outdoor air

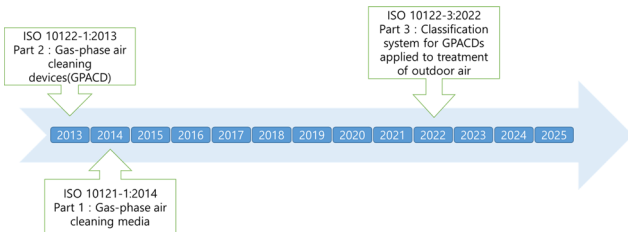


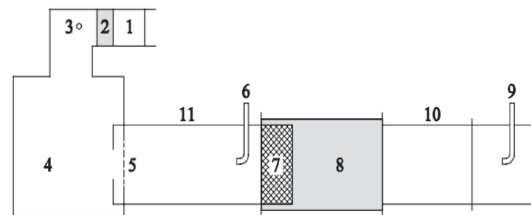
Figure 8. ISO 10121 제정.

ISO 10121-2 시험 대상 가스상 오염물질은 산성, 알칼리성, 휘발성유기화합물, 기타 gas로 구분하여 적용된다. Table 6은 시험용 가스 종류에 따른 시험 농도를 나타냈다. ISO 10121-2에

따른 공기정화장치의 성능 항목은 필수 측정 가스(산성 : 이산화황 / 알칼리성 : 암모니아 / 휘발성유기화합물 : 톨루엔 / 기타 가스 : 오존)에 대한 초기 효율 및 제거 용량 시험을 진행한다. 시험 장비의 모식도는 Figure 9에 나타냈다.

Table 6. ISO 10121 시험용 가스의 종류 및 농도

시험용 가스 종류	화학물질명	시험 농도(ppm)
산성 (Acid Gases)	이산화황(SO ₂)	(0.9 ± 5)% (9 ± 5)% (90 ± 5)%
	황화수소(H ₂ S)	
	이산화질소(NO ₂)	
	일산화질소(NO)	
알칼리성 (Alkaline gases)	아세트산(CH ₃ COOH)	(0.9 ± 5)% (9 ± 5)% (90 ± 5)%
	메틸피롤리돈(C ₄ H ₉ NO)	
VOC 계열	톨루엔(C ₆ H ₅ CH ₃)	(0.9 ± 5)% (9 ± 5)% (90 ± 5)%
	아이소프로판올(C ₃ H ₈ O)	
	아이소부탄올(C ₄ H ₁₀ O)	
	헥산(C ₆ H ₁₄)	
	테트라클로로에틸렌(C ₂ Cl ₄)	
	포름알데히드(CH ₂ O)	
	에탄올(C ₂ H ₆ O)	
기타 (Other Gases)	부탄(C ₄ H ₁₀)	(0.9 ± 5)% (9 ± 5)% (90 ± 5)% (900 ± 5)% 또는 (9000 ± 5)%
	오존(O ₃)	
	염소(Cl ₂)	
	일산화탄소(CO)	
	이산화탄소(CO ₂)	



Key

- 1 HEPA filter
- 2 GPACD to clean supply air
- 3 challenge injection point
- 4 mixing chamber
- 5 perforated plate (diffusor and Δp device)
- 6 upstream sample point
- 7 GPACD under test
- 8 GPACD section
- 9 downstream sample point
- 10 downstream duct
- 11 upstream duct

Figure 9. ISO 10121-2 Test Duct 모식도.

3.2. ANSI/ASHRAE 145

ASHRAE Standard 145은 2개의 표준으로 구성되어 있다. ASHRAE Standard 145.1은 2008년 제정 후, 2015년 개정이 진행되어 현재까지 사용되고 있으며, 2024년 현재 2차 개정이 진행 중이다. 이 표준은 공기정화장치에 적용되는 부품(원단, 소재)를 대상으로 높은 농도에서의 제거효율을 측정하는 시험 표준으로 공기정화장치의 설계 및 구성에 대한 정보 제공이 목적임을 알 수 있다. 가스상 오염물질 정화를 위한 원단(Table 8, Figure 10 참조)에 대한 표준화된 시험실의 시험방법을 기술한 표준이다.

ASHRAE Standard 145.2은 2011년 제정 후, 2016년 개정이 진행되어 현재까지 사용되고 있으며, 이 표준은 가스상 오염물질 제거하기 위한 공기 정화 장치의 성능을 평가하기 위한 표준 실험실 시험 방법을 기술하고 있다. 시험 덕트 내 흡착 매체(흡착 매체는 오염 가스를 흡착하거나 화학적으로 반응하여 작동하는 입상 또는 시트 또는 주름진 공기 청정기의 활성 물질로 정의, ASHRAE Standard 145.2)(공기정화장치)를 설치하여 성능을 측정하기 위한 방법을 규정하고 있다.

Table 7. ANSI/ASHARE 표준 145

표준 번호	표준명
ANSI/ASHARE 145.1	Laboratory Test Method for Assessing the Performance of Gas-Phase Air-Cleaning Systems: Loose Granular Media
ANSI/ASHARE 145.2	Laboratory Test Method for Assessing the Performance of Gas-Phase Air-Cleaning Systems: Air-Cleaning Devices

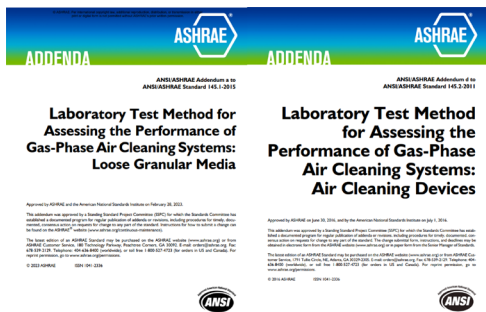


Figure 10. ANSI/ASHRAE 145 -1/-2.

ANSI/ASHRAE 145-2 시험 대상 가스상 오염물질은 ISO 10121-2와 동일하게 산성, 알칼리성, 휘발성유기화합물, 기타 가스로 구분하여 적용된다. Table 8은 시험용 가스 종류에 따른 최소·최대 시험 농도를 나타냈다. 필수 측정 가스는 ISO 10121-2과 동일하고, 공기정화장치의 성능 항목은 초기 효율 및 탈착 용량 시험을 진행한다. 시험 장비의 모식도는 Figure 11에 나타냈다

Table 8. ANSI/ASHARE 145 시험용 가스종류

시험용 가스 종류	화학물질명	최소 농도 (ppb)	최고 농도 (ppm)
산성 (Acid Gases)	이산화황(SO ₂)	50	35
	황화수소(H ₂ S)	100	25
	이산화질소(NO ₂)	50	30
	염화수소(HCl)	75	5
알칼리성 (Alkaline gases)	암모니아(NH ₃)	100	75
	메틸피롤리돈(C ₅ H ₉ NO)	100	5
VOC 계열	톨루엔(C ₆ H ₅ CH ₃)	400	50
	아이소프로판올(C ₃ H ₈ O)		35
	아이소부탄올(C ₄ H ₁₀ O)		45
	헥산(C ₆ H ₁₄)		25
	테트라클로로에틸렌(C ₂ Cl ₄)		25
	에틸메틸케톤(C ₄ H ₈ O)		65
	벤젠(C ₆ H ₆)		60
	아세톤(C ₃ H ₆ O)		20
	사이클로헥산(C ₆ H ₁₂)		55
	사이클로펜테인(C ₅ H ₁₀)		50
	다이클로로메테인(CH ₂ Cl ₂)		50
	m-자일렌 o-자일렌 p-자일렌		45
기타 (Other Gases)	오존(O ₃)	75	0.5
	염소(Cl ₂)	100	30
	일산화탄소(CO)	100	35
	이산화탄소(CO ₂)	400	5000

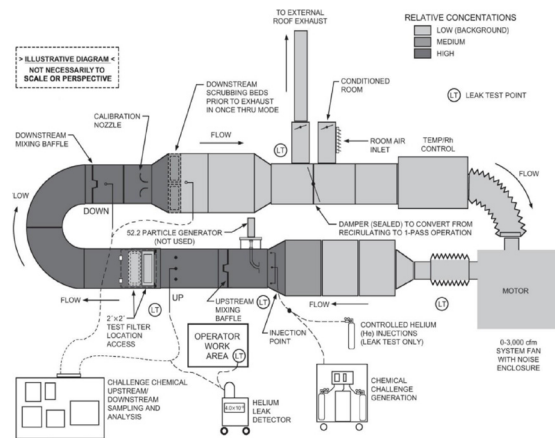


Figure 11. ASHRAE 145-2 Test Duct 모식도.

4. 결 론

본 고에서는 대기 및 실내 또는 특정환경에서 존재하는 입자 및 가스상 오염물질 제거에 사용되는 에어 필터의 성능을 측정하는 국제표준을 소개하였다. ISO와 ASHRAE 표준은 국내외 필터 분야의 대표표준으로 사용되고 있으며, 입자상 오염물질 제거를 위한 시험 기반은 국내 다수 기관에 구축 운영되고 있다. 하지만 가스상 오염물질 측정을 위한 평가 기반은 미흡한 실정이다. ASHRAE 표준은 미국 국가표준이지만 ISO 표준과 동등한 지위의 표준으로 사용되고 있으며, 클린룸 적용 케미컬 필터 성능평가를 위한 대표 표준으로는 활용되고 있다.

다양한 환경에서 발생하는 입자 및 가스상 오염물질을 효과적으로 여과 또는 제거하는데 섬유소재 에어 필터는 매우 적합한 핵심 소재로 사용되고 있다. 정밀 제조 환경이 요구되는 첨단 산업의 발전을 위해서는 내·외부 오염원으로 부터 제품 공정 및 환경을 보호하기 위한 필터 개발이 필수적이다. 섬유 기반 필터 제품은 가정용 공기청정기부터 의료용 주사기 필터, 반도체 클린룸 ULPA 필터까지 다양한 산업분야에서 폭넓게 사용되고 있으며, 해당 제품 및 환경의 최적 성능을 구현하기 위한 성능 평가의 중요성은 증대되고 있다.

참고문헌

1. H.S. Park, “일반 환기용 에어필터 성능평가를 위한 국제 시험기준”, *Air cleaning technology*, 2013, **26**(4), 39-60.
2. Y.S. Kim, “최신 에어필터 기술 - 최근의 청정환경용 에어필터 및 섬유소재 제조기술 동향”, *Air cleaning technology*, 2020, **33**(1), 8-22.
3. M.K. Sung, “미세먼지 저감을 위한 환기장치용 에어필터 성능 기준의 최신 동향”, *그린빌딩(한국그린빌딩협회의지)*, 2019-03, 20(1), 13-19.
4. J.K. Cho, “ASHRAE Standard 52.2의 에어필터 적용범위 고찰”, *설비저널*, 2021, **50**, 90-94.
5. ISO 16890-1:2016, Air filters for general ventilation —Part 1: Technical specifications, requirements and classification system based upon particulate matter efficiency(ePM).
6. ISO 16890-2:2022 Air filters for general ventilation —Part 2: Measurement of fractional efficiency and air flow resistance.
7. ISO 16890-3:2024, Air filters for general ventilation — Part 3: Determination of the gravimetric efficiency and the air flow resistance versus the mass of test dust captured.
8. ISO 16890-4:2022, Air filters for general ventilation — Part 4: Conditioning method to determine the minimum fractional test efficiency.
9. ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2017, Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size.
10. ISO 10121-1:2014, Test method for assessing the performance of gas-phase air cleaning media and devices for general ventilation— Part 1 : Gas-phase air cleaning media.
11. ISO 10121-2:2013, Test method for assessing the performance of gas-phase air cleaning media and devices for general ventilation — Part 2 : Gas-phase air cleaning devices(GPACD).
12. ISO 10121-3:2022, Test method for assessing the performance of gas-phase air cleaning media and devices for general ventilation — Part 3 : Classification system for GPACDs applied to treatment of outdoor air.
13. ANSI/ASHARE 145.1, Laboratory Test Method for Assessing the Performance of Gas-Phase Air-Cleaning Systems: Loose Granular Media.
14. ANSI/ASHARE 145.2, Laboratory Test Method for Assessing the Performance of Gas-Phase Air-Cleaning Systems: Air-Cleaning Devices.