

HEPA Filter를 이용한 미세입자 거동에 관한 연구

김원강*

조선대학교 환경공학과

A study on the Behavior of Fine Particle used the HEPA Filer

Won-gang Kim*

Department of environmental engineering Chosun university

Abstract

In this paper, I examined the level of fine dust in medical institutions, educational institutions and multi-purposed facilities to grasp the exact state of the present, and decided the level of air-borne particulate(KSM ISO Standard and ISO Standard 14644-1).

We compared new proposed cleaner equipped with HEPA Filter with general cleaner and analyzed the rate of removal according to height, air volume and the equipment with the compulsive air intake. Through this comparison, I reached the conclusion as follows:

1. According to the examination, the fine dust of medical institutions, educational institutions and multi-purposed facilities in Kwang Ju is class 9.
2. The filter used in general cleaner on the market is that of HEPA-type, and its removal efficiency for fine particles(0.3~0.5 μ m) is very low.
3. In the removal efficiency of new proposed cleaner equipped with HEPA Filter, the higher it is, the better, especially more than 180cm in height.
4. In case it is operated for 5 minutes under the condition of the space of 9.4m' and the maximum air volume equipped with two induction pipes, we can keep the air cleanness level of 5 ~ 6.
5. To maintain the air cleanness for a long time, if we first operate for 5 minutes at maximum air volume and then operate at medium maximum air volume, we can keep the air cleanness with low energy.

Key words : HEPA Filter, clean room

*Corresponding author E-mail: kjdaes@hanmail.net

I. 서론

최근 들어 국민생활수준이 향상됨에 따라 환경오염에 대한 관심이 높아지고, 쾌적한 환경에 대한 요구수준이 증가하고 있다. 특히 실내공기질은 건강에 직접적인 영향을 미치며, 또한 여러 가지 질병을 야기한다는 연구결과들이 보고와 분석기술 발달에 따른 실내공기질 개선에 대한 관심이 더욱 더 증가되고 있는 실정이다.

대표적인 실내공기질(Indoor Air Quality, IAQ)에 대한 문제 발생의 배경¹⁾을 보면 인간은 하루 중 대부분 약 80% 이상을 실내(사무실, 작업장, 공공건물, 가정, 지하시설물, 상가, 자동차 등)에서 생활하고 있으며 최근 들어 에너지 절약과 효율을 높이기 위해 건물이 단열을 위한 노력으로 밀폐화(tight house)에 많은 연구와 발전이 있었다²⁾. 에너지 절감 측면에서는 효과적이지만 실내의 공기질을 관리하는 측면에서는 외부로부터 공기침투(infiltration)차단과 의도적인 환기량 감소가 실내공기질을 오염시키고¹⁾ 있다.

실내공기오염의 주요원인은 인구의 도시화, 밀집화, 실내위주의 생활방식, 공간의 밀폐화 등으로 심화되고 있으며 빌딩관련질병(Building Related Disease, BRD), 복합화학물질과민증(Multi-Chemical Sensitivity, MCS), 새집증후군(Sick Building Syndrome SBS, Sick House Syndrome SHS) 등을 유발시켜 인간에게 정신적 고통을 주거나 위해요소로서 작용할 수 있다³⁻⁵⁾.

입자의 크기는 입자상 물질의 형태를 특성 지을 수 있는 중요한 요인이며, 실내환경중 입자상 물질의 크기는 대략 0.001 μm ~100 μm 으로 Owen등은³⁾ 다양한 입자상 물질의 크기 범위를 제시하고 있다.

실내공기는 한정된 공간에서 인공적인 설비를 통하여 오염된 공기가 계속적으로 순

환되면서 그 농도가 인체에 영향을 미칠 수 있을 정도로 증가될 수 있어 실내공기질이 실외공기질보다 공기오염물질의 농도가 더 높다^{2,4)}.

특히, 전시장·공연장·영화관 등 많은 사람이 이용하는 시설의 실내 공기오염은 더욱 심각하며 이용객의 활동량이 많고 환기가 어려운 시설에서는 미세먼지와 부유세균 농도가 높은 것으로 조사되었다.

대기 중에 부유하고 있는 입자들 중 현재 환경 위생적으로나 과학기술적 목적으로 문제의 대상이 되고 있는 입자들의 크기는 직경이 0.01 μm 에서 10 μm 정도이며, 이러한 크기의 입자들을 가장 효과적으로 제거할 수 있는 장치가 HEPA Filter이다⁶⁾.

특히, 고성능 헤파필터(HEPA : High Efficiency Particulate Arrestor)는 인조섬유(synthetic fiber)로 된 필터로 0.3 μm 보다 크거나 같은(먼지, 박테리아, 바이러스) 등의 미세입자를 99.97%까지 걸러내는 필터 자체의 정화효율을 가지고 있다.

현재 HEPA 필터는 전자제품제조업의 클린룸, 병원의 수술실, 제약회사 등에서 널리 사용되고 있다. 일반 사업장에서는 먼지나 납 fume을 제거하기 위한 이동식 국소배기장치와 해부병리실 등 실험실의 클린벤치(Clean Bench) 등에 내장되어 포집한 오염공기를 정화하여 실내로 배기하는 기능을 수행한다. 또한 일상생활에서도 공기청정기, 에어컨, 진공청소기, 자동차, 고층건물의 공조기 등에도 HEPA 필터가 장착되어 있어 우리가 실내에서 호흡하는 공기를 깨끗하게 하고 있다.

국내에서는 3~4년전만 해도 HEPA 필터 방식의 가정용 공기청정기를 제조하는 회사는 1개사뿐이었으나 지금은 삼성전자에서도 직접(OEM 방식이 아닌) HEPA 필터 방식의 공기청정기를 제조판매하고 있는 등 대부분의 가전회사에서 사업을 확장할 만큼 깨끗한 공기에 대한 수요는 최근 폭발적으로 증가하였다.

본 연구는 광주지역의 의료기관 6곳, 다중이용시설 4곳 및 교육기관 2곳을 선정하여 실내공기질 중 온도, 습도 및 부유입자를 측정하여 다중이용시설의 미세먼지 현황을 조사하여 실태 파악 및 부유입자 청정도 등급을 KSM ISO 등급과 ISO Standard 14644-1에 의하여 Class등급을 판정하였다. 그리고 미세먼지를 제거하는 일반 청정기와 새로 제안한 HEPA Filter를 장착한 모듈과 미세먼지 제거율 비교 및 새로운 모듈이 습도, 높이, 풍량 및 강제 흡입구 부착에 따른 제거율을 비교하여 HEPA Filter를 장착한 모듈을 효율적으로 제거하기 위한 방안을 모색하였다.

II. 실험내용 및 분석방법

1. 다중이용시설의 미세먼지 현황조사

실내 공기의 미세먼지 현황 파악을 위해 광주지역의 의료기관 6곳, 다중이용시설 4곳 및 교육기관 2곳을 선정하여 실내공기질 중 온도, 습도 및 부유입자를 측정하였다. 선정 장소의 면적에 따라 선정지점수를 계산하여 각 지점에서 1회 측정하여 시설의 청정도를 산정하였다.

2. HEPA Filter 모듈 제작

Fig. 1은 실험을 위한 일정 공간(1400×2400×2800mm)을 제작한 개요도이며, 제작한 국소청정시스템의 HEPA filter 모듈을 Fig. 3에 나타내었다. 모듈은 일정유속으로 먼지가 제거된 공기를 흘려보내 줄 수 있는 팬과 99.97%의 제거율을 가진 HEPA 필터로 구성하였다. HEPA 필터가 장착되어져 있다는 시판하는 일반 공기 청정기(Fig. 2)를 운전하여 성능을 조사하여 본 실험에서 제작한 HEPA 필터의 성능과 비교 하였다.

HEPA 필터모듈의 적정배치를 선정하기 위해 높이를 100, 180 및 210cm로 변화시켜 성능을 평가 하였다. 온도, 습도 및 미세입자 측정은 Fluke사의 자동입자 계수기를 사용하였다.

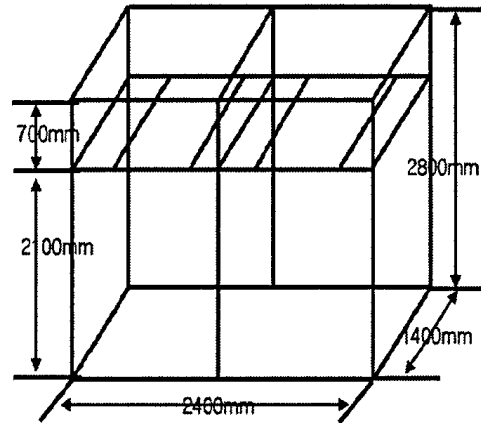


Fig. 1. Dimension of model clean room.

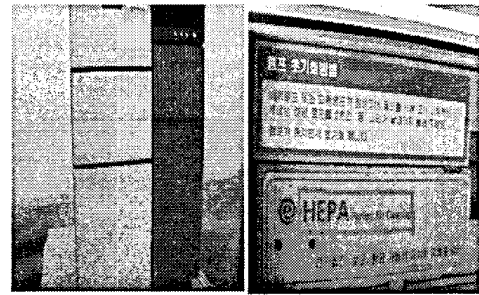


Fig. 2. HEPA Filter type air-cleaner.

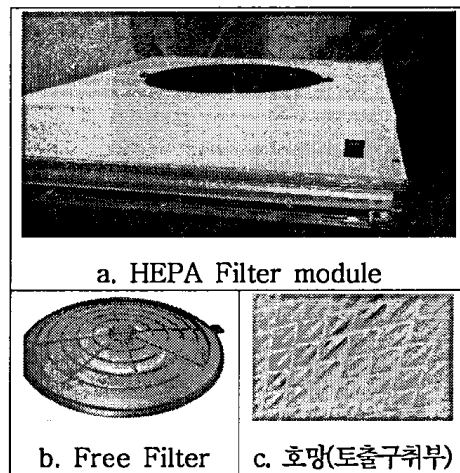


Fig. 3. HEPA Filter module.

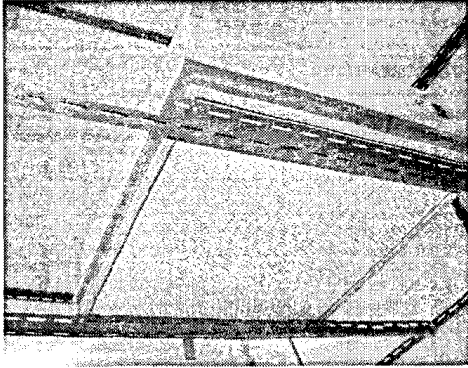


Fig. 4. Arrangement of HEPA filter module.

Table 1. HEPA filter module

구성	내용
요소	Pre-Filter 수지가공품
	저압손 HEPA Filter
풍량	약 10 m ³ /min
풍속	토출풍속 0.51m/s
구조	강판제 폴리에스테르 도장
소음	토출면 1m dir 55dB
전력	85W
지름	Pre-Filter 340Φ
	HEPA Filter 610×610×50t

Fig. 5와 Table. 1은 제작한 HEPA filter 모듈의 구조 및 사양이다.

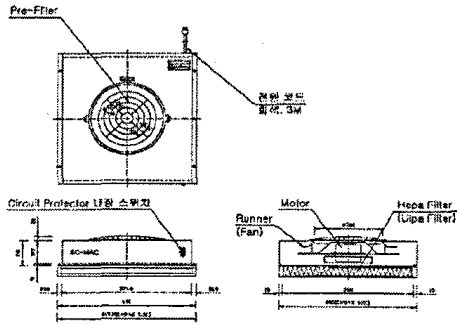


Fig. 5. constructional drawing of HEPA filter modules.

3. 강제흡입구의 영향

HEPA filter 모듈에 슬라이닥스를 부착하여 풍량을 조절하여 동일 시간대비 가장 높은 제거율을 찾아보고, HEPA filter 모듈에 강제 흡입장치를 부착하여 제거율을 측정하였다.

흡입장치가 없을 때와 차이를 비교하여 국소형 클린룸을 외부 환기 없이 최단시간에 부유입자 청정도 등급(KS M ISO 등급과 ISO Standard 14644-1)을 Class 1,000~10,000 (5~6등급) 일반처치실, 수술실, 약제실 정도의 청정 등급을 확보하기 위한 조건을 모색하였다.

Table 2와 3은 부유입자 청정도 등급을 구분하는 나타내는 KS M ISO 등급과 ISO Standard 14644-1을 나타낸 것이다.

Table 2. Clean Rooms-Federal Standard 209, KS M ISO level

Class	Maximum Number of Particles in Air (particles per cubic foot air)				
	Particle size				
	0.1 μm	0.2 μm	0.3 μm	0.5 μm	5.0 μm
1	35	7.5	3	1	
10	350	75	30	10	
100		750	300	100	
1,000				1,000	7
10,000				10,000	70
100,000				100,000	700

Table 3. Clean room class limits according ISO Standard 14644-1

ISO Class	Maximum Number of Particles in Air (particles in each cubic meter equal to or greater than the specified size)					
	Particle size					
	> 0.1 μm	> 0.2 μm	> 0.3 μm	> 0.5 μm	> 1 μm	> 5 μm
ISO Class 1	10	2				
ISO Class 2	100	24	10	4		
ISO Class 3	1000	237	102	35	8	
ISO Class 4	10,000	2,370	1,020	352	83	
ISO Class 5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29
ISO Class 6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293
ISO Class 7				352,000	83,200	2,930
ISO Class 8				3,520,000	832,000	29,300
ISO Class 9				35,200,000	8,320,000	293,000

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 미세먼지 현황조사

1.1 의료기관 미세먼지현황

광주시내 진료과목별 의료기관 6개소를 방문하여 현장에서 오전(10:00),오후(15:00)

2회 5 point를 측정하였으며 그 결과 Fig. 6은 의료기관의 미세먼지 현황을 나타낸 것이다. 전체적으로 9등급을 나타내고 있었으며, 0.3~0.5μm범위의 입자가 많았으며 이는 일반 시설에 갖춰진 공조시설이 미세먼지에 대한 제거 효과가 매우 적거나 공조시설이 없어 일반적인 공기청정기에 의존하고 있음을 알 수 있다.

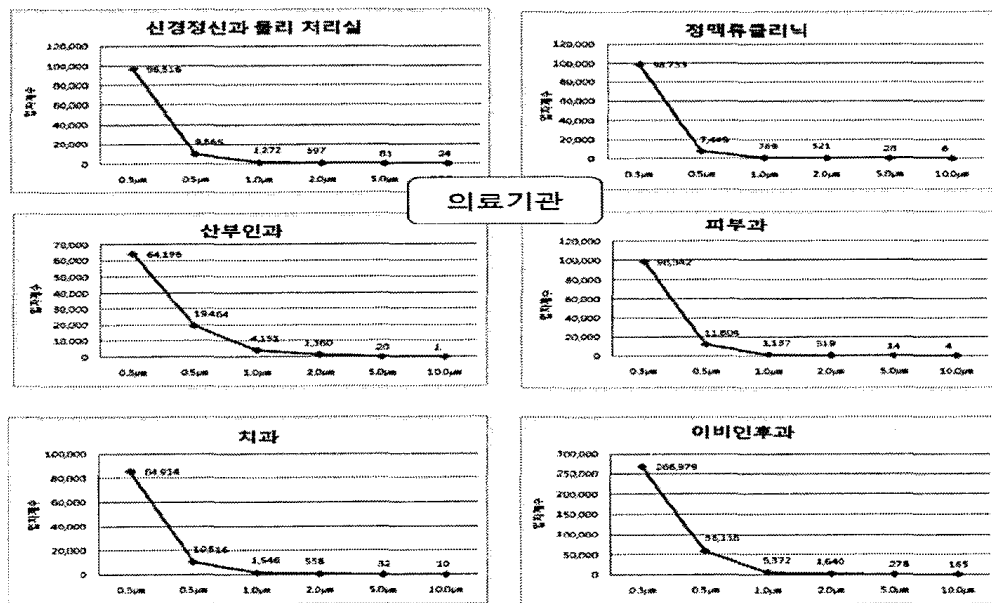


Fig. 6. Fine particle present condition of medical facility.

1.2 다중이용시설 미세먼지현황

Fig. 7은 다중이용시설의 미세먼지 현황을 나타낸 것이다. 전체적으로 9등급을 나타내고 있었으며, 0.3~0.5 μ m범위의 입자가 많았으며 이는 일반 시설에 갖춰진 공조시설이 미세먼지에 대한 제거 효과가 매우 적음을 나타내는 것으로 판단된다.

그러나 같은 9등급이지만 의료시설과는 월등하게 높은 입자수를 볼 수 있다. 등급간의 차이가 10%범위로 넓어 한단계가 내려갈수록 그 차이가 크며 한 단계를 상승한다는 것은 필터의 효율이 99.99% 이상이어야 함을 의미한다.

이러한 현황 조사 결과 우리가 흔히 이용되고 있는 다중이용시설들은 미세먼지 오염도가 높으므로 관리가 필요함은 물론 특히 5 μ m이하의 입자에 의한 감염등을 고려하여 미세한 입자관리 방안 마련이 시급하다. 이러한 현황 조사 결과 우리가 흔히 이용되고 있는 대중시설들은 미세먼지 오염도가 높으므로 관리가 필요함은 물론 특히 5 μ m이하의 입자에 의한 감염등을 고려하여 미세한 입자관리 방안 마련이 시급하다고 할 수 있다.

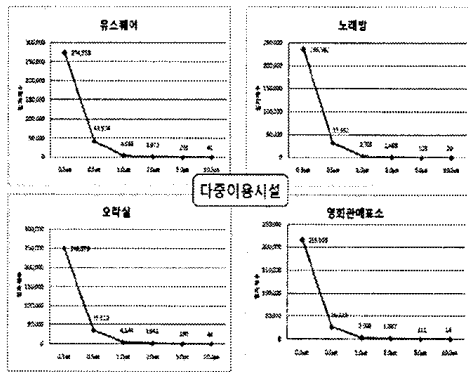


Fig. 7. Fine particle present condition of crowded facility.

1.3 교육시설의 미세먼지현황

Fig. 8은 교육시설의 미세먼지 현황을 나타낸 것이다. 전체적으로 8~9등급을 나타내고 있었으며, 0.3~0.5 μ m범위의 입자가 많이 나타난다. 이는 일반 시설에 갖춰진 공조시설이 미세먼지에 대한 제거 효과가 매우 적음을 의미하는 것으로 판단된다. 특히 대상이 도서관 이다보니 정온한 환경과 사람들의 활동이 적어 타 시설보다는 깨끗한 것으로 판단된다.

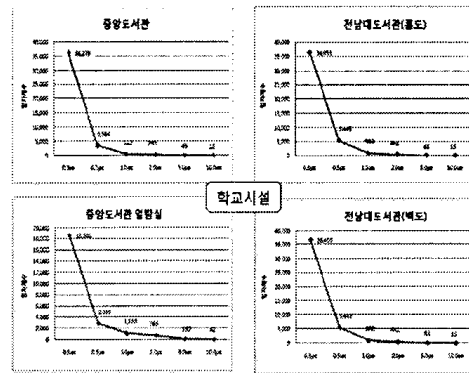


Fig. 8. Fine particle present condition of school facility.

2. 일반공기청정기 성능 비교

Fig. 9는 HEPA 필터가 장착되었다는 시중에서 판매되는 일반 공기청정기의 운전에 따른 제거율을 나타낸 것이다. 제거율은 입자크기에 따라 차이를 보였다.

0.3 μ m 입자는 가동 전 67,324개에서 15분 운전 후 56,725로 15.74% 저감을 보였으며 0.5 μ m 입자는 가동 전 6,624에서 15분 운전 후 2,898로 56.25% 저감됨을 볼 수 있었다. 0.3 μ m 입자의 제거율이 일반 공기청정기에서는 매우 낮음을 볼 수 있으며, 설치된 필터는 HEPA 필터가 아닌 HEPA 필터 형태를 가진 필터로 판단되며, 이러한 성능을 가진 청정기에는 HEPA 필터 type 이라고 표기하여 판매하는 것이 정확한 표현이다.

Table 4. Removal rate by the time of Air-cleaner

Time Particle size	Initial	1min	5min	Removal rate(%)	10min	Removal rate(%)	15min	Removal rate(%)
0.3 μ m	67,324	68,070	58,136	15	58,808	14	56,725	17
0.5 μ m	6,624	5,941	3,708	38	3,042	49	2,898	51
1.0 μ m	2,767	2,140	877	59	365	83	262	88
2.0 μ m	1,996	1,492	572	62	192	87	122	92
5.0 μ m	413	304	99	67	34	89	16	95
10.0 μ m	70	55	15	73	8	85	4	93

Fig. 9는 일반공기 청정기의 시간에 따른 입자별 제거율 변화를 나타낸 것이다. 일반 공기청정기를 15분 운전한 결과 1.0 μ m 이상의 거대입자는 처음 5분 동안에 73%에서 15분 경과 후 최고 95%의 제거율을 보이고 있으나 클린룸의 기준이 되는 0.5 μ m의

미세먼지는 처음 5분 동안에 38%에서 51%로 13%정도 제거되었고 0.3 μ m의 미세먼지는 처음 5분 동안 제거된 양보다 오히려 2%정도 증가되는 현상이 나타났다. 따라서 미세먼지의 제거에는 큰 효과 없음을 확인하였다.

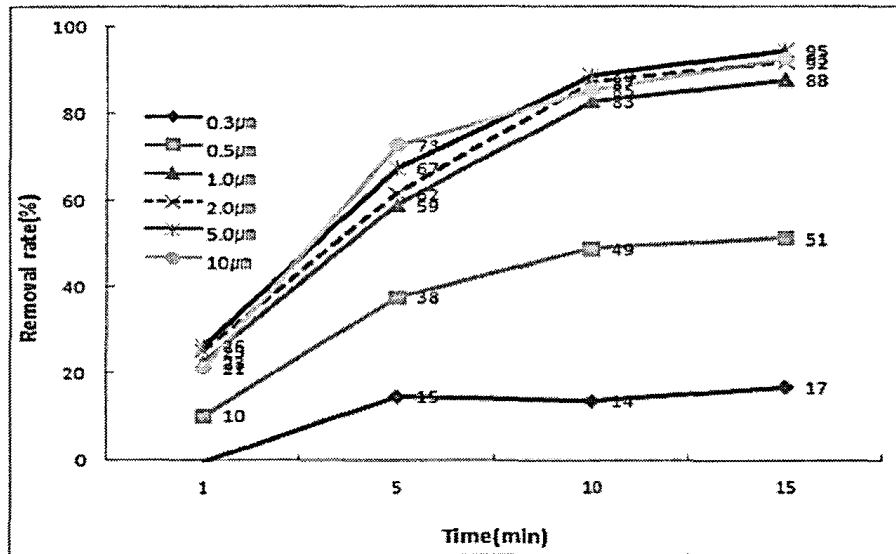


Fig. 9. Removal rate by the time of Air-cleaner.

3. HEPA Filter 모듈 운전

3.1 HEPA Filter 모듈의 성능 및 일반 공기청정기와 비교

Table 5는 HEPA filter 모듈로 운전한

결과 입자수의 제거율을 나타낸 것이다. 0.3 μ m 크기의 입자 제거는 가동 전 148,897에서 15분 운전 후 16,300로 89.05% 저감을 보였으며 0.5 μ m 크기의 입자는 가동 전 27,908에서 15분 운전 후 2,549로 90.87% 저감되었다.

Table 5. Removal ratio comparison of the particle size which follows at time

Time Particle size	Initial	1min	Removal rate(%)	5min	Removal rate(%)	10min	Removal rate(%)	15min	Removal rate(%)
0.3 μ m	148,897	27,680	81	26,640	82	13,018	91	16,300	89
0.5 μ m	27,908	4,311	85	4,031	86	2,048	93	2,549	91
1.0 μ m	1,756	223	87	206	88	109	94	115	93
2.0 μ m	479	39	92	38	92	14	97	18	96
5.0 μ m	76	7	91	1	99	1	99	0	100
10.0 μ m	7	0	100	0	100	0	100	0	100

Table 6과 Fig. 10은 일반청정기와 HEPA Filter 모듈과의 제거율을 비교하여 나타낸 것이다. 일반청정기의 제거효율은 전체입자에 대해 24.2%의 제거효율을 보이고 0.3 μ m, 0.5 μ m는 각각 15.74%와 56.25%

를 나타냈다. 이에 반해 제작한 HEPA 필터의 제거효율은 전체입자에 대해 93.04%의 제거효율과 0.3 μ m, 0.5 μ m는 각각 89.05%와 90.87%를 나타냈다.

Table 6. Removal rate comparison of general purifiers and HEPA Filter modules (Unit : %)

Particle size	General purifiers	HEPA filter
0.3 μ m	16	89
0.5 μ m	56	91
1.0 μ m	91	93
2.0 μ m	94	96
5.0 μ m	96	100
10.0 μ m	94	100
mean	75	95

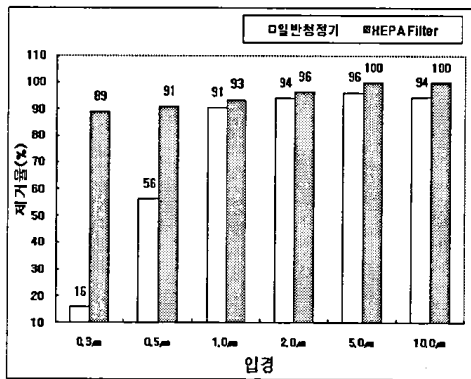


Fig. 10. Removal rate comparison of general purifiers and HEPA Filter modules

HEPA Filter 모듈은 일반청정기에 비해 약 4배의 입자제거 효율을 보였으며, 특히 일반청정기에 비해 HEPA 필터는 0.3 μ m의 입자크기를 높은 효율로 걸러내는 것을 확인할 수 있었다. 시중에 판매되는 대부분의 일반청정기에 사용된 필터는 HEPA 필터가 아닌 HEPA-type 필터로 명칭을 바꾸고 HEPA 필터의 성능 검사의 정확한 규정 마련이 필요하다고 판단된다.

3.2 높이에 따른 제거 효율

Fig. 11은 높이에 따른 HEPA filter의 성능을 비교한 것이다.

간으로는 100cm 25분, 180cm 10분 및 210cm 5분으로 나타났다.

입자 수 20,000이하가 되는데 걸리는 시

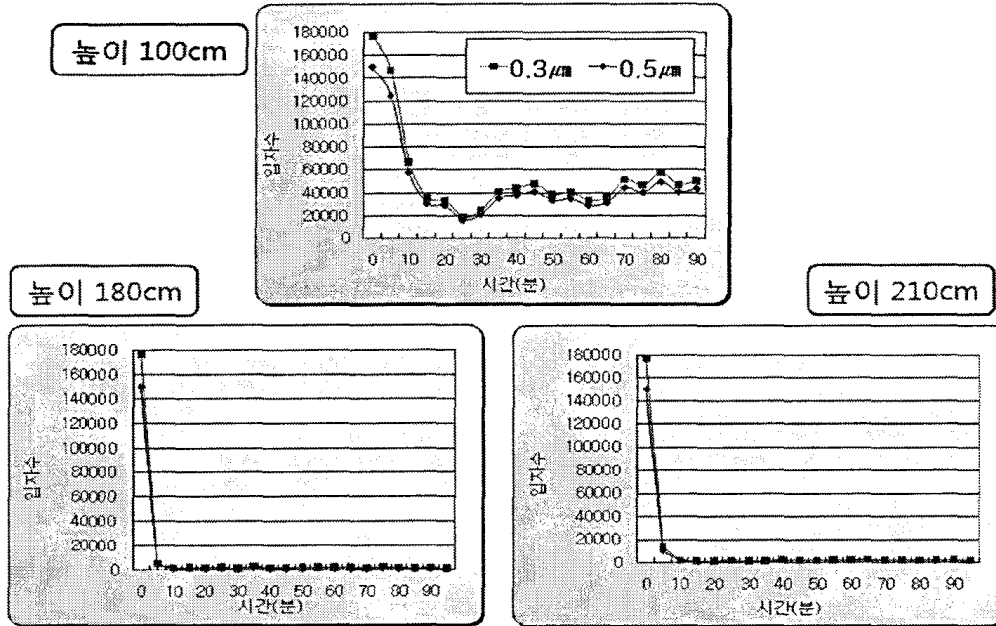


Fig. 11. 높이 변화에 따른 미세먼지 입자수의 변화.

따라서 Filter의 위치가 높아짐에 따라 입자수가 20,000 이하가 되는데 걸리는 시간이 짧아지는 것을 나타낸다.

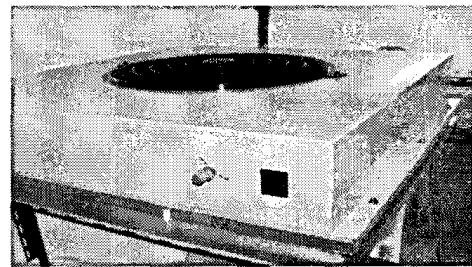


Fig. 12 HEPA Filter module 슬라이더스.

3.4 풍량변화에 따른 제거 효율

Fig. 12과 13은 HEPA Filter 모듈에 풍량 조절을 위한 슬라이더를 부착하여 풍량을 3단계로 조절하여 10분 운전 한 후 미세입자의 제거를 한 결과를 나타냈다. 최고속도 2.3m/s에서는 0.3µm 입자의 경우 5분후에 99.45%, 중간속도의 경우는 91.38%, 최저속도는 1.19%로 HEPA Filter는 일정한 풍량으로 운전을 해야 제거율이 높아짐을 확인 할 수 있다

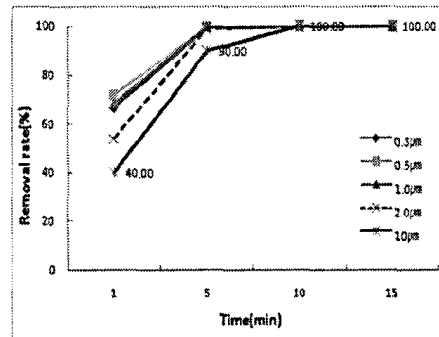


Fig. 13. Removal ratio comparison of 2.3m/s velocity.

Fig. 14는 풍속별 입자의 크기에 따른 10분 운전 후 제거율을 비교해보았다 최저 속도 0.8m/s에서 입자의 크기가 작을수록 제거율이 크게 떨어짐을 볼 수 있으나, 최고와 중간 속도에서도 제거율이 94~97%로 좋지 않았다.

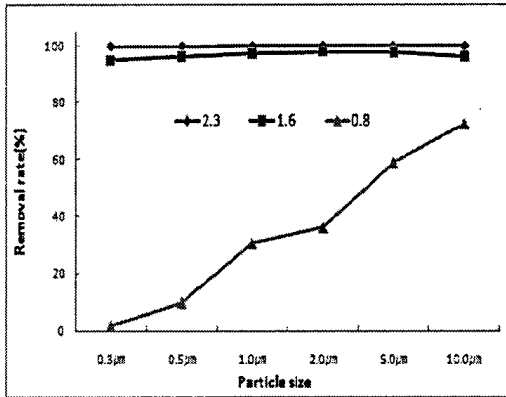


Fig. 14. Removal ratio comparison of the particle with wind velocity.

5. HEPA Filter 모듈에 강제 흡입구 부착후 성능 비교

5.1 2개의 흡입구 부착

Fig. 15는 HEPA Filter 모듈에 강제 흡입구멍이 2개 뚫린 뚜껑을 올려놓고 바닥

근까지 흡입관을 설치하여 강제로 모듈 하부의 공기를 모듈로 흡입하여 HEPA Filter를 통해 제거를 시켜보았다.

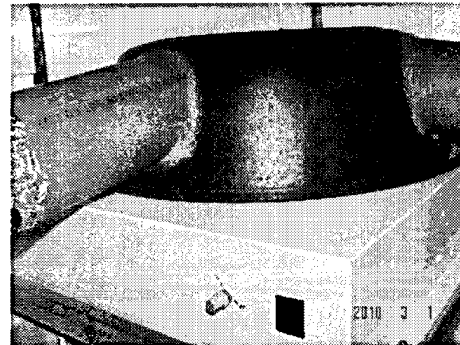


Fig. 15. The HEPA filter module which establishes air-intake

Fig. 16은 15분 동안 최고 풍속으로 운전 한 후 미세입자의 제거를 한 결과를 나타냈다.

0.3μm 입자의 경우 5분 후에 99.87% 10분 후에 99.99%의 제거율을 보여 흡입관을 설치하면 제거율이 좋아지고 시간도 단축되어 짐을 알 수 있다 그러나 15분 후에 0.3μm 입자의 경우 99.93%로 낮아지는 현상이 있었는데 이는 강한 흡인력에 주변에 붙어있던 입자가 비산되어 나타는 현상으로 판단 된다.

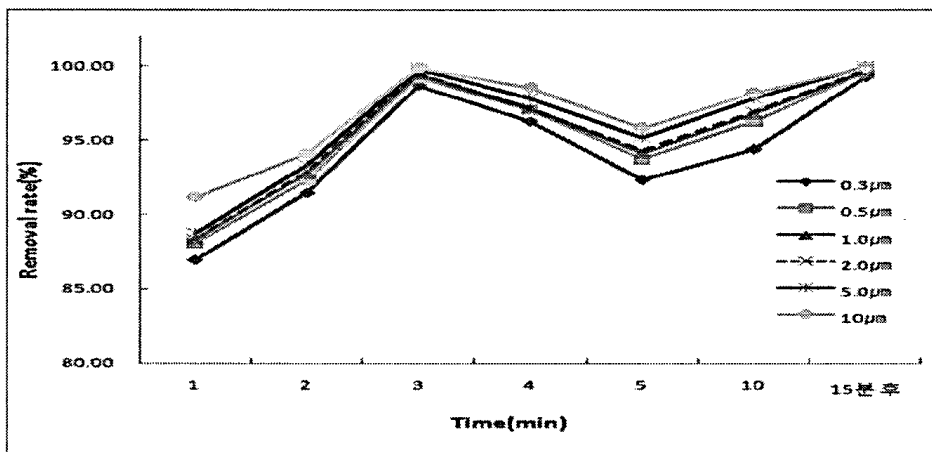


Fig. 17. Removal ratio compares from highest wind quantity after establishing air-intake.

최고풍량에 비해 0.3 μ m 입자의 경우 제거율이 99.27%에 이르는데 15분이 소요되어 제거율은 많이 떨어지지만 시간이 경과해도 제거율이 다시 낮아지지는 않았다.

따라서 1400 \times 2400 \times 2800mm의 공간에 HEPA Filter모듈을 사용하여 미세입자를 제거할 경우에는 최고풍량으로 5분 운전하면 5~6등급의 Clean상태를 만들 수 있다. 장시간 Clean상태가 요구되는 경우에는 최고풍량으로 운전을 시작하여 5분경과 후 중간풍량을 유지하면 좀 더 낮은 에너지로 Clean 상태가 지속되어 입자 제거와 에너

지 측면 모두에서 효과적인 운전방법이라고 판단된다. 또한 HEPA필터 바로 밑에서 상대적으로 낮은 압력을 방지하기 위해서는 배기기류의 통로를 작게 하고, 바닥면보다는 측면으로 기류를 배기시키는 것이 효과적임을 알 수 있었다. 계속해서 속도분포 특성과 흡입구의 압력분포 특성을 비교함으로써, 흡입구에서의 최대압력과 최소압력의 차이와 순간압력의 교란 정도가 HEPA필터를 통과한 후인 클린룸의 풍속균일도, 속도분포특성, 순간속도와 교란과의 영향에 대한 연구를 계속 진행하고 있다.

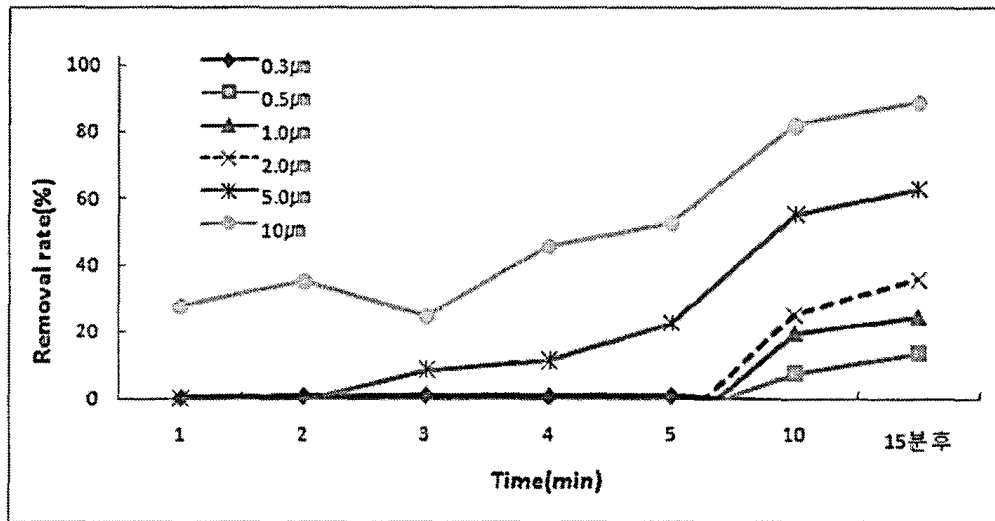


Fig. 18. Removal ratio compares from medium wind quantity after establishing air-intake

III. 결론

본 연구는 의료기관, 교육기관, 다중이용시설등의 미세먼지 수준의 조사를 통해서 현재의 실태 파악 및 부유입자 청정도 등급(KSM ISO 등급과 ISO Standard 14644-1)에서 Class등급을 판정하였다. 그리고 미세먼지를 제거하는 일반 청정기와 새로 제안한 HEPA Filter를 장착한 모듈과 미세먼지 제거율 비교 및 새로운 모듈이 높이, 풍량 및 강제 흡입구 부착에 따른 제거율을 비교

하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 광주시내 의료기관, 교육시설 및 다중이용시설의 미세먼지수준은 9등급으로 조사되었다.
2. 시판하는 일반공기청정기에 사용된 filter는 HEPA-type filter로 0.3~0.5 μ m 미세입자제어 효율이 매우 낮았다.
3. 높이에 따른 성능은 높이가 높을수록 효과적으로 100cm보다는 180cm 이상에서 미세먼지제어가 효과적이었다.

4. 9.4m³의 공간에서는 2.3m/s의 최대풍량으로 2개의 흡입관을 설치하여 5분 동안 운전하여 5~ 6등급의 Clean 상태를 유지할 수 있다.
5. 장시간 Clean상태를 유지하기 위해서는 5분 동안 최대 풍량으로 운전하고 그 이후에는 중간풍량을 유지하면 청정상태를 저에너지로 유지할 수 있다.

- 4) Owen, M.K, Ensor, D.S, Sparks,L.E. Airborne particle sizes and sources found in indoor air Atmospheric Environment, 26(A), 2149~2162, 1992.
- 5) 김윤신 외, 실내공기질 관리방안에 관한 연구, 환경부(1995).
- 5) 김현중 역. 새집증후군의 실체와 대응전략. 한국 목재신문사(2003).
- 6) 서석칭. HEPA, ULPA Filter에 대하여. 공기조화, 냉동공학 제5권 제2호.
- 7) 환경부. 대기환경보전법(1998).
- 8) 대기환경과 휘발성유기화합물질. 한국대기보전학회(1998).
- 9) 한화진. 유해대기오염물질구제에 관한 국내 대응방안 연구(1999).
- 10) Yukihiro Tanaka, Shuzo Murakami, Shikisuke Kato, "Study on Distribution of Airborne Particles in Clean Room(Part 1)", 6th Proceedings of JACA, pp.143~150,1987.
- 11) Ilango Shanmugavelu, Thomas H. Kuehn and Benjamin Y.H. Liu, "Numerical Simulation of Flow Fields in Clean Rooms", 33rd Proceedings of IES, pp.298~303, 1987.

참고문헌

- 1) Jones, A, P, Indoor air quality and health. Environment, 33, 4935~4564, 1999.
- 2) 양원호. 실내공기질 및 위해성관리. 집문당, 2008.
- 3) Kraft, M., Eikmann, T., KapposA., Kunzil, N., Rapp, R, Scheneider, K., Seitz, H., Voss, J., Wichmann, H. The german view:Effects of nitrogen dioxido on human health-derivation of health-related short-term and long-term values. Int,J, Hyg. EnvironHealth, 208, 305~318, 2005.