



열회수형 환기장치의 미세먼지 집진효율 평가 및 개선방안

Evaluation and Improvement Plan for Fine Dust Collection Efficiency of Heat Recovery Ventilation System

유정연* · 배상환**

Jungyeon Yu* · Sanghwan Bae**

* Main author, Postdoctoral Researcher, Dept. of Building Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, South Korea (starry1005@kict.re.kr)

** Corresponding author, Senior Researcher, Dept. of Building Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, South Korea (sanghwan@kict.re.kr)

ABSTRACT

Purpose: In this study, the actual pollutions(fine dust) collection efficiency of ventilation systems applied to buildings was evaluated. The cause of internal leakage was identified using PIV, and through this, a direction for improving the performance of ventilation systems and an effective test method for removing pollutants were proposed. **Method:** A pollutant collection efficiency evaluation system composed of indoor and outdoor chambers of ventilation equipment was established, and performance evaluation was performed on two types of small ventilation equipment that are generally applied to daycare centers and apartment houses. The actual fine dust collection efficiency was evaluated for two types of ventilation systems equipped with HEPA air filters, which are generally applied to daycare centers and apartment houses. **Result:** As a result of the evaluation of the fine dust collection efficiency of the ventilation system, in the case of product A, which has a relatively large amount of leakage around the air filter inside the ventilation system, the fine dust collection efficiency for PM2.5 was 58 %, and it was evaluated that it largely fell short of the physical performance standard of the HEPA filter. On the other hand, in the case of product B, which improved the amount of leakage by improving the internal case details of the ventilation system, the fine dust collection efficiency for PM2.5 was 91%. It was confirmed that the fine dust collection efficiency of model B was significantly improved compared to model A.

KEYWORD

열회수형 환기장치
미세먼지
미세먼지 집진효율
내부누기

Heat Recovery Ventilators
Fine Dust
Fine Dust Collection Efficiency
Internal Leakage

ACCEPTANCE INFO

Received Jan. 28, 2024
Final revision received Feb. 7, 2024
Accepted Feb. 15, 2024

© 2024. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

최근 미세먼지 등의 실내공기질 이슈로 인해, 건축물에 적용되는 환기시스템은 내부순환모드 적용 또는 별도의 공기정화 유닛을 구성하여 공기청정 기능을 갖는 시스템이 개발·보급되고 있으며, 환기시스템의 열회수 환기장치(필터)는 해파급 필터 적용이 일반화되고 있다. 바이러스 및 초미세먼지 등의 유해물질 제거를 위해 항바이러스 필터, 해파필터 등의 적용이 확대되고 있으나, 현재 국내의 성능평가기준은 필터 자체의 성능을 중심으로 평가하여, 환기시스템 내부의 누기 등이 발생할 경우 장치 전체의 유해물질 제거효율은 크게 저하되는 것으로 파악되고 있다.

국내 환기장치의 미세먼지 및 먼지 제거 성능 관련 시험규격은 'KS B 6141, 환기용 공기필터 유닛' 및 'KARSE B 0051, 현열/전열 회수 열교환기'에서 환기시스템에 적용된 필터의 미세먼지 제거효율을 평가토록 규정되어 있으며, 'KS B 6879, 열회수형 환기 장치'에서는 환기시스템에 대한 먼지 누설률을 평가토록 규정되어 있으나, 직경 2.5 μm 이하의 초미세먼지에 대한 환기장치 전체 미세먼지 제거성능에 대한 평가방법은 미흡한 실정이다[1-3]. 조예립(2021)[4]은 필터가 장착된 열회수형 환기장치에 대한 미세먼지 제거 성능에 대

여 시험성적서 결과와 실험 결과를 비교하였다. 그 결과, 필터와 환기장치 사이 유격, 실 사용 필터 성능 차이로 실험에서는 시험성적서보다 낮은 성능을 나타냄을 밝혔다. 이에, 필터가 장착된 환기장치는 현장에서 미세먼지 제거 효율을 검증할 수 있는 새로운 성능시험 규격의 필요성을 강조하였다.

또한, 공기중 미세먼지는 그 크기가 일반 먼지에 비하여 매우 작기 때문에 입자의 질량 대비 개수가 매우 크게 증가한다. 이에, 미세먼지 관련 시험기준(KS B 6141) 및 연구에서는 미세먼지의 질량농도가 뿐만 아니라 개수농도를 주로 적용한다[1,5,6]. 그러나 KS B 6879에서는 환기장치에 대하여 일반 먼지의 질량농도를 기준으로 제거효율을 평가하므로 미세먼지 제거 성능을 평가하는 데에는 한계가 있다고 판단된다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

이에 본 연구에서는 환기설비의 성능평가와 관련하여 '필터가 장착된 환기설비의 미세먼지 집진효율을 평가'하고, PIV(Particle Image Velocimetry)시스템을 통해 집진성능 저하의 원인 분석 및 개선방향을 제안하고자 한다. 이를 위하여 관련 국내외 관련 시험기준을 분석하고 해파필터가 장착된 환기설비에서 집진효율을 평가하기 위한 시험장치를 구성하고, 이에 기반으로 기존 공동주택 및 어린이집 등에 일반적으로 적용되는 소형 열회수형 환기장치 제품에 대한 전체 환기장치의 미세먼지 집진성능을 평가하였으며, PIV시스템을 활용하여 환기장치 내부의 미세먼지 누기특성도 파악하였다.

2. 환기시스템 성능평가 방법 및 관련 제도

2.1. 우리나라의 환기설비 설치대상 및 기준

우리나라에서는 ‘건축물의 설비기준 등에 관한 규칙’ 등에서 신축 공동주택 및 다중이용시설에 설치하는 환기설비 기준을 마련하여 왔으며, 2020년 4월부터는 30세대 이상의 공동주택 및 민간 노인 요양시설, 어린이 놀이시설(430m² 이상) 등으로 설치대상 확대 및 필터성능을 강화하고 있다[7].

환기설비 열회수 환기장치 성능기준은 기존보다 150% 상향하였다. 기존 초미세먼지(0.3µm 이하) 포집률을 40%에서 60%로 상향하였다. 또한 자연환기설비에 설치된 열회수 환기장치의 성능은 현행 대비 120% 상향하였다. 기존 미세먼지 (6.6~8.6µm 이하) 포집률을 60%에서 70%로 상향하였다. 또한 외부 미세먼지 유입 차단성능을 강화하였다. 한편, 환기설비 및 공조설비의 오염물질 차단성능은 필터의 물리적인 특성(성능)과 함께, 환기 및 공조설비의 누기율 등에 영향을 받을 수 있으며, 열회수형 환기장치 및 환기설비의 성능평가 방법은 Table 1.과 같다.

2.2. 공기정화장치용 필터의 국내외 시험규격

환기설비 등 공기정화장치에 적용되는 필터는 공기 중에 떠다니는 입자 및 액상 물질을 제거하는 필터로서, 일반적으로 공기청정기 및 차량 등 다양하게 활용되고 있다. 미세먼지 피해에 대한 해결의 필요성이 증대함에 따라 건축물 및 가전기기에 적용되는 에어필터의 성능 및 실제 성능을 제대로 평가할 수 있는 시험방법 및 규격에 대한 수요가 늘어나고 있다. 신철용(2018)[8] 및 조진균(2019)[9]에 의하면 필터에 대한 시험방법은 유럽이나 미국 표준을 적용하거나 국내는 KS B 6141이 적용되고 있다(Table 1.). 국내 KS표준 시험규격인 KS B 6141은 포집된 본진의 입자크기에 따라 필터 유닛을 형식 1~3으로 구분하여 입자포집율에 대한 효율값으로 평가하고 있으며, 2016년에 제정된 ISO 16890[6]은 기존 유럽 에어필터 시험분야에서 적용되는 시험규격인 EN779:2012[10]를 대체하고 있다. ANSI/ASHRAE 52.2[11]는 공기정화장치에 대한 효율 측정방법으로 미국공기조화냉동협회인 ASHRAE(The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)에서 제정하였으며, 공기정화장치 필터와 전기 집진기로 구성되어 있다. 필터 성능은 입자 사이즈별 필터 효율, MERV(Minimum Efficiency Reporting Value), 필터 전후 압력손실, 부하분진 유지용량으로 평가된다.

2.3. 환기설비의 성능시험 규격

우리나라에서는 ‘KS B 6879, 열회수형 환기장치’[3]에서 환기설비의 성능시험 방법을 규정하고 있다. 해당 표준의 적용범위에 대하여 열회수용 열교환소자 및 공기 필터 유닛이 장착된 환기장치로서, 정격전압 600V 이하, 정격 풍량 3000 m³/h 이하인 것을 대상으로 하고 있다. 해당 규격에서는 풍량, 정압 손실, 소비 전력, 발생소음, 열교환 효율, 먼지 누설률 등 다양한 성능평가 항목에 대해 규정하고 있다. 그러나, 열회수 환기장치의 미세먼지 제거 관련 성능은 ‘KS B

Table 1. Air filter testing codes

Code	Code Name	Air Filter Classified
KS B 6141	Air Filter Units for Ventilation	Class1, 2, 3
ISO 16890-1,2,3,4	Air filters for General Ventilation	ePM 10, ePM 2.5, ePM 1.0
ANSI/ASHRAE 52.2	Model of Testing General Ventilation Air-Conditioning Devices for Removal Efficiency by Particle Size	MERV

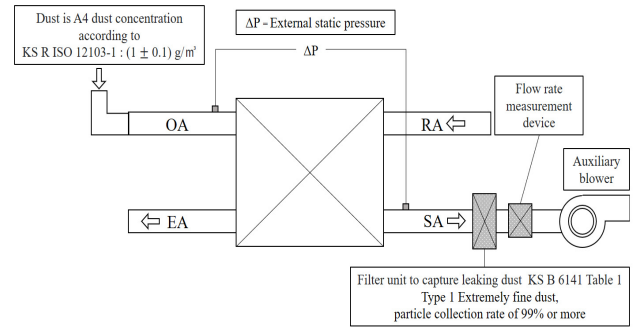


Fig. 1. Diagram of a test chamber based on KS B 6879 test method

6141, 환기장치용 공기필터 유닛’[1]에 대한 시험기준으로 평가가 이루어지며, 환기장치에 공기필터가 설치된 상태가 아니라 공기필터 유닛을 시험장치에 밀실하게 설치하고 필터 전후의 미세먼지 농도를 측정하여 필터 자체의 미세먼지 제거효율을 평가한다. 따라서, 필터가 설치된 환기장치 전체의 미세먼지 제거성능을 평가하는 데에는 한계가 있다.

열회수 환기장치의 다양한 성능을 평가하는 시험기준에는 KS B 6879[3]가 있으며, 이 중 ‘열회수형 환기장치의 먼지 누설률’에 대한 시험 방법은 Fig. 1.과 같다. 시험에 사용되는 먼지의 표준 규격은 KS R ISO 12103-1[12]에 정의된 아리조나 시험 먼지 중 입자 크기가 가장 큰 거친 먼지에 해당하는 A4 표준 등급을 사용한다. A4 등급 시험 먼지는 입자 크기가 최대 352µm이며, 입자 크기별 구성 비율을 살펴보면 초미세먼지에 해당하는 입자크기 2.75µm 이하의 누적 체적 비율은 5.5~6.3% 이고, 입자크기 44 µm 이하 먼지의 누적 체적 비율은 58.0~60.0%, 입자크기 352µm 이하 먼지의 누적 체적 비율은 100%로 대부분 큰 먼지 입자들로 구성되어 있다. 또한, 시험 규격에서는 입자의 질량농도를 기준으로 평가하고 있어, 열회수형 환기장치의 초미세먼지 집진성능을 구체적으로 표현하기에는 한계가 있는 것으로 사료된다.

3. 환기설비의 오염물질 집진효율 평가방법

3.1. 개선된 환기설비 미세먼지 집진효율 평가방법

이 장에서는 환기장치의 미세먼지 차단효과에 대한 평가를 수행하였다. ‘KS B 6879[3], 열회수형 환기장치’에서는 환기설비의 풍량, 정압손실, 발생소음, 열교환효율 및 먼지 누설률 등으로 규정되어 있으나, 실제 미세먼지 제거효율 평가가 어려운 점을 고려하여,

본 연구에서는 다음과 같은 산출식 및 실험조건을 제안하여 환기장치치를 통한 외부 미세먼지의 집진효율을 평가하였다. 본 연구에서 제안하는 열회수형 환기설비의 미세먼지 집진효율(E) 산출식은 다음과 식(Eq. 1)과 같다.

$$E = \left(1 - \frac{C_B}{C_A}\right) \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

여기에서, E는 열회수형 환기장치의 미세먼지 집진효율(%), C_A는 환기장치의 외기측 미세먼지 개수 농도(Outdoor Air Particle Number Concentration, 단위 particle/cm³), C_B는 환기장치의 급기측 미세먼지 개수 농도(Supply Air Particle Number Concentration, 단위 particle/cm³)를 나타낸다. 환기장치 미세먼지 집진효율 시험체는 Fig. 2.와 같이 열회수형 환기설비의 임의 표시치의 풍량을 흘러 풍량을 측정하고, 해당 풍량에서 직경 2.5µm 이하 크기의 미세먼지에 대하여 외기측 미세먼지 개수 농도(C_A)와 실내 급기측 미세먼지 개수 농도(C_B)를 측정하였다. 미세먼지 개수농도 측정점 위치(A, B)는 덕트 내 난류의 영향을 최소화하도록 팬 및 직관덕트의 시작지점으로부터 덕트직경의 최소 7배 이상[13] 이격지점에서 측정하였다. 또한, 챔버 중앙 실내공기측 미세먼지 개수 농도(Indoor Air Particle Number Concentration, C_i) 및 환기설비의 배기측 미세먼지 개수 농도(Exhaust Air Particle Number Concentration, C_a)를 측정하여 비교 하였다. 이때, Fig. 2.와 같이 환기장치의 급기는 실내측 챔버를 오염시키지 않고 외부로 바로 빠져나가게 구성하였고, 실내측 챔버 내부는 최대한 청정하게 유지하여 실내측 환기(Return Air)덕트로 추가적인 미세먼지가 유입되지 않도록 하였다. 환기설비의 배기측 미세먼지 개수 농도(C_a)는 환기장치 내부에서 누기로 인해 환기장치 내 외기를 통해 유입된 미세먼지가 열교환소자와 케이스 접합 부 등 틈새를 통해 누출된 입자가 측정되도록 챔버를 구성하였다.

3.2. 평가대상 열회수 환기장치

평가 대상 제품은 Table 2.와 같이 일반적인 소형 열회수 환기제품인 Model A와 내부 누기 개선 제품인 Model B를 선정하였다. 두 제품의 환기 용량은 150m³/h이며, 공기정화 필터는 미세먼지 제거 효율 99.99%의 헤파필터가 적용되었다. 환기장치의 내부 누기성능과 관련하여 Model A의 본체 및 케이스는 일반적으로 많이 적용되고 있는 EGI(Electrolytic Galvanized Iron) 전기아연도금강판 재질로 본 재질은 가공성이 뛰어나고 부식에 대한 내식성이 우수한 장점이 있어 많은 환기설비에 적용되고 있다. 그러나, EGI케이스는 금속판을 절곡하고 부품이 볼트 등으로 연결하여 제작되며 내부 플라스틱 부품의 연결부도 볼트 등으로 결합되는데 통상 이곳에 누기가 많이 발생하게 되어 내부 단열 및 내부 기밀재의 세부 디테일에 따라 기밀도가 크게 달라지게 된다. 반면 Model B는 본체가 EPP(Expanded Polypropylene) 발포 폴리프로필렌 재질로 제작된 제품으로써 환기설비 내부 누기성능을 개선하기 위하여 본체 케이스와 필터 및 열교환소자의 접합부 디테일 개선 설계 및 수차례의 본체 케이스 금형 개선을 통해 개발된 제품이다. 환기장치 내 누기율을 개선하는 주요 방

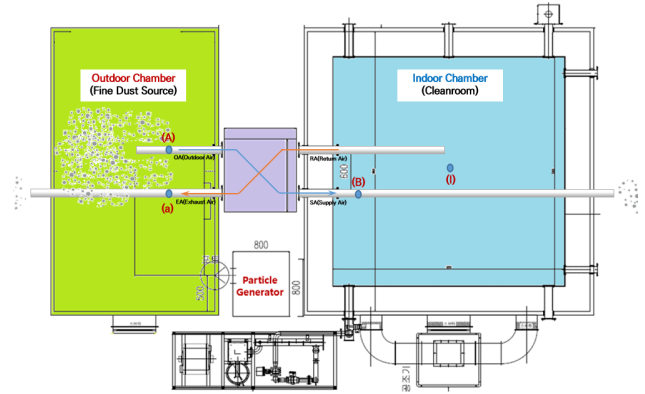


Fig. 2. Diagram of a test chamber modified from KS B 6879

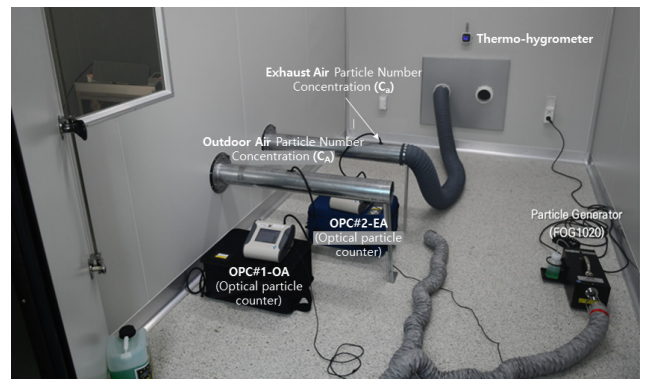


Fig. 3. Measuring position in indoor chamber

Table 2. Test ventilator specifications

	Model A	Model B
Flow rate	150m ³ /h	150m ³ /h
Case size	600*600*250	640*680*340
Heat recovery ventilator case material	Electro Galvanized Iron (EGI)	Expanded Polypropylene (EPP)
Filter performance class (Efficiency)	HEPA(99.99)	HEPA(99.99)

Table 3. Particle number concentration measurement experimental conditions

	Device specifications and measurement method
Test flow rate	100m ³ /h
Particle generator	Fog machine, SAFEX Fog 1020
Particle material	paraffin solution, Antari FLG-5
Test particle size	0.3 to 2.5µm
Optical particle counter(OPC)	Accurate measurement of particles 0.3 to 10µm, TSI OPS 3330
Data measurement	The number of particles is measured every second, and the 30-second average value is used for analysis.

법은 본체 케이스에 열교환 소자 및 필터, 팬 등을 밀실하게 끼울 수 있는 구조로 성형하여 케이스와 내부 부품 사이의 기밀성능을 개선하였다.

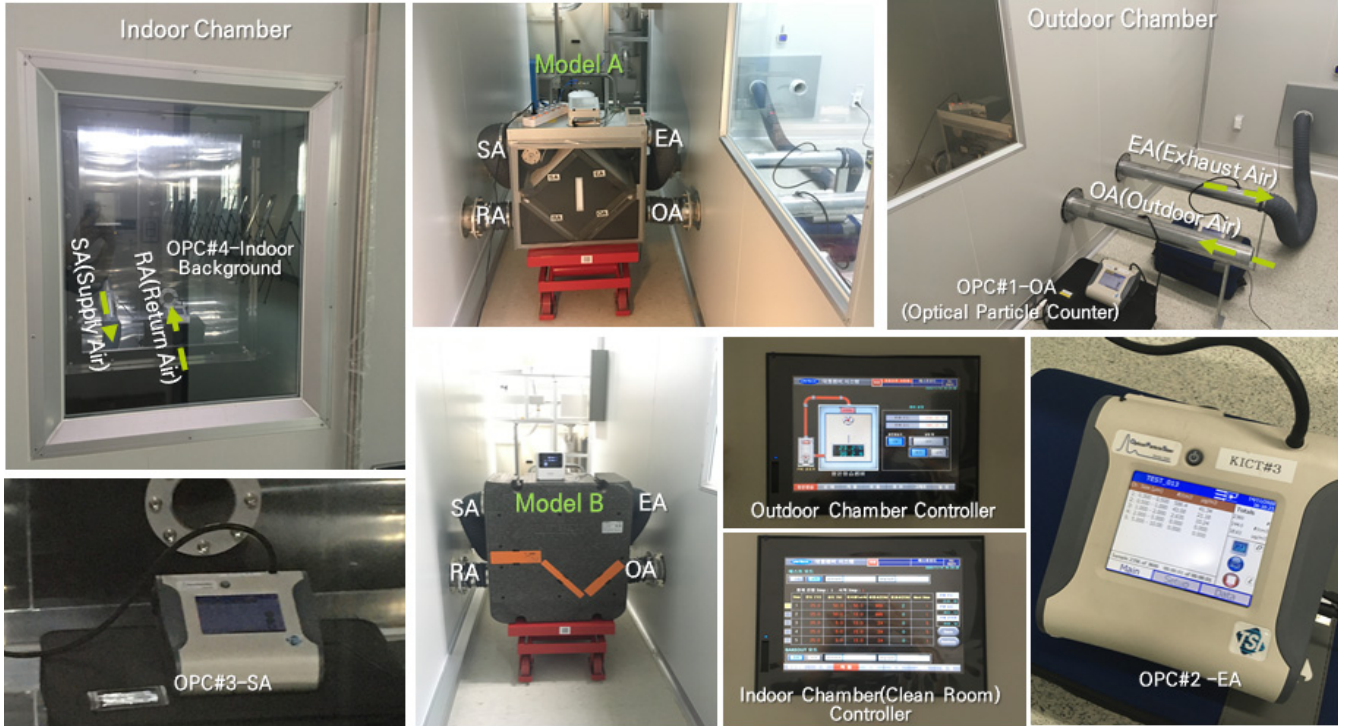


Fig. 4. Evaluating the actual fine dust collection efficiency of heat recovery ventilation system

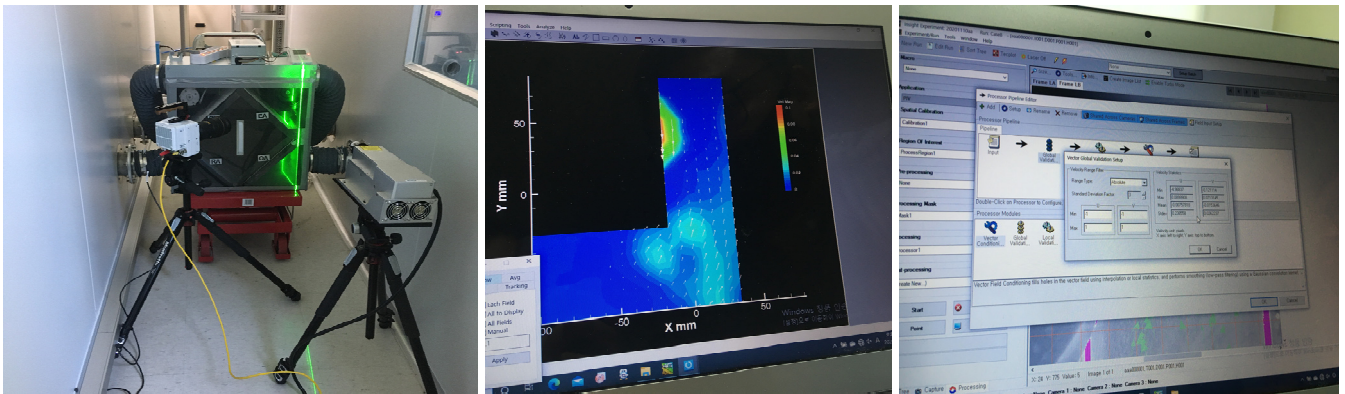


Fig. 5. Finding the leak location inside the ventilation system using the PIV system

대상 Model A 및 B에 대하여 열회수형 환기장치의 초미세먼지 집진효율을 평가하기 위하여 Fig. 3., Fig. 4. 및 Table 3.과 같이 실내측 챔버(Indoor Chamber)와 외기측 챔버(Outdoor Chamber)의 사이에 평가 대상 Model을 설치하였다. 시험시 환기장치의 급배기 풍량은 100m³/h로 설정하였으며, 외기측 챔버에 입자 발생기(SAFEX Fog 1020)를 통해 만들어진 미세입자를 약 5분간 분사하였다. 미세먼지 입자는 파라핀 용액(Antari FLG-5)을 사용하였다. 분석 대상 입자 크기는 2.5 μ m 이하의 초미세먼지이다. 외기측 챔버 전체에 입자를 최대한 균일하게 혼합하기 위해 서큘레이터를 3대가동하고 외기측 챔버내 입자 계수기의 입자크기 2.5 μ m의 개수 농도가 40,000particle/cm³ 이상으로 안정화 된 후, 환기장치를 가동하여 시험을 시작하였다.

측정위치는 Fig. 2.와 같으며, 환기장치의 OA측 입자 개수 농도(C_A), SA측 입자 개수 농도(C_B), EA측 입자 개수 농도(C_A), 및 IA 입자 개수 농도(C_I)를 측정하였다. 각각의 환기장치별로 약 20분간 측

정하였으며, 입자 농도의 측정은 광산란식 자동 입자 계수기(TSI OPS 3330)를 사용하였다. 측정은 1초 단위이며, 1분씩은 30초 평균값을 사용하였다.

또한, 환기장치의 미세먼지 집진성능은 환기장치 내 필터 주변 및 내부 누기로 인해 영향을 받는 것으로 파악되고 있어 주요 누기부위를 찾기 위하여 Fig. 5.와 같이 PIV (Particle image velocimetry) 측정 시스템을 사용하여 실험을 수행하였다.

4. 결과 분석

4.1. 평가대상 환기설비 모델에 대한 실제 미세먼지 제거율 평가 결과

Model A 및 B에 대한 측정 결과는 Fig. 6. 및 Fig. 7.과 같으며, 제안한 수식(Eq. 1)을 통해 산출된 환기장치의 미세먼지 집진효율 E는

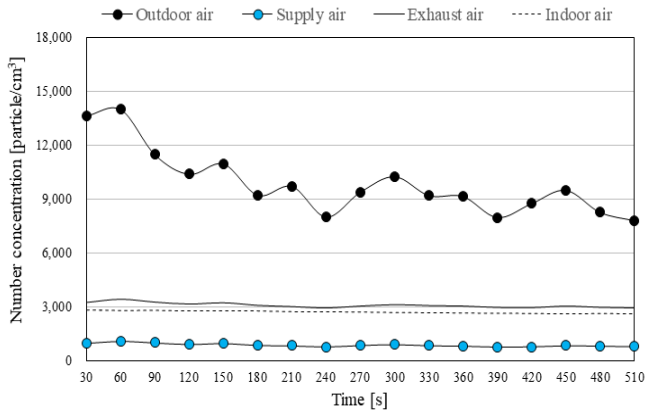


Fig. 6. Particle number concentration of model A

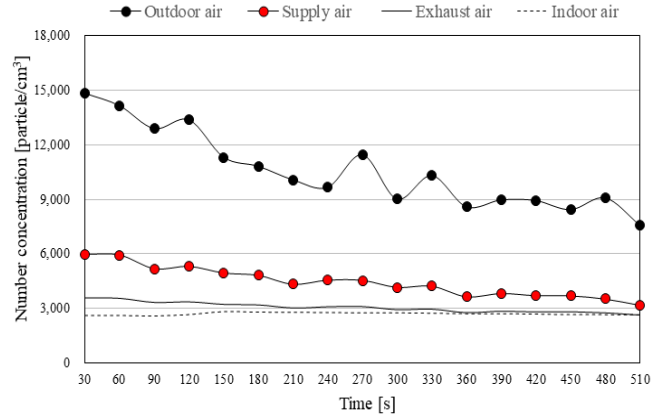


Fig. 7. Particle number concentration of model B

Table 4. Particle number concentration and fine dust collection efficiency of model A

	OA(C _A)	SA(C _B)	EA(C _A)	IA(C _I)	E
	[particle/cm ³]				[%]
Mean	10,566	4,444	3,079	2,723	58
SD	2,146	823	287	77	2
Max	14,831	5,963	3,613	2,851	61
Min	7,595	3,188	2,648	2,592	53

Table 5. Particle number concentration and fine dust collection efficiency of model B

	OA(C _A)	SA(C _B)	EA(C _A)	IA(C _I)	E
	[particle/cm ³]				[%]
Mean	9,859	861	3,079	2,715	91
SD	1,812	95	131	74	1
Max	13,991	1,089	3,403	2,834	93
Min	7,791	753	2,934	2,611	90

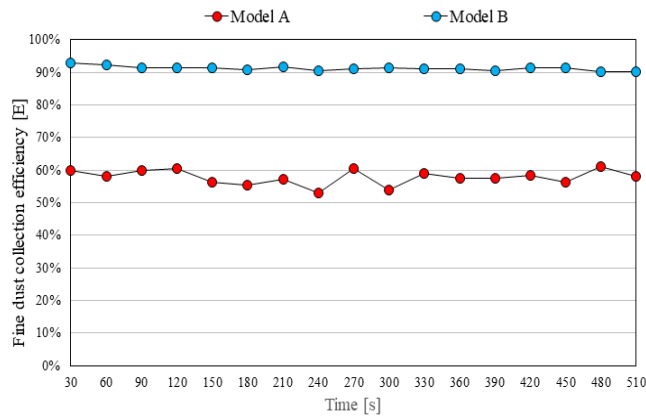


Fig. 8. Fine dust collection efficiency(E) of model A and B

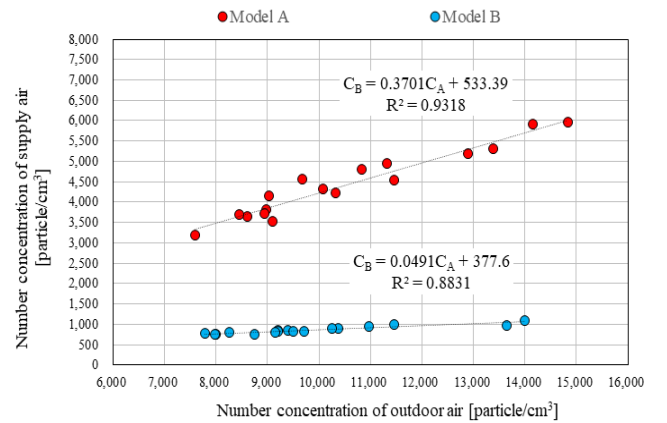
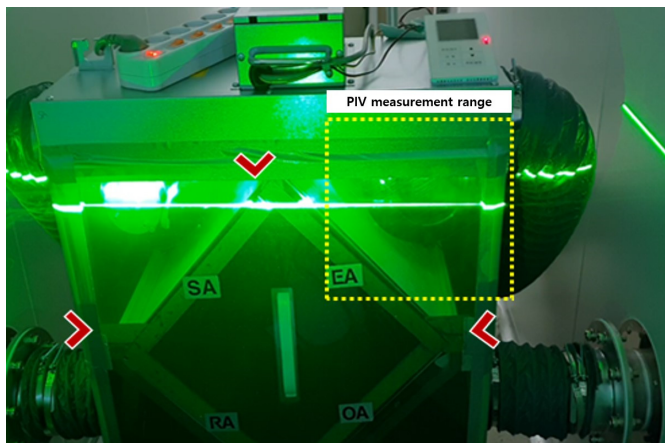
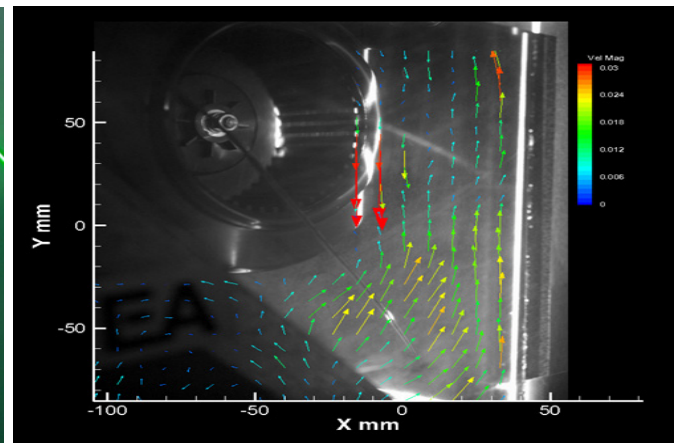


Fig. 9. Number concentration distribution of supply air compared to outdoor air



(a) PIV measurement range



(b) Particle behavior due to leakage inside the ventilator

Fig. 10. Identifying the cause of internal leakage using PIV (model A)

Fig. 8.과 같다. 또한, OA의 미세먼지 개수 농도 C_A 대비 SA의 미세먼지 개수 농도 C_B 의 분포는 Fig. 9.와 같다.

측정된 결과 중, Model A 및 B의 C_A 가 유사한 구간을 선정하였다. 분석대상 구간은 입자크기 $2.5\mu\text{m}$ 의 C_A 가 7,500~15,000 particle/cm³인 구간이며 총 510초 동안 측정된 데이터를 비교 분석하였다.

Model A에서는 C_A 평균값이 10,566 particle/cm³일 때, C_B 평균값이 4,444 particle/cm³로 집진효율 E는 58%이며, 장치내 HEPA필터의 미세먼지 제거효율인 99.99%와 비교 시 크게 낮은 값을 나타내었다. 반면, 내부 누기성능을 개선한 Model B에서는 C_A 평균값이 9,859 particle/cm³일 때, C_B 평균값이 861particle/cm³, 집진효율 E는 91%로 미세먼지 집진효율이 매우 높게 나타났고 필터의 미세먼지 제거효율 99.99%에 가까운 매우 우수한 집진 성능을 나타내었다.

또한 Fig. 9.에서 OA 입자 개수 농도 C_A 에 따른 SA 입자 개수 C_B 개수 농도 분포를 비교한 결과, 동일한 C_A 값에 대하여 Model A 및 B의 C_B 값이 큰 차이를 나타내었다. Model A에서는 $C_B = 0.3701C_A + 533.39$ (R² 값은 0.93)이었으나, Model B에서는 $C_B = 0.0491C_A + 377.6$ (R² 값은 0.88)로 Model B의 C_B 값이 Model A보다 상대적으로 매우 낮은 값을 나타내어 집진 성능이 크게 개선되었음을 확인 할 수 있었다.

4.2. 환기장치 내부 누기 부위 측정 결과

PIV 시스템을 활용하여 Model A의 주요 내부 누기 부위 파악 결과 Fig. 10.과 같다. Fig. 10. (a)에서와 같이 평가 대상 위치는 환기장치 내 EA측이다. 이곳에는 배기팬이 위치하고 있기 때문에 OA측을 통해 외부 미세먼지 유입시 내부 틈새가 있을 배기팬으로 인한 발생하는 압력으로 OA측에서의 입자가 다량 EA측으로 유입될 수 있다. PIV 측정 결과 환기장치 가동 중 OA측으로 유입된 다량의 미세먼지 입자가 EA측으로 유입되는 것을 확인 할 수 있었다. 환기장치의 필터와 전열교환소자가 케이스와 만나는 접합부에서 다량의 누기가 발생하였다.

5. 결론

본 연구에서는 건축물에 적용되는 열회수형 환기장치의 미세먼지 집진효율을 평가하고, 집진성능 저하의 원인 분석 및 개선방향을 제안하고자 하였다.

현재 우리나라의 열회수 환기장치의 성능과 관련한 평가는 KS B 6141를 통해 필터에 대한 물리적인 평가가 이루어지고 있으며, 환기설비에 대해서는 KS B 6879에서 누설률 등을 포함한 평가가 이루어지고 있으나, 필터가 장착된 환기설비에 대한 미세먼지의 제거성능 평가가 이루어지지 못하고 있다. 이에 본 연구에서는 환기설비의 실내의 챔버로 구성된 오염물질 집진효율 평가시스템을 구축하고, 소형 환기설비 2종을 대상으로 성능평가를 수행하였다.

본 연구의 내용 및 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) HEPA필터가 적용된 열회수 환기장치를 대상으로 미세먼지 실제집진성능 평가용 챔버 구성안 및 산출식을 제안하고 2종의 장치에 대하여 평가를 수행하였다.

- 2) 환기장치의 미세먼지 집진효율 평가결과, 장치 내 열교환 소자 주변에서 누기가 상대적으로 크게 발생하는 A모델의 경우 미세먼지 집진효율이 평균 58%로 나타나 HEPA필터의 성능기준에 크게 미달하는 것으로 평가되었다. 또한 PIV 측정결과 환기장치 A에서 내부 누기부위를 확인 할 수 있었고, 그로인한 입자이동이 다량 발생한 것을 확인할 수 있었다. 반면, 환기장치 내부 디테일을 개선하여 기밀성능을 개선한 B모델의 경우 미세먼지 집진효율이 평균 91%로 나타나 집진성능이 크게 향상된 것으로 평가되었다.

- 3) 따라서, 환기설비의 미세먼지(오염물질) 집진효율 향상을 위해서는 성능이 높은 필터를 단순하게 적용하기보다는 환기설비 내부에서 누기가 발생되지 않는 설계 개선이 필수적인 것으로 사료된다.

- 4) 또한, 향후 열회수 환기장치의 초미세먼지 제거성능 향상을 위한 제품개발이 이루어질 수 있도록 미세먼지 크기별 누기율 평가 또는 환기장치의 초미세먼지 포집성능 평가방법에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgement

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20202020800360)

References

- [1] 국가기술표준원, KS B 6141 환기용 공기필터 유닛, 2020. // (Korean Agency for Technology and Standards, KS B 6141 Air filter units for ventilation, 2020.)
- [2] 한국설비기술협회, KARSE B 0051 현열/전열 회수 열교환기, 2010. // (Korean Association of Air Conditioning Refrigerating and Sanitary Engineers, KARSE B 0051 Sensible heat / total heat recovery heat exchanger, 2010.)
- [3] 국가기술표준원, KS B 6879 열회수형 환기 장치, 2020. // (Korea Agency for Technology and Standards, KS B 6879 Heat recovery ventilation system, 2020.)
- [4] 조예림, 성민기, 필터가 장착된 열회수형 환기장치의 미세먼지 제거성능 실험, 대한건축학회 논문집, 제37권 제10호, 2021.10, pp.149-157. // (Y.L. Jo, M.K. Sung, Experimental verification for particle removal efficiency of heat recovery ventilation systems with air filters, Journal of AIK, 37(10), 2021.10, pp.149-157.)
- [5] 안중석 외 2인, 공동주택 기계환기설비의 급-배기 유형에 따른 미세먼지 제거성능 분석, 대한건축학회 논문집, 제38권 제12호, 2022.12, pp.273-282. // (J.S. An et al., Analysis of fine dust removal performance according to types of ventilation system in a multifamily residential building, Journal of AIK, 38(12), 2022.12, pp.273-282.)
- [6] 이신혜 외 6인, 실내의 미세먼지 농도에 따른 침입계수에 관한 연구, 대한설비공학회 동계학술발표대회논문집, 2019.11, pp.97-100. // (S.H. Lee et al., A study on the penetration coefficient according to indoor and outdoor particulate matter concentration, 2019 SAREK Winter Annual Conference, 2019.11, pp.97-100.)
- [7] 국토교통부, 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙, 2020.4. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Rules on facility standards, etc. of buildings 2020.4.)
- [8] 신철용, 조진균, 건축물 환기/공조용 국내의 에어필터 시험방법 비교 분석, 대한설비공학회 동계학술발표대회논문집, 2018.11, pp.106-109. // (C.W. Shin, J.K. Cho, Comparing international air filter test code and test methods for building ventilation / air conditioning, 2018 SAREK

- Winter Annual Conference, 2018.11, pp.106-109.)
- [9] S. Courtney, Definition of filtration performance - From EN 779 to ISO 16890, REHVA Journal, 2017.02, pp.16-19.
 - [10] European Standard, EN779: 2012, The new European Standard for air filters, 2012.
 - [11] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ANSI/ASHRAE 52.2, Method of testing general ventilation air-cleaning devices for removal efficiency by particle size (ANSI approved).
 - [12] 국가기술표준원, KS R ISO 12103-1 도로 차량-필터 평가용 시험 오염 물질 - 제1부: 애리조나 시험 먼지, 2020. // (Korea Agency for Technology and Standards, KS R ISO 12103-1 Road vehicle-test contaminants for filter evaluation - Part 1: Arizona test dust, 2020.)
 - [13] 국가기술표준원, KS B 6311 송풍기의 시험방법, 2022. // (Korea Agency for Technology and Standards, KS B 6311 Testing methods for industrial fans, 2022.)