

# 공동주택 전열교환기 필터종류 및 두께에 따른 미세먼지 제거율 평가

## Evaluation of Particulate Matter Removal Rate according to Filter Type and Thickness of Total Heat Exchanger in Apartment Houses

송용우\*

Yong-Woo Song

### Abstract

This study examined the particulate removal performance of three different types of air filters inside a heat exchanger. Of interest was the ability of each filter type in reducing the transmission of outdoor particulate matter of PM<sub>10</sub> from entering an apartment while the heat exchanger was in operation. The study tested one commonly used medium filter (E11 grade) and two HEPA filters (H13 grade) of different thicknesses. Two different concentrations of particulate matter were used in the experiment to address different ambient air quality conditions in Korea, 32.75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and 67.26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Study results indicated that under the particulate matter concentration of 32.75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , all three filters were capable of removing more than 95% of the fine dust. However at a particulate matter concentration of 67.26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , the medium E11 grade filter was only able to remove about 90% of the particulates whereas the HEPA H13 grade filters were able to remove 95% or more of the particulates. The thicker HEPA filter (40T) was also more effective in removing particulates than the thinner HEPA filter (20T) by about 1.6 to 3 percentage points. Based on the findings of this study, it is recommended that HEPA filters of 20T thickness or greater be used during the high air pollution seasons of winter and spring in Korea while medium filters can be used during the other seasons to reduce outdoor air pollution transmission indoors.

**Keywords:** Particulate Matter(미세먼지), Total Heat Exchanger(전열교환기), Medium Filter(미디엄필터), HEPA Filter(헤파필터), Reduction Rate Test(제거율 평가 실험)

## 1. 서론

최근 미세먼지 문제와 함께 코로나바이러스(COVID-19)의 확산으로 인한 깨끗한 공기에 대한 관심이 증가하고 있다. 국내 대기 미세먼지의 경우 지속적으로 감소하는 추세가 나타나고 있으나, 2018년 기준 OECD 주요 국가에 비해 높은 상황이다 (WHO, 2016; 2018; 국립환경과학원, 2019; 박현욱·배충식, 2019). 현재 미세먼지는 크게 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 두 가지로 구분되고

있으며, PM<sub>10</sub>은 미세먼지로 입경이 10 $\mu\text{m}$  이하인 먼지를 나타내며, 대표적으로 도로 비산먼지, 토양 먼지 등이 포함된다. PM<sub>2.5</sub>는 초미세먼지로 입경이 2.5 $\mu\text{m}$  이하인 먼지로 대표적인 물질은 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx) 등의 이온물질과 함께 결합되어 생성되는 물질이다(Marcazzan et al., 2003; 환경부, 2016).

대기 중 높은 미세먼지 농도는 실내로 유입될 경우 거주 시간이 증가하고 있는 인체에 폐질환 및 기타 호흡기 질환과 더불어 뇌질환까지 각종 질환을 유발할 수 있다(Pope et al., 2004;

\* 중앙대학교 일반대학원 박사과정(yongma0930@naver.com)

권명희 외, 2013; 강지연 외, 2019). 또한 최근 팬데믹 등의 문제가 나타나고 있는 코로나바이러스 등에 대응하는 방법은 음압을 형성하여 실내로 유입을 방지하거나 환기량을 증가시켜 바이러스 등이 유입될 경우 다량의 깨끗한 공기로 희석시켜 인체에 영향을 미치지 못하도록 그 농도를 감소시켜야 한다(보건복지부·질병관리본부, 2017; Cho, 2019; ASHRAE Journal, 2020).

하지만, 실내 공기를 정화시킬 수 있는 방법은 자연환기를 시키는 방법 또는 공기청정기를 사용하는 방법이 거의 유일하여 해당 방법 적용에 앞서 필터 등의 설치를 통한 유입 전 정화를 시킬 필요가 있다(윤재욱, 2013). 최근 공동주택의 경우 외부 유입 및 실내 순환공기를 정화시킬 수 있는 전열교환기를 설치하고 있으나, 필터의 효율에 대한 정보는 필터 자체의 성능을 평가하여 사용하고 있어 전열교환기와 함께 결합 시 그 성능이 유지되는지에 대한 확인이 필요하다(한국여과기공업협동조합 단체표준).

기존 전열교환기 관련 연구의 경우 어린이 침실에서 공기정화, 환기장치를 작동하여 호흡 건강을 개선할 수 있는지 평가하였다. 이를 통해 PM<sub>10</sub>, VOCs, CO 및 CO<sub>2</sub> 농도가 크게 감소한 것을 확인하였다(Xu et al., 2010). 또한, 부직포, 항균, 우레탄 필터 등의 종류에 따른 압력손실을 평가하여 필터의 제거성을 확인하였다(오태관 외, 2018). 더불어 전열교환기의 전열교환 효율을 필터 종류에 따라 평가한 연구가 주로 이루어졌다(배철호 외, 2002). 이처럼 최근 전열교환기 관련 연구는 전열교환기 작동 유무에 따른 변화, 필터 종류에 따른 압력 손실의 변화에 대한 평가가 주로 이루어져 실제 미세먼지 발생에 따른 정량

적인 제거율에 관한 연구는 미비한 실정이다.

이에 본 논문은 일반적인 공동주택에서 사용되는 전열교환기와 각종 필터(미디엄, HEPA)를 활용한 미세먼지 저감 성능에 대한 비교를 통해 전열교환기의 공기청정 효과를 확인하고자 하였다. 해당 연구의 결과가 공동주택에 적용되는 전열교환기의 실내 공기청정 효과에 대한 기초자료로 활용되길 기대한다.

## 2. 이론고찰

현재 공동주택 환기장치의 경우 Table 1과 같이 2006년 2월부터 '건축물의 설비 기준 등에 관한 규칙' 제11조 3항에 따라 신축 또는 리모델링 공동주택의 경우 의무적인 설치를 추진하고 있다. 또한 2020년 10월부터는 30세대 이상 소규모 공동주택 역시 환기장치 설치를 의무화하고 있으며, 향후 실내 공기환경에 대한 관심 증가로 인해 강화될 가능성이 있다.

현재 일반적으로 공동주택에는 Fig. 1, 2와 같이 창문형 자연 환기 설비와 기계 환기 설비가 적용되고 있으며, 해당 장치

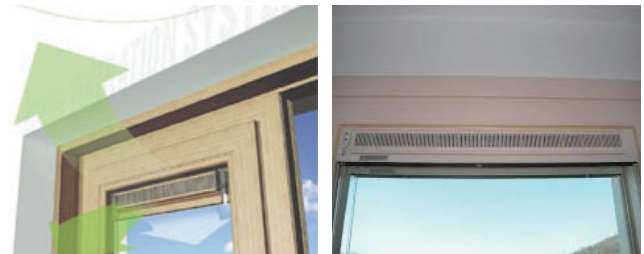


Fig. 1. Window Type Natural Ventilation System

Table 1. Rules on the Standard of Facilities, etc. of Buildings (Revision Related to Ventilation Equipment)

Code	Related to Article 11 of the Regulations on Building Equipment Standards, etc.	
	Ministry of Land, Infrastructure and Transport Decree No. 467, 2017. 12. 4, partially revised 〈Enforcement Decree, Dec. 4, 2017〉	Ministry of Land, Infrastructure and Transport Decree No. 704, 2020. 03. 02, other law revision 〈Enforcement Decree, Oct. 10, 2020〉
Target	Apartment houses of 100 or more households	Apartment houses of 30 or more households
Standard for performance of air filter in ventilation system	<p>Natural ventilation</p> <p>When the particle collection rate specified in the Korean Industrial Standard (KS B 6141) is measured by the gravimetric method, it is secured at least 60%</p> <p>Mechanical ventilation</p> <p>The ventilation efficiency that the particle collection rate specified in the Korean Industrial Standard (KS B 6141) is 80% or more when measured by the colorimetric method and light scattering integration method and 40% or more when measured by the counting method is secured.</p>	<p>The particle collection rate in accordance with the Korean Industrial Standard (KS B 6141) should be 70% or more as measured by the mass method.</p> <p>The particle collection rate according to the Korean Industrial Standard (KS B 6141) should be 60% or more as measured by the counting method.</p>

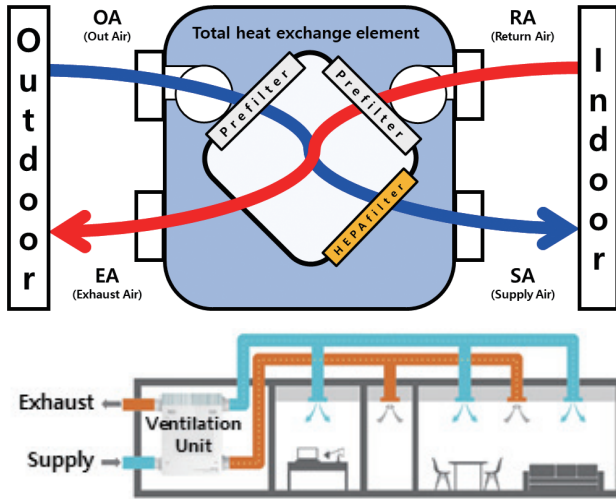


Fig. 2. Mechanical Ventilation System

에는 외부 미세먼지 실내 유입을 차단하는 성능을 향상시키기 위해 공기여과기 또는 집진기를 갖추도록 권장하고 있다. 그중 전열교환기는 기계 환기 설비 한 종류로 해당 장치에는 환기 필터가 적용되어 권장 성능을 갖추고자 하고 있으며, 일반적으로 전열교환기에 설치되는 환기 필터의 경우 Table 2와 같이 존재한다(KS 규격 KS B 6141, 2020).

환기필터 종류는 Table 2와 같이 크게 3가지로 구분이 된다. 큰 먼지 입자를 제거하는 Pre 필터, 일반적인 환기설비에 주로 사용되는 Medium 필터, 먼지에 민감한 병원, 반도체 공장 등에서 사용하는 HEPA 필터 등이 존재하고 있다.

특히, HEPA 필터는 제거율 및 제거 가능 먼지 크기에 따라 등급이 구분되며, EN 1822에서는 Table 3과 같이 E10 등급(Semi-HEPA)부터 H14 등급(HEPA)까지 HEPA 필터의 등급을 구분하고 있다(BS EN 1822-1 High efficiency air filters)

최근 증가하는 고농도 미세먼지 대응 방안으로 공동주택에

Table 2. Types and Characteristics of Filters Applied to Heat Exchanger

Filter type	Characteristic
Pre Filter	Used for pre-treatment of air conditioners Used as a primary treatment filter to remove particles and large dust
Medium Filter	Manufactured in several forms using glass fiber The role of protecting machinery that processes microdust and removing unfiltered dust from pre filters
HEPA Filter	Filtering fine particles and widely used in the cooperation of a clean room Capture 99.97% or more for a 0.3µm in diameter

Table 3. HEPA Filter Rating within EN 1822 Criteria

Filter group	Filter class	Removal rate
Semi-HEPA	E10	85.0%
	E11	95.0%
	E12	99.5%
HEPA	H13	99.75%
	H14	99.975%

설치되는 전열교환기에도 고성능 HEPA필터가 적용되기 시작하였으나, 관련 법규에는 최소 필터 사양에 대한 기준만 존재할 뿐 고성능 HEPA필터가 적용되었을 때 전체 전열교환기의 미세먼지 저감 성능에 대한 연구는 부족한 상황이다.

### 3. 실험 방법 및 내용

#### 3.1 측정 장비 개요

본 연구는 전열교환기와 다양한 필터 결합 시 미세먼지 저감 효과를 확인하기 위하여 필터 종류 및 두께별 제거율 평가 실험을 하였으며, 실험에 사용된 장비는 분진, 풍량, 전력량 측정 장비 등이 있으며, 상세한 내용은 Table 4와 같다.

특히, 미세먼지 분진 측정장비인 GRIMM 1.108 경우 광산란방식 측정기로 다양한 에어로졸 스펙트럼계를 제공하며, 30개 이상 채널에서 입자 데이터를 지속적으로 측정할 수 있는 장비이며, 국내외 미세먼지 측정기 및 공기청정기 기준 측정 장비로 사용되고 있는 장비이다.

해당 장비를 이용하여 전열교환기의 미세먼지 제거율 평가를 실시하였으며, 풍량의 경우 공동주택 표준 평형인 84m<sup>2</sup>에 적용되는 150 CMH로 설정하였다. 모든 실험은 실험 간 오차를 줄이고자 3회 실시 후 평균을 통해 산정하였다.

실험에 사용된 필터는 크게 2가지 종류로 구분하였으며, 필터 종류 및 두께에 따른 종류 및 두께는 Table 5와 같다. 일반적으로 사용되는 Medium 필터(E11)와 제거율이 높은 것으로 알려져 있는 HEPA 필터(H13)를 사용하였다.

Medium 필터(E11 등급)의 경우 미세먼지 크기 1.0µm 이상에서 95%의 제거율을 갖고 있으며, HEPA 필터(H13 등급)의 경우 미세먼지 크기 0.3µm 이상에서 99.75%의 제거율을 갖고 있는 것으로 알려져 있다.

해당 필터 종류 구분과 함께 HEPA 필터의 경우 두께를 다르게 하여 두께에 따른 미세먼지 제거율 차이도 함께 확인하고자 하였다.

**Table 4.** Experimental Application Measuring Equipment Types and Overview

Division	Particulate matter measuring device	Air capacity meter	Watt-hour meter	
Name	GRIMM 1.108	ALNOR RVA+	KEM	
Range	0.001~100 (mg/m <sup>3</sup> )	50~6000 (fpm)	Operation range	3,680W, 230 Vac
Particle size	0.3~20 (μm)		Minimum current	0.005 A
Measurement mode	Environment (PM 1.0, 2.5, 10)	0.57~68 (mph)	Measurement mode	V ±3%
	Particle count (PM 0.3~20)			A ±3%, ±0.001A
Error range	±5%	±(1% reading+4 fpm or 0.02m/s)	W (>=1W)±3%, ±2W	



**Table 5.** Experimental Application Filter Types and Configurations

Type	Filter configuration	Total thickness
Type 1	Pre Filter (5T)+Medium Filter (E11) (5T)	10 T
Type 2	Pre Filter (5T)+HEPA Filter (H13) (20T)	25 T
Type 3	Pre Filter (5T)+HEPA Filter (H13) (40T)	45 T

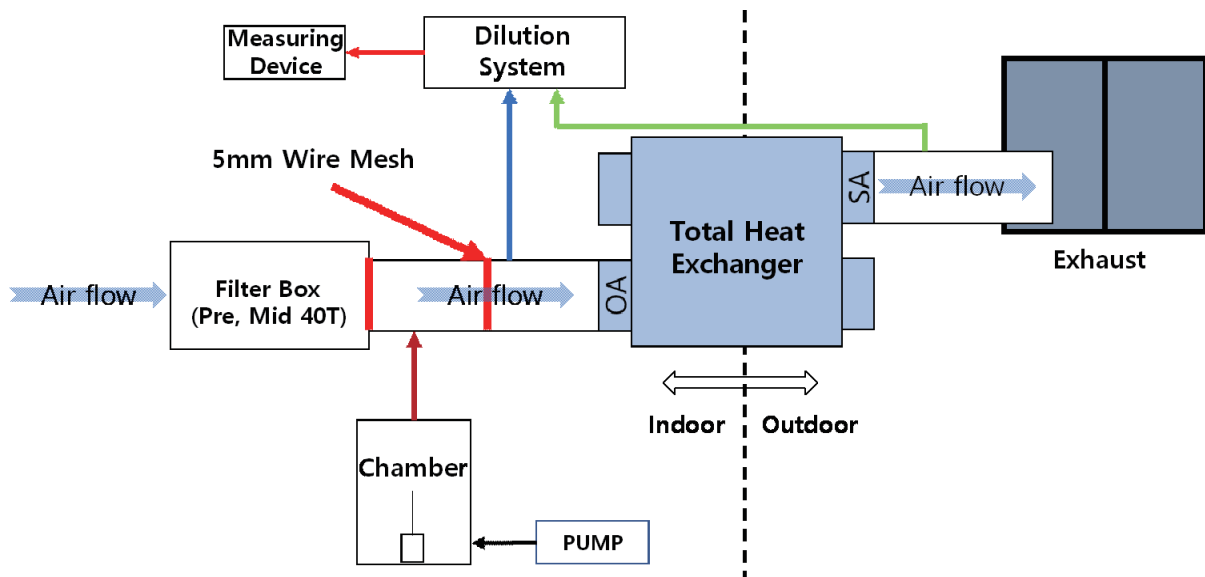
**3.2 실험 개요**

실험은 일반적인 공동주택에 적용되는 전열교환기의 OA를 통해 미세먼지를 발생시켜 주입하였으며, OA 전단에 필터박스를 설치하여 전열교환기로 유입되는 외부 공기를 정화시켜 발생시킨 미세먼지 이외의 영향을 최소화하고자 하였다.

실험에 사용된 미세먼지 발생원은 일반적인 향초를 이용하였으며, 실험에 적용된 미세먼지 농도는 보통상태(30~40μg/m<sup>3</sup>)와 나쁨 상태(60~70μg/m<sup>3</sup>)로 나누어 적용하였다(환경부, 2018; 2020).

필터 종류에 따른 전열교환기 제거율 산정은 OA와 SA 미세먼지 농도 차이를 통하여 도출하였다. 제거율 평가는 KS B 6141(2020) 필터 등급 시험 기준인 0.3μm를 대상으로 실시하였다. 해당 실험은 Fig. 3과 같은 계통을 통하여 진행하였다. 기존 전열교환기의 경우 SA 측이 실내로 외기를 주입하는 구간이며, OA 측이 외부에서 공기를 유입하는 구간이다.

다만, 본 연구에서는 외기 미세먼지 농도 변화를 가정하여



**Fig. 3.** Experimental Schematic Diagram

실시하는 실험으로 실내에 OA구간을 설치하고 미세먼지 농도를 형성시켜 주입하였다. SA 구간은 미세먼지가 제거된 공기를 외부로 배기시킬 수 있도록 설치하였다.

#### 4. 실험 결과

##### 4.1 미세먼지 발생 농도 유지 실험 결과

전열교환기 내 필터의 미세먼지 제거 성능 평가에 앞서 본 실험에서 적용한 미세먼지 보통 상태( $30\sim 40\mu\text{g}/\text{m}^3$ )와 나쁨 상태( $60\sim 70\mu\text{g}/\text{m}^3$ )가 유지됨을 확인하였다. 향초를 이용한 미세먼지 농도 발생 및 유지 결과는 Fig. 4 및 Table 6과 같다.

미세먼지 농도 유지 실험 결과 평균 농도는 보통 상태의 경우  $32.75\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, 나쁨 상태의 경우  $67.26\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 유지됨을 확인하였다. 이를 바탕으로 해당 미세먼지 발생 농도를 전열교환기 내 필터의 제거율 성능평가에 활용이 가능한 것으로 판단된다.

##### 4.2 미세먼지 보통 및 나쁨 상태 제거율 평가 결과

미세먼지 보통 상태( $30\sim 40\mu\text{g}/\text{m}^3$ )와 나쁨 상태( $60\sim 70\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

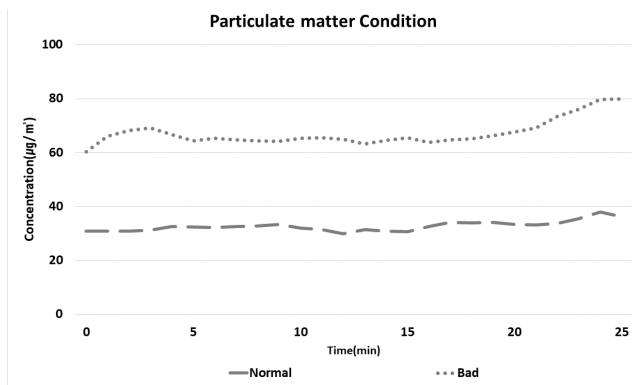


Fig. 4. Results of Experiments to Maintain Normal, Bad Levels of Particulate Matter

의 경우 전열교환기 내 필터의 제거성능 평가 결과는 Fig. 5 및 Table 7과 같다.

보통 상태( $30\sim 40\mu\text{g}/\text{m}^3$ )의 필터 종류별 제거율 평가 결과 Medium 필터에서 최소 96.36%, HEPA 40T에서 최대 98.15%의 제거율이 나타나 필터 종류 및 두께에 관계없이 95% 이상 미세먼지 제거율을 얻을 수 있는 것으로 확인되었다. 또한, HEPA 필터의 경우 두께가 증가함에 따라 미세먼지 제거율이 비례하여 상승하는 것으로 나타났다.

미세먼지 나쁨 상태( $60\sim 70\mu\text{g}/\text{m}^3$ )의 전열교환기 내 필터 제거성능 평가 결과 나쁨 상태의 필터 종류별 제거율은 Medium 필터에서 최소 90.60%에서 HEPA 40T에서 최대 99.10%의 제거율이 나타났다.

미세먼지 보통 상태에 비해 Medium 필터의 효율이 약 6% 감소하는 것으로 나타났으나, HEPA 필터는 두께 및 농도와 관계없이 95% 이상 제거율이 나타난 것으로 확인하였다. 더불어 보통 상태와 같이 필터 두께 증가에 따라 제거율도 함께 증가하는 추세가 나타났다.

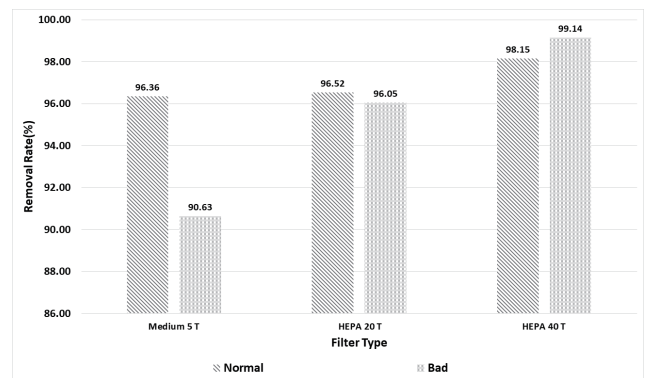


Fig. 5. Reduction Rate according to Type of Filter in Normal and Bad Condition of Particulate Matter

Table 6. Results of Experiments on Maintaining Particulate Matter Concentration

Results of measurement of Particulate matter concentration					
Division	SA Wind capacity	OA Wind capacity	Average Particulate matter concentration	Power consumption	Basal power
Normal	150.2 CMH	110.4 CMH	$32.75\mu\text{g}/\text{m}^3$	52.0 W	3.0 W
Bad			$67.26\mu\text{g}/\text{m}^3$		

Table 7. Results of Particulate Matter Reduction Experiment according to Filter Type

Concentration of particulate matter application	Medium (5T)	HEPA (20T)	HEPA (40T)
$32.75\mu\text{g}/\text{m}^3$	96.36%	96.52%	98.15%
$67.26\mu\text{g}/\text{m}^3$	90.60%	96.00%	99.10%

## 5. 결론

본 연구는 미세먼지의 실내 유입을 방지할 수 있는 방안으로 전열교환기에 설치되는 필터의 종류 및 두께에 따른 미세먼지 제거율에 대한 평가를 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 필터 종류에 따른 미세먼지 제거율 실험 중 미세먼지가 보통 농도일 경우 전열교환기와 필터 결합을 통한 미세먼지 제거율 평가 결과 Medium 필터(E11 등급)와 HEPA 필터(H13 등급) 모두 95% 이상 미세먼지 제거 효과를 얻을 수 있는 것으로 확인되었다. 이를 통해 미세먼지 농도가 낮은 상황일 경우 Medium 필터와 HEPA 필터 모두 사용이 가능하며, 정압 및 비용 측면에서 Medium 필터 사용이 유리할 것으로 판단된다.

둘째, 미세먼지 나쁨 농도일 경우 전열교환기와 필터 결합을 통한 미세먼지 제거율 평가 결과 Medium 필터의 제거능이 크게 낮아져 약 90%의 제거율만 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 다만, HEPA 필터의 경우 보통상태와 유사한 95% 이상 제거율을 획득할 수 있는 것으로 나타났다.

셋째, 본 연구의 실험 결과 농도가 나쁜 환경에서는 Medium 필터의 사용은 외부에서 유입되는 미세먼지 제거에 효과적이지 않은 것으로 나타났으며, HEPA 필터의 경우 미세먼지 농도의 영향이 낮은 것으로 확인되었다.

넷째, 국내의 경우 겨울, 봄에 미세먼지 농도가 나쁨을 나타내어 해당 계절에는 Medium 필터에 비해 HEPA 필터 사용이 적합할 것으로 판단되며, 미세먼지 제거율을 95% 이상 획득하기 위해선 HEPA 필터 두께는 20T 이상을 사용하여야 그 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 전열교환기에 사용되는 필터의 종류에 따라 전열교환기의 미세먼지 제거 성능을 장치 전체의 관점에서 실험을 통해 확인한 연구이다.

미세먼지 농도를 보통과 나쁨의 상태로 실시하였으나, 추가적으로 다양한 미세먼지 농도와 사용 필터의 종류에 대한 변화를 통해 상세한 성능 평가가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구의 결과가 향후 전열교환기에 사용되는 필터 종류별 교체주기 및 다양한 필터의 제거성능 평가에 기초자료로 활용되기를 기대한다.

## 참고문헌

1. 강지연·김형근·홍구표(2019), “공동주택 구조 형식에 따른 기밀성능 측정 및 분석”, 『한국생태환경건축학회논문집』, 19(6): 81-86.
2. 권명희·김성미·심인근·서수연·원수란·지현아·김다해·황은설·이우석·임태숙·고상호·김영섭·박기수·박준(2013),

- 「주거환경 중 주방에서 발생하는 실내 오염물질 관리방안 연구」, 국립환경과학원.
3. 국립환경과학원(2019), 「대기환경연보」.
4. 박현욱·배충식(2019), “미세먼지 현황과 과제”, 『기계저널』, 59(7): 52-55.
5. 배철호·정모·김수연·임영현·D.G. Nasriddinovna·윤백·김영생·박찬정(2002), “열회수용 전열교환기의 성능 특성 비교 연구”, 『대한설비공학회 학술발표대회논문집』, 64-69.
6. 보건복지부·질병관리본부(2017), 「국가지정 입원치료병상 운영과 관리지침」.
7. 오태관·박경민·류신후이·여성구·김은지·안영철(2018), “전열교환 환기장치의 집진필터 특성분석”, 『대한설비공학회 학술발표대회논문집』, 202-204.
8. 윤재욱(2013), “신축 공동주택에서 감압법을 이용한 기밀성능 실험 연구”, 『한국생태환경건축학회 논문집』, 13(3): 27-32.
9. 한국여과기공업협동조합 단체표준, 「공조용 에어필터(SPS-KFIC 0004:2017)」.
10. 환경부(2016), 「바로 알면 보인다. 미세먼지, 도대체 뭘까?」.
11. 환경부(2018), 「대기오염 예측·발표의 대상지역 및 기준과 내용 등에 관한 고시」.
12. 환경부(2020), 「환경정책기본법 시행령」.
13. KS 규격 KS B 6141 (2020), 「환기용 공기 필터 유닛」.
14. ASHRAE Journal (2020), “Mitigating airborne infection transmission with HVAC systems”.
15. BS EN 1822-1 High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA).
16. Cho, J. Y., K. H. Woo and B. S. Kim (2019), “Removal of airborne contamination in airborne infectious isolation rooms”, *ASHRAE Journal*, 61(2): 8-10, 12, 14, 16, 18, 20-21.
17. Marcazzan, G. M., M. Ceriani, G. Valli and R. Vecchi (2003), “Source apportionment of PM 10 and PM2,5 in Milan (Italy) using receptor modeling”, *Science of The Total Environment*, 317(1-3): 137-147.
18. Pope, C. A., R. T. Bunnett, G. D. Thurston, M. J. Thun, E. E. Calle, D. Krewski and J. J. Godleski (2004), “Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease”, *Circulation*, 109(1): 71-77.
19. WHO (2016), “Global urban ambient air pollution database summary results”.
20. WHO (2018), “WHO ambient(outdoor) air quality database Summary results, update”.
21. Xu, Y., S. Raja, A. R. Ferro, P. A. Jaques, P. K. Hopke, C. Gressani and L. E. Wetzel (2010), “Effectiveness of heating, ventilation and air conditioning system with HEPA filter unit on indoor air quality and asthmatic children’s health”, *Building and Environment*, 45(2): 330-337.