

# 열회수형 환기장치의 필터의 여과 효율 평가에 관한 실험적 연구

## Experimental Study of Filtration Efficiency of Filters in Heat Recovery Ventilator System

○정 한 응\*      강 경 모\*\*  
Jeong, Han-Ung      Kang, Kyungmo

### Abstract

Fine dust particles have varying effects on human health depending on their diameter. This study addresses this gap by investigating the removal efficiency of diverse filters installed in HRV devices and comparing the I/O ratio based on filter efficiency with the system's non-operational state. Findings reveal that while all filters demonstrated satisfactory removal efficiency for particles within the 3.0-10.0  $\mu\text{m}$  range, their performance fell short of specified standards for particles ranging from 0.3-1.0  $\mu\text{m}$ . Notably, when utilizing 40% of the filter capacity, indoor particle concentrations surpassed those observed during non-operational states of the HRV system.

키워드 : 미세먼지, 필터 효율, 열회수형 환기장치, I/O ratio, 실내공기질

Keywords : Fine dust, Filtration efficiency, Heat recovery ventilator, I/O ratio, Indoor air quality

### 1. 서론

미세먼지는 인체에 악영향을 미치는 오염물질로서 체내 침착 이후 호흡기계 및 순환기계 질환을 야기할 수 있다. 또한 장기적으로 미세먼지에 노출이 되면 폐암 발병의 원인이 될 수 있으므로 이에 대한 적절한 관리가 필요하다. (명준표, 2016)

선행연구들은 대부분 열회수형 환기장치의 성능 평가와 필터의 여과 효율을 평가하였다. 하지만 보다 상세한 입경 별 효율에 관한 연구는 미비한 상황이다.

본 연구에서는 시중에서 유통되고 있는 필터가 설치된 열회수형 환기장치(열회수형 환기설비)의 여과 효율을 평가하고자 하였다. 미세먼지 여과 효율을 확인하기 위해서 실내·외 미세먼지를 동시에 측정하여 그 농도비를 통해 여과 효율을 추정하고자 하였다. 또한, 더욱 상세한 필터의 성능을 평가하기 위하여 미세먼지의 입경 별 분석을 함께 수행하였다.

### 2. 측정 개요

#### 2.1 측정 건물의 개요

측정 건물은 경기도 고양시에 있는 실험용 주택이다. 주택의 규모는 지상 4층 규모로 측정 세대는 4층에서 수행하였다. 측정 세대의 바닥면적은 98.2 $\text{m}^2$ , 층고는 2.3m이다.

#### 2.2 실험 개요

본 연구에서 적용한 열회수형 환기장치는 외기 측(outdoor air, OA), 환기 측(return air, RA)에 필터 적용이 가능하다. 열회수형 환기장치의 풍량은 80 $\pm$ 5CMH로 설정하였으며, TESTO 417 풍량계를 이용하여 TAB(testing adjusting balancing)을 하였다. 실험에 사용된 필터는 여과 효율이 다른 총 3개의 필터를 사용하였다(Case 1, 2, 3). Case1은 40%, Case2는 90%, Case3은 99.95%의 여과 효율을 갖는다. 필터는 열회수형 환기장치의 OA 부분에 설치하여 환기 시 유입되는 외부 미세먼지 제거성능을 평가하였다. 미세먼지의 입경 별 평가를 위해서 TSI optical particle sizer(OPS) 3330으로 미세먼지를 측정하였으며, 실내와 실외 미세먼지 농도를 동시에 측정하였다. 이때 입경 구간은 ASHRAE 52.2를 참고하여 12개 구간으로 설정하였고, 측정간격은 1분으로 설정하였다. ASHRAE 52.2에서는 particle size efficiency(PSE)를 평가하기 위해 미세먼지 입경을 크게 3개의 그룹으로 구분한다(0.3-1.0, 1.0-3.0, 3.0-10.0 $\mu\text{m}$ ).

### 3. Infiltration Factor 계산

#### 3.1 I/O Ratio

I/O Ratio는 실내·외 미세먼지 농도의 비로 나타낸다. 이는 실내·외 미세먼지의 관계를 나타낼 수 있다.

\* 대진대학교 건축공학전공 학사과정

\*\* 대진대학교 건축공학부 교수, 공학박사

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering, Daejin University, kyungmo@daejin.ac.kr)

이 연구는 2023년도 한국연구재단 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호:(2021R111A1A0105687)

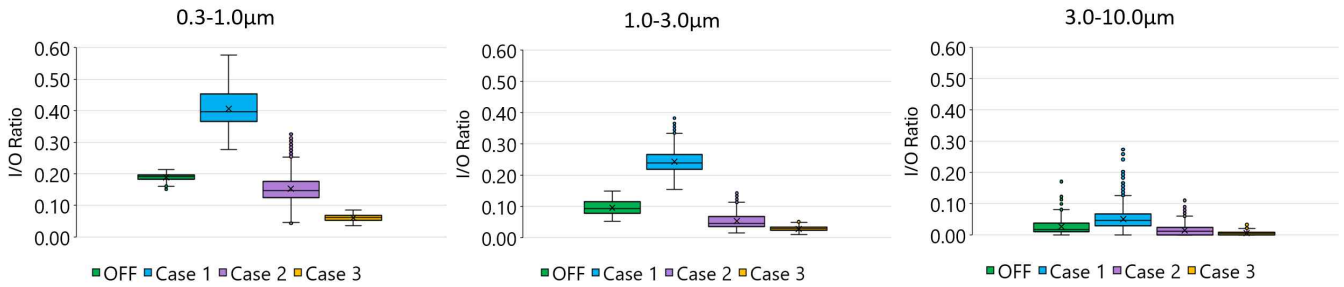


그림 1. 입경 구간 별 I/O ratio

$$I/O \text{ Ratio} = \frac{C_{in}}{C_{out}} \quad (1)$$

이때  $C_{in}$ 와,  $C_{out}$ 은 각각 실내·외 미세먼지의 농도( $\#/cm^3$ )를 의미한다.

### 3.2 Infiltration Factor

Infiltration Factor는 실외에서 실내로 침투하는 미세먼지와 실내에서 재부유되어 남아있는 미세먼지의 비율을 의미한다. Equation 1에서 실내 미세먼지 발생량이 없고, 농도가 평형상태에 도달하였다고 가정하면 Infiltration factor (Equation 2)를 도출할 수 있다(Chen & Zhao, 2011)

$$\frac{C_{in}}{C_{out}} = \frac{ap}{a+k} \quad (2)$$

이때  $a$ 는 공기교환율(1/h),  $p$ 는 침투계수(Penetration Factor, Dimensionless),  $k$ 는 침착률(Deposition rate, 1/h)이다.

따라서 Infiltration Factor는 Equation 1로 계산할 수 있다.

## 4. 측정결과

### 4.1 필터 성능 별 I/O Ratio

Case 1, 2, 3 필터를 설치하여 가동한 조건과 환기를 하지 않은 조건(OFF)일 때의 I/O Ratio를 비교하였다(그림 1). 모든 입경 구간에서 Case 2, 3 필터가 OFF 조건보다 I/O ratio 값이 낮은 것을 확인할 수 있다. 하지만 Case 1 필터는 열회수형 환기장치를 가동하지 않은 OFF 조건보다 I/O ratio가 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 열회수형 환기장치를 운영 시 필터의 성능이 일정 수준 이상이 되어야 환기에 의한 실내 미세먼지 저감이 가능하다.

## 5. 결론

본 연구에서는 시중에서 유통되고 있는 필터가 설치된 열회수형 환기장치의 입경 별 I/O ratio와 여과 효율에 따른 환기량의 차이를 비교하였고 결과는 다음과 같다.

첫째, 높은 여과 효율의 필터(Case 2, 3)는 환기 설비 미가동 조건보다 I/O ratio 값이 낮았다. 하지만 낮은 여과 효율의 필터(Case 1)를 사용하였을 때에는 환기 설비 미가동 조건보다 I/O ratio 값이 큰 것을 알 수 있다. 이는 실내환경을 유지하기 위해서 일정 수준 이상 필터의 여과 효율이 필요하다는 것을 의미한다.

둘째, 큰 입경(3.0~10.0 $\mu m$ ) 구간에서는 모든 필터의 I/O ratio 값이 작지만, 작은 입경(0.3~1.0 $\mu m$ )에서는 전반적으로 I/O ratio 값이 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 작은 입경 구간의 여과 효율이 명시된 효율보다 낮은 효율을 나타냈다고 해석할 수 있다. 조예림&성민기(2021)는 열회수형 환기장치의 필터프레임과 열교환소자에서의 누설이 여과 효율에 유의미한 영향을 미쳤다는 결과를 도출하였다. 본 실험에서는 환기장치에 누설이 의심되는 부분에 추가적인 기밀을 실시하지 않았다. 따라서 입경 구간 별 I/O ratio의 차이는 필터프레임과 열교환소자의 누설이 원인이라고 예상할 수 있다.

필터 여과 성능 저하의 원인을 열교환소자와 필터 프레임의 누설로 추정하였으나 정확한 원인은 밝히지 못하였다. 향후 후속 연구를 통해 챔버 측정과 현장 측정의 결과를 비교해보려고한다.

## 참고문헌

1. 명준표, 2016, 미세먼지와 건강 장애, 대한내과학회지, Vol.91, Issue 2, p.106-113
2. Chen. C & B. Zhao, Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor, 2011, Atmospheric environment, 45(2), p.275-288
3. 조예림 & 성민기, 필터가 장착된 열회수형 환기장치의 미세먼지 제거 성능 실험, 2021, 대한건축학회논문집, Vol. 37, Issue 10, p.149-157