



현장 실험을 통한 주거용 열회수 환기장치의 실제 초미세먼지 제거 효과 분석

Experimental Study of Real Ultrafine Particle Removals with a Residential Heat Recovery Ventilator

조경주* · 조동우*

Kyungjoo Cho* · Dongwoo Cho**

* Main & Corresponding author, Research Specialist, Dept. of Building Energy Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology & Department of Architecture and Architectural Engineering, Yonsei Univ., Seoul, Korea (kyungjoocho@kict.re.kr)

** Coauthor, Senior Research Fellow, Dept. of Building Energy Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Seoul, Korea (dwcho@kict.re.kr)

ABSTRACT

Purpose: The number of apartment houses equipped with heat recovery ventilators has increased. With the heat recovery ventilators in their houses, many residents are trying to change their filters into high-performance filters in order to improve indoor air qualities of their houses. If the residents already know the heat recovery ventilators' performance of removing ultra-fine particles, it will be possible to enjoy indoor air quality that meets the standard without operating air purifiers. **Method:** A room of a 85m² type apartment unit was selected for the field experiments. Considering that the domestic PM2.5 concentration 'very bad' standard is 76µg/m³ or higher, it was assumed that the indoor ultrafine dust concentration was higher than 76µg/m³ for the experiment. For this purpose, on a day when the external PM2.5 concentration was 100µg/m³ or higher, external air was brought into the room to raise the indoor PM2.5 concentration to 90µg/m³ or higher, and then experiments with various air change per hours(ACHs) were conducted using a heat recovery ventilator. **Result:** With a case of air flow rate 0.5ACH, the indoor PM2.5 concentration was about 40µg/m³ in a steady state condition, when the average PM2.5 concentration in the outside air was 159µg/m³. In fact, it was difficult to reduce it to the legal concentration value of 35µg/m³ in the experiment condition. The indoor PM2.5 concentration 2 hours after the start of the experiment was 48µg/m³ for the 0.5ACH condition, about 26µg/m³ for 1.0ACH condition, about 22µg/m³ for 1.5ACH condition, and the legal concentration is 35µg/m³ or less under all conditions except 0.5ACH. recorded.

KEYWORD

열회수환기장치
초미세먼지

Heat Recovery Ventilator
PM2.5

ACCEPTANCE INFO

Received Jul. 12, 2021
Final revision received Aug. 6, 2021
Accepted Aug. 10, 2021

© 2021. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

최근 초미세먼지로 인한 대기환경의 악화로 실내 공기질에 대한 우려 역시 커지고 있다. 일반적으로 그 입경이 2.5µm 미만인 먼지를 Particulate Matter 2.5(이하 PM-2.5) 혹은 초미세먼지라고 하는데 이 초미세먼지는 그 입자의 크기가 매우 작아 호흡기 건강에 위협적인 것으로 알려져 있다[1].

실내 초미세먼지 농도가 높아질 수 있는 요인은 두 가지인데 외부 초미세먼지의 실내 유입과 거주자의 활동으로 인한 초미세먼지 발생으로 구분될 수 있다. 초미세먼지를 발생시킬 수 있는 거주자의 활동은 흡연, 초 태우기, 요리 등과 같이 연소 행위가 포함되는 화학반응이 대부분이다[2]. 하지만 흡연, 초 태우기 등이 거주 공간에서 빈번하게 발생하는 행위가 아닌 것으로 가정하면 요리 상황과 외부에서의 초미세먼지 유입이 실내 초미세먼지 농도를 높아지게 하는 주요인이라고 할 수 있겠다.

2006년 건축물의 설비기준에 관한 규칙이 개정되며 100세대 이

상 공동주택에 환기 설비 설치가 의무화되었다[3]. 환기 설비를 설치한 국내 공동주택을 조사한 한 연구에 따르면 조사 대상 주택의 약 69%에 열회수 환기장치가 설치되어 있었다[4]. 초미세먼지 문제로 인한 대기오염이 일반인에게도 익숙한 이슈가 되자 기설치된 열회수 환기장치의 급기 필터를 고성능 필터로 교체하여 공기청정기 효과를 보려는 거주자도 늘고 있는 상황이다[5]. 하지만 주택에 설치된 열회수 환기장치들은 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙에서 규정하는 최소 성능을 크게 상회하지 않는 선에서 제작이 되는 편이다[6].

주거용 기계환기장치의 최소 환기 기준인 0.5회/h는 공기청정기의 풍량에 미치지 못하고, 이를 기준으로 크거나 작게 3단 풍량 제어를 제공하도록 제작된 여러 제품들 역시 공기청정기 수준의 풍량을 제공하지는 못한다[7]. 단, 공기청정기만으로는 실내의 공기의 교환이 불가능하고, 실내외 공기 교환으로만 그 농도를 낮출 수 있는 CO₂와 같은 오염물질의 제거를 위해서는 별도의 환기 장치가 필요하다.

건축 허가를 위해 설계 반영되고 준공시 설치되는 이 열회수 환기장치는 거주자들이 해당 주택에 입주 시 이미 설치가 되어있는 경우가 많다. 고성능 필터를 설치한 열회수 환기장치가 어느 정도의 초미세먼지 제거 효과를 가지고 있는지 알 수 있다면 별도의 공

기청정기 가동 없이도 기준에 적합한 실내 공기질을 누릴 수 있는 날이 많아질 것이다. 이를 위해 실험을 통한 성능 평가가 필요하지만 실제 현장 실험을 통해 그 성능을 확인한 연구는 찾아보기 어려웠다.

유사한 실험 연구로는 공동주택형 실험실에서 연기발생기와 입자발생기 등을 이용해 열회수 환기장치의 미세먼지 제거성능을 확인한 경우[7,8]가 있었다. 하지만 본 연구에는 최대 풍량에 대한 결과만 명시되어 있었고 그 시험 입자가 실제 초미세먼지와는 차이가 있다는 한계가 있었다. 실제 미세먼지 대신 향초를 이용하거나[9] 모기향을 이용한[10] 연구도 있었는데 이 역시 연기발생기를 이용한 것과 유사한 한계를 가지고 있다. 이 연구[9,10]들의 또 하나의 한계는 외부 미세먼지 농도가 실내 미세먼지 농도에 영향을 줄 수 있음에도[11, 12] 외부 초미세먼지 농도가 동시에 측정되지 않았다는 것이다.

이에 열회수 환기장치의 초미세먼지 제거 성능을 분석하기 위해 실제 외부 초미세먼지 농도가 매우 나쁜 수준인 날 공동주택 세대의 현장실험을 실시하였다.

2. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 주거용 열회수 환기시스템을 이용하여 실내 초미세먼지의 농도를 기준 농도로 유지하기 위한 적정 환기횟수 및 오염물질 제거시간 분석을 위해 현장 실험을 수행하였다.

서론에서 언급한 바와 같이 거주 공간에서의 일반적인 초미세먼지 발생 행위는 요리, 외부에서의 초미세먼지 유입 정도로 분류될 수 있다. 단, 요리 행위로 인한 초미세먼지의 제거는 후드나 보조 급기 등을 이용할 필요가 있어[13] 본 연구의 범위에서 제외하였다.

본 연구는 아래와 같은 사항을 고려하였다.

1. 실내 초미세먼지 농도는 실외 초미세먼지 농도와 대상 공간의 특성에 따라 달라질 수 있다[14]. 이에 본 실험 대상 공간의 실외 미세먼지 실내 영향도 확인을 위한 실험을 수행하였다.

2. 국내 PM-2.5 농도 ‘매우 나쁨’ 기준이 $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 것을 고려하여[15] 실내가 $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상이 되었을 때를 실험을 위한 실내 초미세먼지 농도로 가정하였다. 이를 위해 외부 PM-2.5 농도가 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 날 외부 공기를 실내로 들여 실내 PM-2.5 농도를 $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상까지 높인 후 열회수 환기장치를 이용하여 실험을 실시하였다.

3. 실내공기질 관리법 시행규칙[16]에서 요구하는 실내 PM-2.5 농도 유지 기준은 도서관, 박물관, 학원 등 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 어린이집, 노인요양시설 등은 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하이다. 둘 중 더 낮은 조건이 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 임을 감안하여 $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 부터 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 감소하는데 걸린 시간을 환기횟수별로 분석하였다.

4. 공동주택에 설치하는 기계환기 장치는 관련 법[3]에 따라 시간당 0.5회(이하 ACH(Air Change per Hour))의 환기를 만족해야하며 3단계 혹은 그 이상으로 환기할 수 있어야한다. 이에 0.5ACH를 최소치로 설정하였고, 1.0ACH, 1.5ACH에 2.0ACH를 추가하여 4

가지 케이스의 실험을 실시하였다.

5. 열회수 환기장치에 설치하는 고성능 필터는 공인시험기관에서 KS B 6141의 계수법으로 시험되어 H13등급에 준하는 성능을 인증 받은 헤파급 필터를 적용하였다.

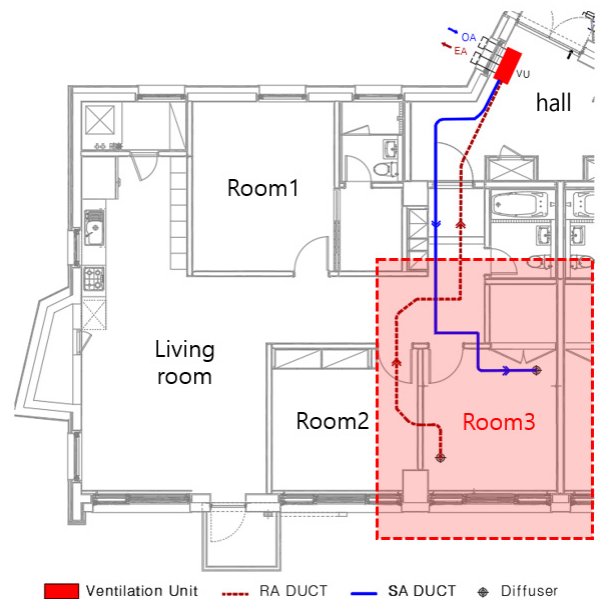
3. 실험장비 및 실험순서

3.1. 실험 대상 공간과 측정 장비

실험 공간은 열회수 환기장치가 홀에 설치된 84m^2 타입 공동주택 세대의 주출입구 측에 배치된 침실이다.

Fig. 1(a)는 실험 세대 및 실험 대상실인 Room3에 대한 도면이다. Room3은 홀 쪽에 설치된 열회수 환기장치에서 가장 가까운 위치이며 덕트를 통해 공기가 이동할 때 발생할 수 있는 누기 등과 같은 변수를 제일 적게 가지는 환경이다.

Fig. 1(b)는 급기 디퓨저 및 디퓨저 연결 덕트에 설치된 풍량측정기(Airtron, 태흥엔엔시) 사진이다. 이 풍량 측정기는 실험 대상실 급기 덕트 말단부에 설치되어 있으며 self-averaging pitot tube에



(a) The apartment unit plan for experiments



(b) Supply diffuser and flow metering equipment

Fig. 1. The room for experiments

의해 풍량값을 측정·계산한다. 메이커가 제공하는 오차범위는 $\pm 0.5\%$ of F.S이다.

Fig. 2(b).는 실험 대상실에 설치된 모터 디퓨저로 완전 열림과 닫힘이 가능하여 본 실험시 Room3를 제외한 모든 실의 디퓨저를 닫은 상태에서 실험을 진행하였다. 또한, 각 실로 제공되는 풍량은 Fig. 2(a).의 모니터로 실시간 확인하였다.

고성능 필터를 설치한 경우 그 유효환기량이 달라질 수 있기 때문에 현장에 설치될 열회수 환기장치에 실험에 사용될 3cm 두께 H13 등급 헤파 필터(Fig. 3.)를 설치한 상태로 KS B 6879 시험을 실시하였다. 그 결과 유효 환기량 98%(누기량 2%)의 성능을 확인하였고 동시에 KS 인증을 득하였다.

실험에서 적용된 모드는 냉난방기에 실내외 공기의 열교환을 통해 공조에너지 절감이 가능한 열교환 환기모드이다.

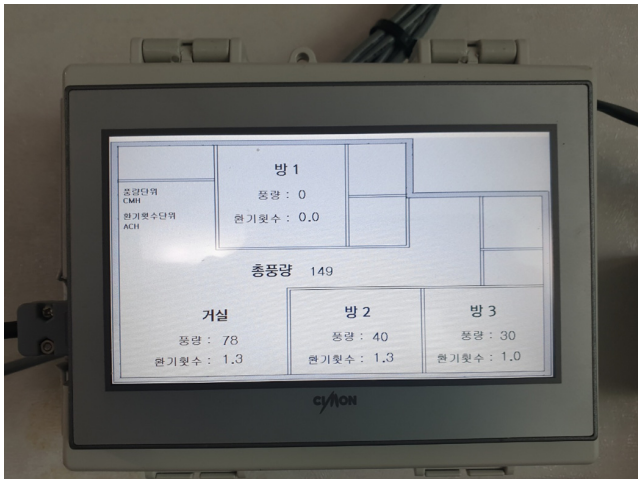
Fig. 4.에서 볼 수 있듯이 외부의 오염된 공기(OA)는 열교환기와 필터를 거쳐 정화된 후 실내로 유입되고(SA) 실내의 오염된 공기(RA)는 외부로 배출되는(EA) 모드이다. 이 과정을 통해 필

터로 걸러질 수 없는 CO₂와 같은 오염물질의 농도를 동시에 낮출 수 있다.

실험 대상실로의 급배기량은 컴퓨터에 설치된 별도의 프로그램을 통해 열회수 환기장치의 급배기 팬 회전수를 변경하여 조절하였다. 팬 회전수를 조절 후, 모니터링 시스템(Fig. 2(a).)을 통해 Room3으로 급기되는 풍량 및 환기횟수가 시험 조건과 맞는지 확인하였으며 풍량이 작은 주거용 열회수 환기장치의 특성상 급배기팬회전수가 동일한 경우에도 공기온도, 습도, 실내외 차압 등 여러 요인으로 풍량 측정치가 달라지는 경향이 있었다. 이에 $\pm 10\%$ 범위의 풍량이 측정될 경우 시험 조건에 맞는 것으로 간주하고 실험을 실시하였다. 또한, 시험 조건 중 풍량이 제일 작아 측정값의 변동이 큰 0.5ACH 실험 케이스는 0.4ACH~0.6ACH에 도달한 경우 실험 조건에 맞는 것으로 간주하였다.

Fig. 5.는 실험을 위한 Room3와 그 측정값 비교를 위한 Room2 의 실험 전경이다. Room3는 창문을 닫은 상태에서 환기장치를 가동하여 실내 초미세먼지 농도 변화를 측정하였고, 실험이 진행되는 동안 Room2에서는 창문을 열고 외부 PM-2.5 농도를 측정하였다.

PM-2.5 농도 측정 장비로는 TSI DustTrak 8532(이하 TSI 8532)가 사용되었다. TSI 8532는 90° 광산란 방식의 센서를 내장한 미세먼지 측정기로 0.1 μ m부터 10 μ m 직경의 미세먼지를 측정할 수 있다. 메이커가 제공하는 정확도는 $\pm 0.1\%$ of reading이며 실험을 위해 이를 인체의 호흡선인 1.5m 높이 실증양에 설치하였다.



(a) Air flow rate monitoring system



(b) A motor diffuser for experiments[10]

Fig. 2. Motor diffuser and air flow rate monitoring system

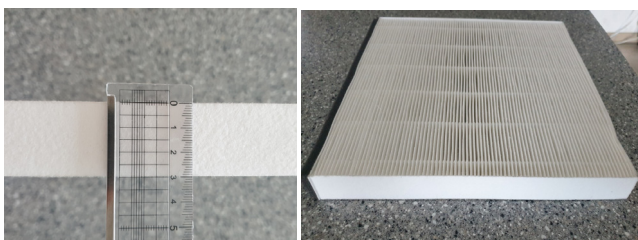


Fig. 3. The HEPA filter for experiments

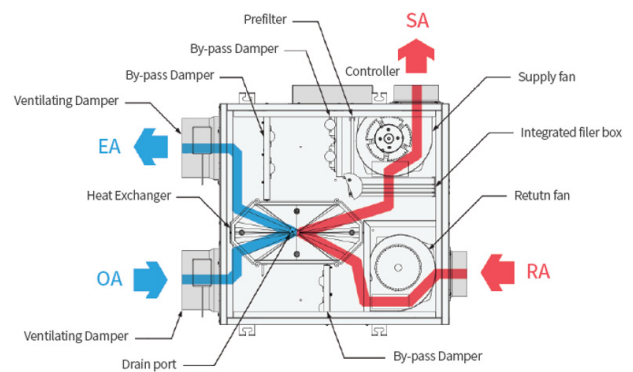


Fig. 4. Heat recovery ventilation mode



(a) Room3

(b) Room2

Fig. 5. Experimental views

3.2. 실험순서

본 연구의 실험 순서는 아래와 같다.

1. 실험 대상 공간의 실외 PM-2.5 실내 영향도 분석을 위해 2월~3월, 12시간 이상 거주자가 없는 정상 상태에서의 실내외 PM-2.5 농도를 측정하였다.

2. 실험 시작 전 측정에 사용될 두 대의 TSI 8532를 실험 공간에 두고 측정값 차이를 확인하였다(Fig. 6.). 측정값 차이를 확인하기 위해 염화칼륨 입자발생기를 이용해 실내 PM-2.5 농도를 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 높인 후 두 장비의 데이터를 비교하였다. 그 결과 PM-2.5 농도에 따라 측정값은 3~8% 정도의 차이를 보였다. 외부 PM-2.5 농도를 측정하는 기기 쪽의 측정값이 더 높은 편이었고 PM-2.5 농도가 낮을수록 차이가 큰 편이었다.

3. 2월~3월 중 실외 PM-2.5 농도가 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 날 실내에 외부 공기를 유입하여 실내 PM-2.5 농도를 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상이 되게 하였다. 그 후, 서큘레이터를 1분 동안 가동하여 초미세먼지 입자가 실에 고르게 분포되도록 한 후 실험을 실시하였다.



Fig. 6. Comparing of measurement differences between 2 TSI 8532

Table 1. PM-2.5 levels and I/O ratios at steady state conditions

Date	Inside PM-2.5 level (Room 3) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Outside PM-2.5 level ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	I/O ratio of R3
02.09	15	39	0.385
02.22	35	84	0.417
02.26	25	70	0.357
03.03	17	58	0.293
03.04	30	86	0.349
average	24.4	67.4	0.360

4. HEPA필터가 설치된 열회수 환기장치를 환기횟수별로 2시간 동안 가동하며 실내외 초미세먼지 농도를 비교 분석하였다.

4. 실험진행

4.1. 정상상태의 실내외 PM-2.5 농도비

먼저 실험 대상 공간이 정상 상태일 때 실내외 PM-2.5 농도를 확인하기 위해 2~3월 중 외부 PM-2.5 농도가 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 시기를 대상으로 실내외 PM-2.5 농도비(이하 PM-2.5 I/O ratio)를 분석하였다.

사람이 12시간 이상 재실하지 않아 다른 외란이 존재하지 않는 오전 9시에 실험실을 방문하여 실내 PM-2.5와 외부 PM-2.5 농도를 측정하였다. Table 1.은 그 측정 결과와 PM-2.5 I/O ratio를 계산한 것이다. 측정된 데이터의 외부 PM-2.5 농도 평균은 67.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 내부 PM-2.5 농도 24.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM-2.5 I/O ratio 평균은 0.360였다.

오전 9시 외부 PM-2.5 농도가 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~ 86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었던 날의 PM-2.5 I/O ratio는 0.293~0.417로 분석되었고, 외부 초미세먼지 농도가 76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상이었던 날은 이들로 이 날의 I/O ratio는 0.417과 0.349로 계산되었다.

4.2. 환기횟수별 PM-2.5 제거 실험

위와 같은 조건을 가진 실험 공간에서 열회수 환기장치를 이용한 PM-2.5 제거 실험을 실시하였다.

외부의 PM-2.5 농도가 매우 나쁨 (76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상) 수준인 날 실내 PM-2.5 농도가 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상이 될 때까지 외부 공기를 실험 대상실로 유입한 후 환기 장치를 가동하고 실내 PM-2.5 농도가 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 도달하거나 2시간이 경과되면 실험을 종료하였다.

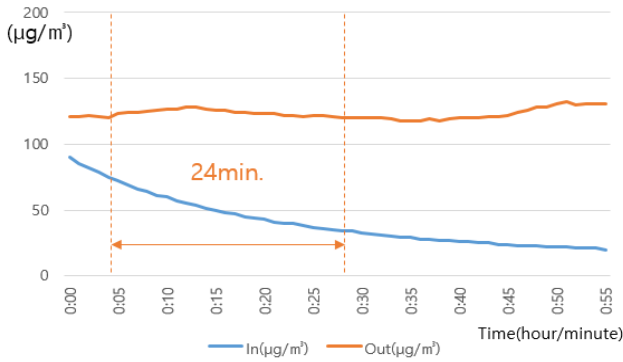
PM-2.5 농도 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 은 환경부에서 제시하는 PM-2.5 대기오염 농도 4단계 등급 중 '보통' 수준 16~35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 중간값이다.

실험 기간 동안의 외부 PM-2.5 농도 평균은 Table 2.와 같다. 2.0ACH 실험을 실시한 시간 동안의 외부 PM-2.5 농도 평균이 제일 낮았고, 1.0ACH 실험을 수행한 시간 동안의 외부 PM-2.5 농도 평균이 제일 높았다.

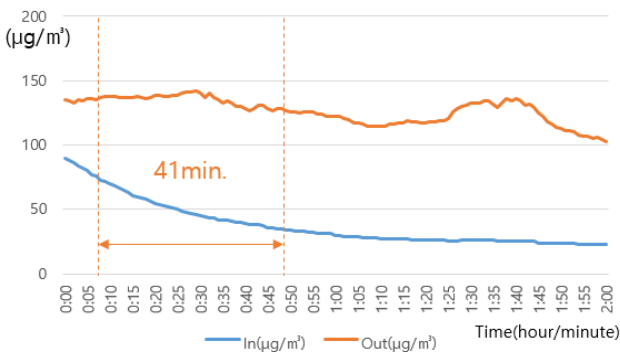
Table 1.의 외부 PM-2.5 농도가 76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 날의 PM-2.5 I/O ratio 평균값인 0.38을 적용하면 환기없는 정상 상태에서 본 실험 대상실의 PM-2.5 농도는 60, 68, 48, 47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도에 수렴할 것으로 예상된다.

Table 2. Outside PM-2.5 levels during experiments

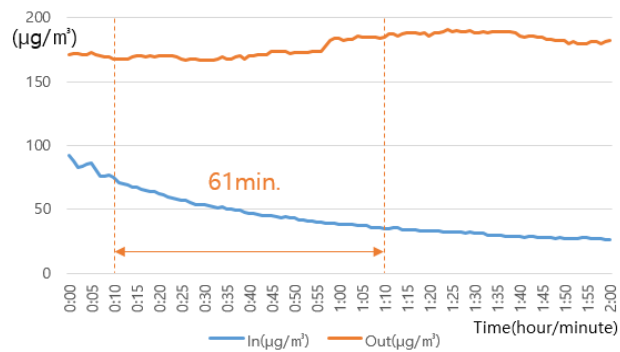
Case	0.5ACH	1.0ACH	1.5ACH	2.0ACH
Time for experiments	2hours	2hours	2hours	55minutes
Average PM2.5 levels	159 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	178 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	127 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	123 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



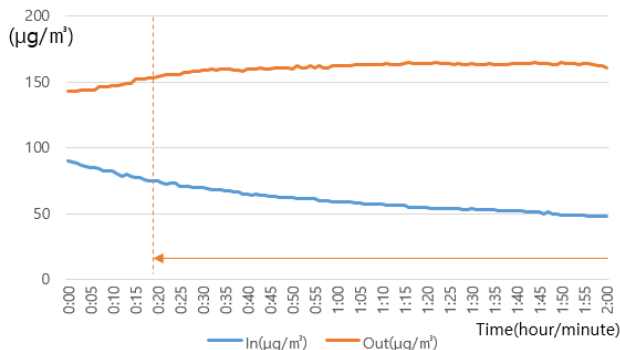
(a) PM-2.5 concentration at 2.0ACH



(b) PM-2.5 concentration at 1.5ACH



(c) PM-2.5 concentration at 1.0ACH



(d) PM-2.5 concentration at 0.5ACH

*In : Indoor PM-2.5 Concentration / Out : Outdoor PM-2.5 Concentration

Fig. 7. PM-2.5 concentration changes at different ACHs for 2 hours

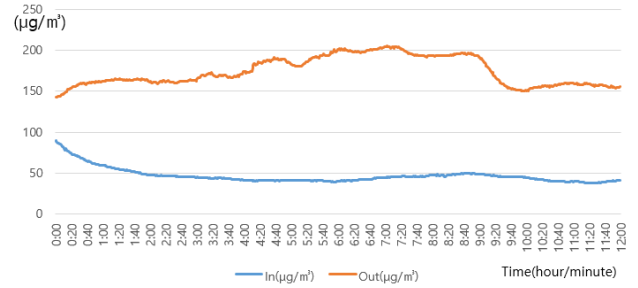


Fig. 8. PM2.5 concentration changes at 0.5 ACH for 12 hours

Fig. 7.은 PM-2.5 농도 $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 부터 2시간 동안의 감소 경향을 환기횟수별로 정리한 그래프이다.

Fig. 5.에서 볼 수 있듯이 Room2에서는 창문을 열어놓은 상태로 실험 기간 동안 외부의 PM-2.5 농도를 측정하였고, Room3에서는 창과 문을 모두 닫은 상태로 실험 조건별 실내 PM-2.5 농도를 측정하였다.

Fig. 7.에서 볼 수 있듯이 실내 PM-2.5 농도를 $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 부터 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 떨어뜨리기 위해 환기횟수 1.0ACH 조건 약 61분, 1.5ACH 조건 약 41분, 2.0 ACH 조건 약 24분이 소요되었다. 단, 0.5ACH의 경우 실험 조건에서는 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 도달하지 못했다.

실험 종료 시점인 2시간째의 실내 PM-2.5 농도는 0.5ACH 조건 $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1.0ACH 조건 약 $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1.5ACH 조건 약 $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

2.0ACH의 경우 농도 $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 실험을 시작하여 55분 경과 후 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 도달하여 실험을 종료하였다.

실험 시작 후, 1.5ACH의 경우 1시간 25분째 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 도달하였고, 2.0ACH는 42분째 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 도달하였다.

Fig. 8은 0.5ACH 실험조건을 12시간 동안 유지했을 때의 실내외 PM-2.5 농도 그래프이다. 정상상태에 도달한 것으로 보이는 3시간 이후의 내부 PM-2.5는 외부 PM-2.5 농도에 따라 약간의 변화를 보이는 경향이 있었다. 단, 본 실험 조건에서 초미세먼지 농도는 $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만으로 낮아지지 못했다.

내부 초미세먼지 농도가 $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 때 외부 초미세먼지 농도는 $158 \sim 160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

5. 결론

본 연구에서는 84m^2 공동주택 세대의 침실을 대상으로 열회수 환기장치를 통한 PM-2.5 저감 성능에 대해 실험 분석 해보았다.

본 실험의 진행과 실험 분석 결과를 요약하면 아래와 같다.

첫째, 내부 PM-2.5 농도는 외부 PM-2.5 농도의 영향을 받는다는 연구결과가 존재한다. 이에 본 실험 대상 공간의 실외 초미세먼지 실내 영향도 확인을 위한 정상 상태 PM-2.5 농도 측정을 2~3월에 수행하여 PM-2.5 I/O ratio를 산출하였다.

둘째, 실제 PM-2.5 농도가 매우 나쁨 수준인 날, HEPA 필터를 통해 여과된 공기를 실내로 유입하는 모드를 통해 실내의 공기를 교체함과 동시에 환기횟수별로 PM-2.5가 줄어드는 경향을 확인하였

다. 그 결과 0.5ACH 실험에서는 외기 평균 PM-2.5 농도 159 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 때, 실내 PM-2.5 농도 약 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도에서 정상 상태가 되었으며 12시간 후까지 법정 유지 농도인 38~40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도를 유지하였다.

셋째, 실험 시작 후 2시간 쯤의 실내 PM-2.5 농도는 0.5ACH 조건 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1.0ACH 조건 약 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1.5ACH 조건 약 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 0.5ACH를 제외한 모든 조건에서 법정 유지 농도 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 기록했다.

위의 실험 결과, 외부 PM-2.5의 농도가 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 내외로 높은 날 0.5ACH의 법정 환기는 실내 PM-2.5 농도를 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도로 유지할 수 있게 해주었다. 이는 실내공기질 관리법 시행규칙[16]에서 도서관, 박물관, 학원 등에서 요구하는 유지기준인 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다는 낮고, 의료기관, 노인요양시설, 어린이집 등에 요구하는 유지기준인 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다는 살짝 높은 수준이다.

국립환경과학원의 조사 결과에 따르면 2015년~2019년 서울 PM-2.5 '매우 나쁨' 일 수는 0~9일이었으며 이 '매우 나쁨' 일수가 가장 많았던 해는 2019년이였다[17]. 2019년, 서울 종로에서 측정 한 외부 PM-2.5 농도 24시간 평균 데이터 중 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘는 날은 4일이였다[18]. 즉, 1년 중 대부분의 날에는 해파필터가 설치된 환기 장치를 0.5ACH의 풍량으로 가동하기만 해도 실내 PM-2.5 농도를 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 유지할 수 있을 것으로 분석된다.

Acknowledgement

This research was supported by a grant from Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government (The project code : 21CTAP-C163641-01)

Reference

[1] 최종일, 이영수, 초미세먼지(PM2.5) 배출량이 호흡기계 질환에 미치는 영향 연구, 한국: 환경정책, 제23권 제4호, 2015.12, pp.155-172. // (J.I. Choe, Y.S. Lee, A Study on the Impact of PM2.5 Emissions on Respiratory Diseases, Korea: Korea Environmental Policy and Administration Society, 23(4), 2015.12, pp.155-172.)

[2] C.M. Long, H. Suh, P. Koutrakis, Characterization of Indoor Particle Sources Using Continuous Mass and Size Monitors, Journal of the Air & Waste Management Association, 50(7), 2000, pp.1236-1250.)

[3] 국토교통부, 건축물의 설비기준에 관한 규칙, 국토교통부 고시 제2017 467호. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Rules on the Building Equipment Standards, Korean MOLIT, 2017(467).)

[4] 국토교통부, 환기설비 설치 및 유지관리 기준 마련을 위한 연구, 보고서, 2016.12. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, A Study for the Establishment of Ventilation System Installation and Maintenance Standards, Research report, 2016.12.)

[5] 냉난방공조 신재생 녹색건축 전문저널 칸, 미세먼지 드러운 아파트...건 설사 대응 솔루션 '주목', <https://www.kham.kr> 2019.06.09. // (Korean Heating Air-conditioning Refrigeration & renewable energy News Kham, Apartment Housing with Finedust... How Can the Building Construction Companies Solve This Problem?, <https://www.kham.kr>, 2019.06.09.)

[6] 김민주, 박종일, 이정훈, 공동주택 열회수환기장치의 미세먼지 필터링 성능 개선을 위한 프리필터 시스템 개발, 한국생활환경학회지, 제26권 제5호, 2019.10, pp.641-648. // (M.J. Kim, J.I. Park, J.H. Lee, Development of "Pre-filter System" for Improving Particulate Matter Filtering Performance of Multi-unit Heat Recovery Ventilation System, Journal of Korean Society of Living Environment, 26(5), 2019.10, pp.641-648.)

[7] 배상환, 정민호, 공기청정기능을 가지는 공동주택 환기시스템, 건축환경설비, 제11권 제1호, 2017, pp.23-30. // (S.H. Bae, M.H. Jung, Residential Ventilation System with Air Purifying Function, Korea: Built Environment Facility, 11(1), 2017, pp.23-30.)

[8] 송근호, 정민호, 공기청정기능이 적용된 공동주택 환기시스템, 설비저널, 제46권 제4호, 2017, pp.32-40. // (G.H. Song, M.H. Jung, Residential Ventilation System with Air Purifying Function, Korea: Magazine of the SAREK, 46(4), 2017, pp.32-40.)

[9] 송용우, 공동주택 전열교환기 필터 종류 및 두께에 따른 미세먼지 제거율 평가, LHI Journal, 제11권 제4호, 2020, pp.93-98. // (Y.W. Song, Evaluation of Particulate Matter Removal Rate according to Filter Type and Thickness of Total Heat Exchanger in Apartment houses, Korea: LHI Journal, 11(4), 2020, pp.93-98.)

[10] 조경주, 조동우, 김태연, 열회수 환기장치의 필터성능에 따른 팬동력 변화 및 초미세먼지 제거효과 실험 연구 - 열회수 환기장치의 내기순환모드를 중심으로, KIEAE Journal, 제20권 제4호, pp.77-82. // (K.J. Cho, D.W. Cho, T.Y. Kim, Experimental Study on the Fan Power Changes and Ultra-fine Dust Removals Depending on Different Filters of Heat Recovery Ventilation Systems - Focused on the Circulation Mode of Heat Recovery Ventilation System, KIEAE Journal, 20(4), 2020, pp.77-82.)

[11] 강동화, 최동희, 주거건물의 실내외 미세먼지 측정에 의한 실외 미세먼지의 실내 영향도 평가 기초연구, 한국건축친환경설비학회 논문집, 제9권 제6호, 2015.12, pp.462-469. // (D.H. Kang, D.H. Choi, A Preliminary Study to Evaluate the Impact of Outdoor Dust on Indoor Air by Measuring Indoor/Outdoor Particle Concentration in a Residential Housing Unit, Journal of KIAEB, 9(6), 2015.12, pp.462-469.)

[12] 백지민 외 5인, 겨울철 침기에 따른 실내외 미세먼지 농도 관계에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제31권 제9호, 2015.9, pp.137-144. // (J.M. Back et.al., A Study on the Relationship Between the Indoor and Outdoor Particulate Matter Concentration by Infiltration in the Winter, Journal of AIK, 31(9), 2015.9, pp.137-144.)

[13] 김형근 외 3인, 미세먼지 확산방지를 위한 레인지후드와 환기장치 연계 성능 평가, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제37권 제2호, 2017.10, pp.558-559. // (H. K. Kim et al., Evaluation of Ventilation Performance Integrated with Range Hood Based on the Dispersion of Particulate Matter, Autumn Conference Journal of the Architectural institute of Korea, 37(2), 2017.10, pp.558-559.)

[14] C.M. Long, H. Suh, P. Koutrakis, Using Time and Size Resolved Particulate Data to Quantify Indoor Penetration and Deposition Behavior, U.S.A: Journal of Environmental Science & Technology, 35(10), 2001, pp.2089-2099.

[15] 환경부, 대기오염 예측 발표의 대상지역 및 기준과 내용 등에 관한 고시, 환경부고시 제2018 46호. // (Ministry of Environment, Announcement on Target Areas, Standards and Contents, etc. of Air Pollution Forecast Announcement, Ministry of Environment, 2018(46).)

[16] 환경부, 실내공기질 관리법 시행규칙, 환경부령 제918호. // (Ministry of Environment, Enforcement Rules of the Indoor Air Quality Management Act, Ministry of Environment Ordinance, 918.)

[17] 국립환경과학원, 대기환경연보 2019, 2020. // (National Academy of Environmental Sciences, Air Environment Annual Report 2019, 2020.)

[18] Airkorea, 최종 측정자료, <https://www.airkorea.or.kr/web/pastSearch>, 2021.06.25. // (AirKorea, Final measurement data, <https://www.airkorea.or.kr/web/pastSearch>, 2021.06.25.)