LHI Journal (2019) 10(3):1-7 http://dx.doi.org/10.5804/LHIJ.2019.10.3.001
http://lhi.lh.or.kr

실내 미세먼지 저감을 위한 창호형 환기시스템 성능평가

Performance Evaluation of Window Ventilation System for Reducing Indoor particulate matter

양영권1 · 박진철2

Young Kwon Yang · Jin Chul Park

(Received September 6, 2019 / Revised September 27, 2019 / Accepted October 11, 2019)

ABSTRACT

Indoor particulate matter(PM) is a carcinogen and needs to be removed and managed. It is generally reduced and removed through ventilation and filtration. Owing to the recent occurrence of high-concentration fine dust and yellow dust in the atmosphere, however, it is difficult to expect the purification of indoor air through the simple introduction of the outside air. For residential buildings, in particular, they are highly dependent on natural ventilation but the lack of natural ventilation is worsening because concerns over the inflow of external pollutants are increasing. Therefore, this study designed and manufactured a window ventilation system that does not require a duct to improve the maintenance and management problems of general ventilation system, and constructed indoor PM concentration change data through performance evaluation.

Key words: Window type ventilation system(창호형 환기시스템), Particulate matter(미세먼지), Performance evaluation(성능평가)

1. 연구의 배경 및 목적

최근 미세먼지의 농도가 높아지면서 이를 관리하고 저감시키기 위한 국가차원의 정책 수립 및 연구 진행 등 다양한 노력이 이루어지고 있다. 미세먼지는 입자형태로 된 물질로서 입경이 작아 쉽게 부유되는 물질을 뜻한다. 일반적으로 다루어지는 미세먼지는 입경이 10㎛ 이하이며 PM10 (PM; Particulate Matter 10)으로 표현한다. 최근에는 입자의 입경이 2㎛ 이하로 매우 작아 인체로 침투 후 폐포까지 이동하는 등 인체 영향이 더 높은 PM2.5까지 관리하고 있다.

미세먼지는 중금속 등이 함유되어 있을 경우 인체에 심각한 영향을 미칠 수 있으며, 인체 침투 후에는 혈관을 따라 체내로 이동할 수 있고, 이로 인해 천식, 호흡기질환, 심장질환, 뇌졸중, 암 등의 발생 원인이 될 수 있다. 세계보건기구(WHO)에 의하면 한 해에 미세먼지로 인해 수명이 단축 및 사망하는 인원이 약 700만 명에 이른다[3]. 따라서 WHO는 미세먼지를 1군 발암물질로 분류하며, 우리나라도 실내 미세먼지를 관리하는 제도를 도입하는 등 국가적으로 미세먼지를 관리하고 있다[4][5].

실내 미세먼지는 일반적으로 환기를 통한 제거 및 감소가 가능하며, 환기가 부족할 경우 미세먼지 뿐 아니라 기타 유해 오염물질이 실내에 축적되어 실내공기질이 전반적으로 오염된다. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) 는 실내공기의 오염 기

1) 중앙대학교 건축학부 박사후연구원(주저자 : dora84@naver.com)
2) 중앙대학교 건축학부 교수(교신저자 : jincpark@cau.ac.kr)

3) Robert D. Brook, Sanjay Rajagopala, C. Arden PopeIII, Jeffrey R. Brook, Aruni Bhatnagar, Ana V. Diez-Roux, Fernando Holguin, Yuling Hong, Russell V. Luepker, Murray A. Mittleman, Annette Peters, David Siscovick, Sidney C. SmithJr, Laurie Whitsel, Joel D. Kaufman, Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease, Circulation, Vol. 121, No. 21

4) 환경부(2016), 바로 알면 보인다. 미세먼지 도대체 뭘까? pp.5~6

5) 김지혜(2018), 실내 미세먼지 관리를 위한 Ventilation 과 Filtration 제어 알고리즘, 서울대학교 박사학위논문, p.1

여도가 '불충분한 환기'로 인한 영향이 가장 크다(52%)고 발표하였다[6].

환기란, 실내의 오염된 공기를 실외로 배출시키고 실외의 청정한 공기를 실내에 공급하여 실내공기를 희석시켜 오염농도를 경감시키는 과정인데[7], 최근에는 대기의 미세먼지 방생 및 황사 등이 발생할 경우, 창문을 열어 자연환기를 실시하는 등과 같은 단순 외기 유입을 통한 실내 공기의 정화를 기대하기 어려운 실정이다.

특히, 일반 주택의 경우 기계환기가 설치되어 있지 않은 경우가 많기 때문에 자연환기를 통한 실내 미세먼지의 저감을 기대하기 더욱 힘들다. 기계환기가 설치되어 있는 주택에서도 자연환기에 의존하는 경우가 많기 때문에 실내공기질 개선에 어려움이 있다[8]. 또한 주택은 상대적으로 덕트(duct)의 관리가 원활하지 않기 때문에 오염된 덕트로부터의 영향 우려도 있다[9].

또한 4차 산업혁명에 따른 기술개발을 통해 사물인터넷(IoT)등과 같은 신기술이 다양한 분야에 적용되고 있지만 아직까지 환기시스템에는 원활하게 다방면으로 적용이 되지 않고 있다. 이는 사물인터넷(IoT)기술을 적용하기 위해서는 소프트웨어(software)에 따라 동작 가능한 하드웨어(hardware)가 구비되어 있어야 하지만, 현재의 환기시스템은 동작 가능한 하드웨어(hardware) 기술 적용이 미미하다.

따라서, 본 연구에서는 덕트를 필요로 하지 않는 창호형 환기시스템을 개발하여, 덕트 오염의 문제를 해결할 수 있도록 하였다. 또한 IoT 기술을 적용하여 제어할 수 있도록자동 개폐기, 회전형유로, 열교환기, 팬(fan), 제어회로를 삽입하였으며, Mock-up 테스트를 통해 미세먼지 저감 성능을 확인하였다.

2. 창호형 환기시스템의 분류 및 특성

2.1. 정의

창호형 환기시스템이란, 창호와 환기시스템이 결합된 일체형 환기시스템을 뜻하며 환기 방법에 따라서 크게 두 가지로 자연 환기 방식과 기계환기 방식으로 나눌 수 있다.

세부적으로는 창호프레임에 환기구를 조절할 수 있는 '창호일체형 환기시스템', 실내의 오염물질 및 온·습도에 따라 자동으로 환기구가 개폐되는 '능동형 자연환기시스템', 내부에 열교환기를 삽입한 '소형 열교환 환기시스템'으로 나눌 수 있다[10]. 창호형 환기시스템에 적용되는 기계 환기장치는 열교환기, 필터 등이 주로 적용되며, 자연환기만으로는 안정적인 환기량 확보와 쾌적한 실내 환경 조성이 어려운 환경일 경우 기계환기방식을 병용 한다[11][12]. 창호형 환기시스템은 덕트가 없기 때문에 덕트 방식의 환기시스템에 비하여 상대적으로 덕트 오염으로 인한 실내공기의 오염의 위험이 낮고, 덕트의 공간 절약으로 인해 건물의 층고 확보에 유리하다[13].

2.2. 분류 및 특성

창호형 환기시스템은 Table 1과 같이 방식별로 '일반형 창호형 환기시스템', '하이브리드 환기창호', 'P/J타입 자동 환기창호' 와 같이 크게 3분류 분류할 수 있다.

Table 1. Window type ventilation system classification

General window type natural ventilation	· Natural ventilation window through the vent at the top or bottom of the window · Equipped ventilation filter to collect 70~99% of fine dust · The crime prevention effect because of a possibility of the ventilation without opening the window · Opening and closing windows using air cylinder air pressure
Window equipped hybrid ventilation	· Install ventilation holes at the top or bottom of the window and inserting a fan inside for mechanical ventilation · Equipped with ventilation filter to collect 70~99% of fine dust · Using the air in the double window: 4.6% energy saving effect · Ventilation performance: Ventilation rate of 31~46.2㎥/h
P / J type automatic ventilation	· Opening and closing windows using air cylinder air pressure · Automatically switches to a 45° angle when raining through a rain sensor

6) Oregon OSHA(2014), Technical Manual, Indoor air quality investigations. (2) 4
7) 차동원, 건축환경 실내공기오염, 기문당, pp.73~80
8) 강동화, 최동희(2015), 주거건물의 실내외 미세먼지 측정에 의한 실외 미세먼지의 실내 영향도 평가 기초연구, 한국건축친환경설비학회 논문집 9(6), pp.462~469
9) 황인태, 김형근, 김미연, 안태경, 박진철(2015), 공동주택 환기덕트 오염도 실태조사, 대한건축학회 논문집 - 계획계 31(8), pp.113~120
10) 강재식(2010), 국외의 창호일체형 자연환기시스템 기술 동향, 한국건설기술연구원 건설 기술 동향, pp.308~309
11) 유성준, 강주원, 양정훈(2013), CFD 해석을 이용한 소규모 인쇄 작업장의 환기방식 및 환기량에 따른 환기효율 평가에 관한 연구, 대한건축학회 논문집-계획계 01(29), pp.263~270
12) 이효은, 양영권, 강인성, 김태원, 문진우, 박진철(2017), 인공지능기반 창호형 환기시스템 연구 동향 분석, 한국생태환경건축학회 논문집 17(6), pp.159~164
13) 최광주(2018.7), 창문형 하이브리드 환기시스템, 설비저널 47(7), pp.56~61

'일반형 창호형 환기시스템'은 창호의 상하부 또는 측면에 인접하여 환기구를 설치하여 자연 환기를 실시하며 내부에 필터를 삽입하여 필터별로 70~99%까지 미세먼지 등의 오염물질을 저감시킨다. '하이브리드 환기창호' 역시 창호의 상·하부 또는 측면에 환기구를 설치하며 필터의 종류별로 미세먼지 및 오염물질이 최대 99%까지 저감 가능하다. 환기율은 31~46.2㎥/h의 범위 내에 있었으며 열회수 장치의 열교환을 통해 최대 약 70%의 에너지 절감 효과가 있다. 'P/J타입 자동 환기창호'는 공기압 실린더를 활용한 자동 개폐창호로써, 레인센서 등을 활용하여 기상에 따라 자동 개폐 및 각도 전환이 가능하다.

2.3. 창호형 환기시스템 고려사항

창호형 환기시스템은 배치 위치에 따라서 크게 가로형과 세로형으로 나눌 수 있으며, 일반적으로 자연환기설비는 가로형, 기계환기설비는 세로형 배치가 주를 이루고 있다[14]. 이는 기계환기 설비의 하중계산, 설치 및 유지·관리, 실내 공기의 열쾌적 등의 문제로 기계환기 장치는 세로형 배치가 많은 것으로 사료된다. 본 연구에서도 다음과 같은 이유로 세로형으로 설계 및 제작하였다.

(1) 창호 상·하부에 설치되는 집풍장치의 유로 연결
(2) 기존 창호시스템에 적용 가능한 환기 설비
(3) 창호형 환기시스템의 하중을 고려할 필요 없음
(4) 설치 및 교체가 용이한 구조

우리나라의 공동주택에 적용되는 자연환기설비는 시간당 0.5회의 환기량 조건을 만족하여야 하며 외기를 균일하게 공급할 수 있고 순간적인 외부 바람 및 실내외 압력차의 증가로 인하여 발생할 수 있는 과도한 바깥공기의 유입 등 바깥공기의 변동에 의한 영향을 최소화할 수 있는 구조와 형태를 갖추어야 한다.

기계환기설비의 경우도 시간당 0.5회로 환기할 수 있는 풍량을 확보하여야 하며, 정격 풍량을 3단계 또는 그 이상으로 조절할 수 있는 체계를 갖추어야 하며, 입자·가스형 오염물질을 60% 이상 제거 또는 여과하는 공기여과기 또는 집진기 등을 갖추어야 한다. 폐열회수형 환기장치를 설치하는 경우에는 환기장치의 유효환기량이 표시용량의 90퍼센트 이상이어야 하고 결로 방지를 고려하여야 한다.

따라서 본 연구에서 개발한 창호형 환기 시스템은 법적 기준에 만족하는 외기도입 및 환기량 확보를 고려하여야 한다.

3. 창호형 환기시스템 설계 및 제작

3.1. 개요

본 장에서는 창호형 환기 시스템을 개발하였다. 개발 된 창호형 환기시스템은 기계환기와 자연환기 모두 작동 가능하며, 주요 구성 요소는 회전형 유로(flow path), 필터(filter), 팬(Fan), 전동 댐퍼(damper)이다. 주요 특징은 창호의 자동개폐가 가능하며, 자연환기 효율 향상을 위한 집풍장치(windcatcher louver)를 적용하였다.

3.2. 설계 및 제작

본 연구에서 고안된 창호형 환기시스템은 적용 대상을 공동주택으로 선정하고 자연환기와 기계환기의 병용 방식이며, 이에 적절한 환기량과 적용 위치, 적용 기술 적용 방안을 고려하여 설계 및 제작하였다. 공동주택에서 창호 개폐 길이의 변화에 따른 실내 환기량의 변화는 크지 않으며, 실내공기질의 향상 측면에서는 자연환기와 기계환기를 병용하면 더욱 큰 효과를 볼 수 있다[15]. 따라서, 자연환기를 위한 창호의 규격은 일반적인 84㎡의 공동주택에 적용되는 창호 사이즈(Fig. 1)를 참고하여, Fig. 2와 같이 설계하였다.

본 창호형 환기시스템의 주요 구성요소는 Table 2와 같이 집풍장치를 포함하며 필터(filter), 열교환기, 팬(fan), 전동댐퍼(motorized damper), 자동개폐기, 회전형 유로(flow path)를 내장하고 있다.

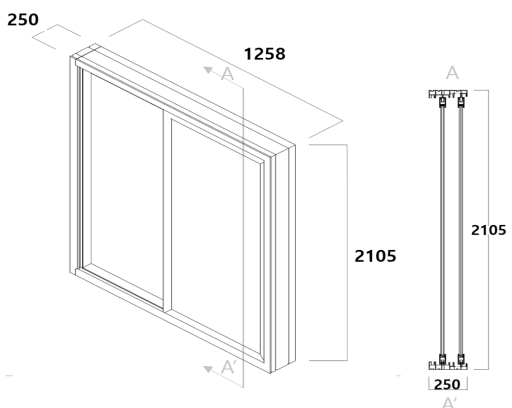
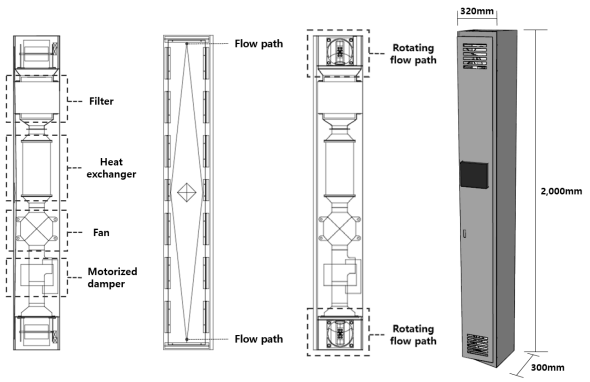


Fig. 1. Detailed specification of window

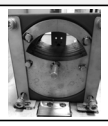
14) Wang Enbo, Wang Haidong, Deng Min(2017), Simulation of the ventilation and energy performance of a PV-integrated breathing window, 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC) 19~22
15) 권용일, 장상규, 김선정(2011), 주상복합건물의 창호개폐길이가 자연환기능력에 미치는 영향에 관한 연구, 대한설비공학회 하계학술발표대회논문집, pp.1162~1167



(a) front (b) left side (c) right side (d)specification

Fig. 2. Detailed Specification of Window Ventilation System

Table 2. Detailed Parts and Specifications of Window and Ventilation System

Part name	Performance	Photo
① Rotating flow path	Material: Reinforced plastic, SUS· Operation method: 45 °, 90 ° rotation using a motor	
② Filter	Media: Water-resistant glass fiberSeparator: Paper, ALFrame: Plywood, AL, SUS 430 Pressure loss: 25 ~ 50 mmAqDOP E = 99.97%, 0.3 μmMaximum Operating temperature: Below 60 ℃	
③ heat exchanger	Intake air volume: 13.5 ~ 28 ㎥ / hExhaust air volume: 27 ~ 56 ㎥ / hEfficiency: over 89%Application temperature range: -20 ℃ ~ 50 ℃Standard Noise: 36 ~ 42dB	
④ Fan (DJF-10)	220 VCurrent: 0.35 ~ 0.45A Power Consumption: 75WRPM: 2,710 RPMMaximum air flow: 3.9 CMM, 250 CFM Maximum static pressure: 37 ~ 44mmAq	
⑤ Damper (HM-220V H4)	AC 220V 50 / 60Hz (Single Phase) Rotation force: 60Nm Current consumption -No load operation: 0.5W Maximum load operation: 7.2W	
Automatic switchgear (HW-1000)	DC 24V motor (35N, 100kg) Size: 49 (W), 66 (H), Window length (L) Method: Screw Type Current consumption No-load operation: 25W Max load operation: 50W	

3.3. 작동 방식

창호형 환기시스템은 필터, 열교환기, fan 외에 집풍장치를 설치하여 자연환기 효율을 향상시킬 수 있다. 집풍장치는 창호의 상·하부에 적용되며, 창호 환기설비와 연결되어 유로가 형성된다. 환기 방법은 작동 방식에 따라 총 4가지의 Mode로 구분할 수 있다. Mode 1은 외기 유입을 통한 공기정화를 하는 방식이며 필터(filter)를 이용해 미세먼지 등의 오염물질 제거가 가능하다. Mode 2는 실내공기를 순환시키며 필터를 이용해 공기를 정화하는 방식이다. Mode 3은 자동개폐기를 활용해 창호를 열고 자연환기를 실시하면서 동시에 환기설비를 통해 외기를 유입하고 유로를 통해 집풍장치에서 고속의 기류를 형성해줌으로써 베르누이효과가 발생되도록 유도한다. Mode4는 창호 환기설비 내에 적용되어 있는 열교환기를 활용하며, 실내공기 배출과 외기유입을 70초 간격으로 반복하면서 열교환기의 축열성능을 이용하는 방식이다. 동작 모드별 창호개폐 유무와 기계환기 동작에 관한 상세한 사항은 Table 3과 Fig. 3에서 확인할 수 있다.

Table 3. Window opening/closing and ventilation system operation

Mode	Ventilation method	Ventilation Method Description
Mode 1	Mechanical	Air purification through fresh air inflow
Mode 2	Mechanical	Air purification through indoor air circulation
Mode 3	Mechanical + Natural	Open the windows to utilize wind blowers
Mode 4	Mechanical	Fresh air inflow using heat exchanger

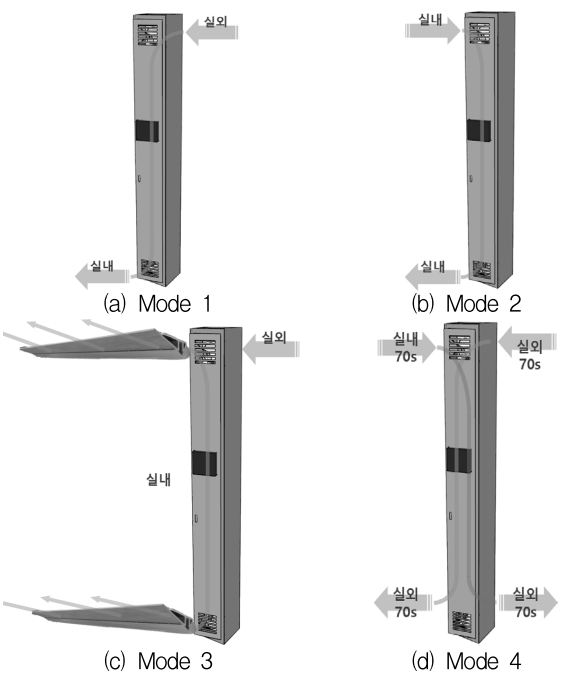


Fig. 3. Operation Mode Step of Window Ventilation System

4. 창호형 환기시스템 성능 평가

4.1. 개요

본 장에서는 창호형 환기시스템의 성능 평가를 위해, 각 작동 방식의 미세먼지 저감 성능을 비교 평가 하였다. Mock-up에서의 미세먼지 발생은 향(香)을 이용하였으며, PM10 기준으로 실내 미세먼지 농도를 약 1,200 ㎍/㎥ 까지 형성한 뒤, 창호형 환기시스템을 가동하여 미세먼지 농도가 다시 100㎍/㎥의 근사치까지 저감되는 시간을 비교하였다. 또한 미세먼지 발생 후 환기를 실시하지 않은 경우를 베이스모델(Base model)로 선정하여 환기시스템의 성능 비교 시 참고하였다.

창호형 환기시스템의 풍량은 풍량 측정용 콘(air flow cone)과 풍속 센서를 이용하여 각 모드별로 측정하였다. Mode3는 자연환기 모드이기 때문에 풍량 측정을 실시하지 않았으며, mode1, mode2, mode4의 풍량을 측정하였다.

풍량은 각 모드별로 10회 측정하였다.평가 기간은 2018년 10월 1일부터 12월 31일 기간 동안 총 21회의 평가를 실시하였으며, 본 논문에서는 2018년 12월 17일부터 12월 20일까지 3일간 측정한 데이터를 이용하여 비교·분석을 실시하였다. 해당 기간의 외부 미세먼지 평균 농도는 30㎍/㎥이고 날짜별 외기의 상태는 Table 4와 같다.

미세먼지 농도 측정은 TSI사의 DUSTTRAK 8530 측정기를 사용하였으며, 측정 범위는 0.001~400mg/㎥, 측정 가능한 Particle Size는 0.1~10㎛, 정확도는 ±0.5% 이다. 기류 및 온·습도 측정기는 KIMO사의 SOM900이며, 측정범위는 온도 -20 ~ +80℃, 습도 0 ~ 100%, 기류속도 0.00 ~ 5.00m/s이다.

Table 4. Performance Evaluation Period and External Environment

Date	Ambient dust concentration (daily average)	Outdoor temperature (℃)(11:00 ~ 14:00 / Daily Average)	Average wind speed	Maximum wind speed
18.12.17	27 ㎍/㎥	5.3 / 1.6	1.8 m/s	4.3 m/s
18.12.18	29 ㎍/㎥	7.7 / 2.6	1.4 m/s	4.1 m/s
18.12.19	31 ㎍/㎥	8.1 / 4	1.4 m/s	3.3 m/s
18.12.20	33 ㎍/㎥	8.8 / 3.4	0.9 m/s	2.4 m/s

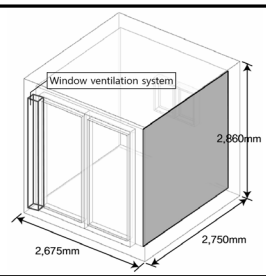
4.2. Mock-up 구축

창호형 환기시스템의 성능 평가를 위해 서울특별시 동작구 흑석동의 교육시설 건물 옥상에 Table 5와 같은 mock-up을 설치하여 평가를 실시하였다. 바닥평면은 2,675mm * 2,750mm 이며, 높이 2,860mm 이다. 지붕 및 벽의 재질은 100mm 두께의 샌드위치 패널 및 몰탈 마감으로 되어 있으며, 남향에 가로*세로 2,135mm * 2,100mm의 창호가 배치되어 있다.

Mock-up은 단일챔버로 구성되어 있기 때문에 실험 후 충분히 환기를 시켜 실내 공기를 정화하고, 실내에 침착되어 있는 미세먼지를 최대한 제거 후 다음실험을 진행하였다.

Table 5. Mock-up Overview

Height	2,860mm
Floor	1floor
Direction	South
Floor area	7.35㎡



본 성능평가는 실내 미세먼지 저감 성능 평가이기 때문에 침기로 인한 영향을 최소화 해야 한다. 따라서 창호 및 벽 모서리 등 침기가 발생할 가능성이 있는 부위에 연신폴리프로필렌(OPP; Oriented olypropylene) 재질의 필름을 부착하였고, 외부 또는 주변실의 영향을 최소화하기 위해서 50mm 두께의 열전도율 0.29W/m·k의 성능을 가진 압출보온판 단열재를 내부 벽면 전체에 추가로 부착하였다. Fig. 4은 Mock-up의 전경과 창호형 환기시스템 적용 및 내부의 모습이다.



Fig. 4. Window ventilation system foreground and interior

실내 미세먼지는 대기의 미세먼지 농도와 풍속이 중요한 영향을 미치므로 Mock-up이 설치된 지역과 건물에서의 연간 미세먼지 농도와 풍속 및 풍향을 분석하였다. Mock-up과 가장 가까운 사당 4동의 미세먼지 측정기(기

상청) 측정결과 2018년 미세먼지(PM10)의 평균 농도는 52.5㎍/㎥, 이며 최고 농도는 321㎍/㎥, 최저는 7㎍/㎥으로 나타났다. Fig. 5는 2018년 미세먼지 농도 분포이며 미세먼지의 기준치인 100㎍/㎥을 초과한 날은 총 39일이다.

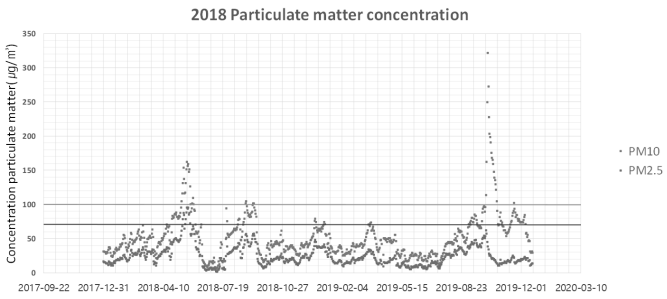


Fig. 5. 2018 PM10 concentration distribution

연평균 기온 12.9℃ 이고, 평균 풍속은 1.7m/s, 최다 풍향 방위는 290°이다. mock-up 주변 환경 요소 중 미세먼지 발생원으로 볼 수 있는 요소는 없는 것으로 사료된다. 주변의 건물은 모두 교육시설이며, 도로는 교내에 있는 왕복 2차선 도로만 있기 때문에 통행량이 매우 적어 미세먼지 발생에 영향을 미치지 않는 것으로 판단하였다.

4.3. 성능평가 결과

창호형 환기시스템의 실내 미세먼지 저감 성능 평가 결과는 다음과 같다.

Mode 1의 실내미세먼지 저감 성능 평가 결과, 실내 미세먼지의 농도 1195㎍/㎥에서 102㎍/㎥까지 저감되는데 소요된 시간은 24분으로 나타났다(Fig. 6).

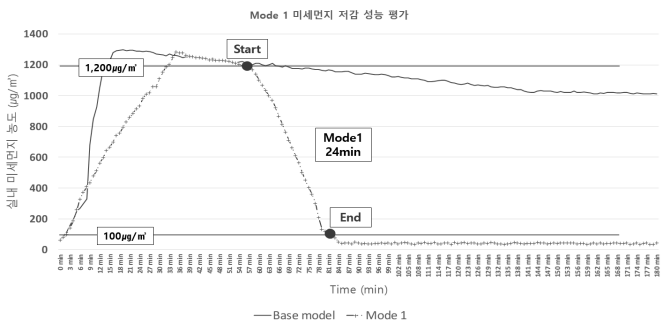


Fig. 6. Mode 1 Indoor PM10 Reduction Performance

Mode 2의 실내미세먼지 저감 성능 평가 결과, 실내 미세먼지의 농도 1200㎍/㎥에서 102㎍/㎥까지 저감되는데 소요된 시간은 88분으로 나타났다(Fig. 7).

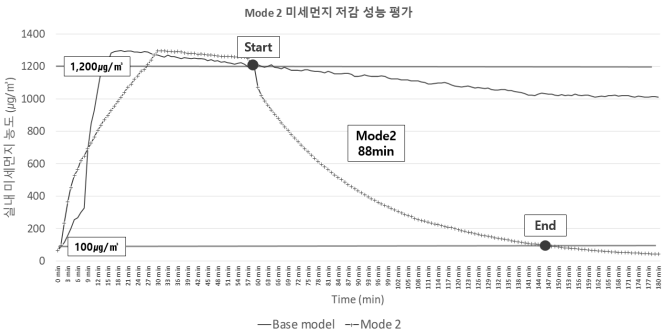


Fig. 7. Mode 2 Indoor PM10 Reduction Performance

Mode 3의 실내미세먼지 저감 성능 평가 결과, 실내 미세먼지의 농도 1199㎍/㎥에서 108㎍/㎥까지 저감되는데 소요된 시간은 8분으로 나타났다(Fig. 8).

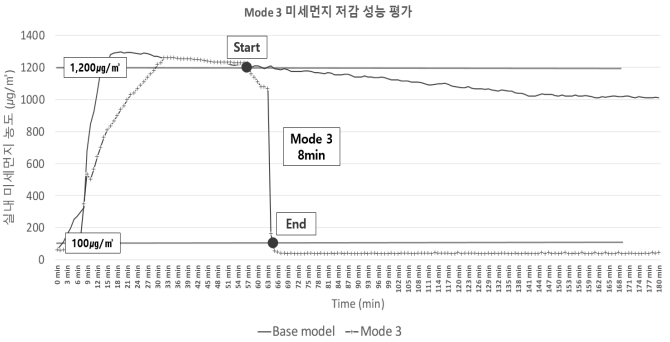


Fig. 8. Mode 3 Indoor PM10 Reduction Performance

Mode 4의 실내미세먼지 저감 성능 평가 결과, 실내 미세먼지의 농도 1195㎍/㎥에서 103㎍/㎥까지 저감되는데 소요된 시간은 39분으로 나타났다(Fig. 9).

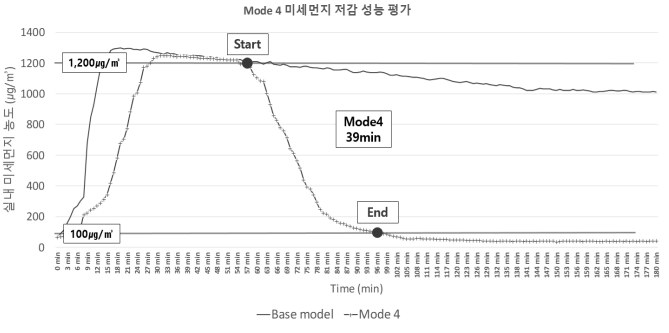


Fig. 9. Mode 4 Indoor PM10 Reduction Performance

즉, 창호형 환기시스템의 각 모드별 실내 미세먼지 저감 성능은 Mode 3 > Mode 1 > Mode 4 > Mode 2 순으로 나타났다. Fig. 10과 Table 6은 창호형 환기시스템의 작동 모드별 미세먼지 저감 성능을 비교한 것이다.

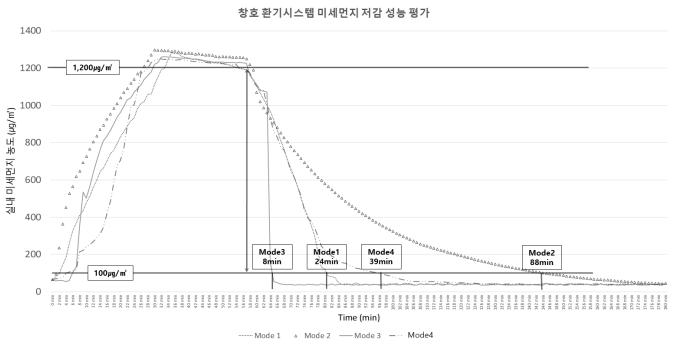


Fig. 10. Window ventilation system Indoor PM10 reduction time required

Table 6. Comparison of indoor PM10 removal performance of window ventilation system

	Time	PM10 concentration
Mode 1	24min	1195㎍/㎥ → 102㎍/㎥
Mode 2	88min	1200㎍/㎥ → 102㎍/㎥
Mode 3	8min	1199㎍/㎥ → 108㎍/㎥
Mode 4	39min	1195㎍/㎥ → 103㎍/㎥

5. 결 론

본 논문에서는 실내 미세먼지 저감을 위하여 창호형 환기시스템을 설계 및 제작하고, Mock-up test를 활용하여 실내 미세먼지 저감 성능 평가를 실시하였다. 수행된 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 창호형 환기시스템은 공동주택을 대상으로 설계하여 상대적으로 설치가 용이한 세로형으로 설계 및 제작하였다. 주요 구성 요소로는 회전형 유로, 팬(Fan), 전동댐퍼, 자동개폐장치 이며, 배기구 및 공기 유로, 집풍장치의 적용을 고려하여 원활히 작동할 수 있도록 상세 규격을 도출하였다.

(2) 창호형 환기시스템의 각 모드별 실내 미세먼지 저감 성능 평가를 위해 Mock-up의 미세먼지 농도를 약 1,200㎍/㎥ 까지 조성한 뒤 창호형 환기시스템을 가동하여 미세먼지 농도가 다시 100㎍/㎥의 근사치까지 저감되는 시간을 각 모드별로 비교 평가하였다. 평가 결과, 각 모드별 저감 시간은 Mode 1은 24분, Mode 2는 88분, Mode 3은 8분, Mode 4는 39분으로 나타났다. 즉, 미세먼지 저감성능은 Mode 3 > Mode 1 > Mode 4 > Mode 2 순으로 나타났다. Mode 3의 경우 개폐 면적이 넓어 환기가 활발한 것으로 나타났다, 따라서 향후 공동주택의 미세먼지 저감을 위한 적용의 실용화를 위해서는 공동주택 적용 등의 Test-bed 추가 분석이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. Robert D. Brook, Sanjay Rajagopala, C. Arden PopeIII, Jeffrey R. Brook, Aruni Bhatnagar, Ana V. Diez-Roux, Fernando Holguin, Yuling Hong, Russell V. Luepker, Murray A. Mittleman, Annette Peters, David Siscovick, Sidney C. SmithJr, Laurie Whitsel, Joel D. Kaufman, Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease, Circulation, Vol. 121, No. 21.
2. 환경부(2016), 「바로 알면 보인다. 미세먼지 도대체 뭘까?」, 5~6.
3. 김지혜(2018), “실내 미세먼지 관리를 위한 Ventilation과 Filtration 제어 알고리즘”, 「서울대학교 박사학위논문」, 1.
4. Oregon OSHA(2014), “Technical Manual”, 「Indoor air quality investigations」, (2): 4.
5. 차동원, 「건축환경 실내공기오염」, 기문당, 73~803.
6. 강동화, 최동희(2015), “주거건물의 실내외 미세먼지 측정에 의한 실외 미세먼지의 실내 영향도 평가 기초연구”, 「한국건축친환경설비학회 논문집」 9(6): 462~469.
7. 황인태, 김형근, 김미연, 안태경, 박진철(2015), “공동주택 환기덕트 오염도 실태조사”, 「대한건축학회 논문집 - 계획계」 31(8): 113~120.
8. 강재식(2010), “국외의 창호일체형 자연환기시스템 기술 동향”, 「한국건설기술연구원 건설 기술 동향」, 308~309.
9. 유성준, 강주원, 양정훈(2013), “CFD 해석을 이용한 소규모 인쇄 작업장의 환기방식 및 환기량에 따른 환기효율 평가에 관한 연구”, 「대한건축학회논문집 -계획계」 01(29): 263~270.
10. 이효은, 양영권, 강인성, 김태원, 문진우, 박진철(2017), “인공지능기반 창호형 환기시스템 연구 동향 분석”, 「한국생태환경건축학회 논문집」 17(6): 159~164
11. 최광주(2018. 7), 창문형 하이브리드 환기시스템, 설비저널 47(7): 56~61.
12. Wang Enbo, Wang Haidong, Deng Min(2017), “Simulation of the ventilation and energy performance of a PV-integrated breathing window”, 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC) 19~22.
13. 권용일, 장상규, 김선정(2011), “주상복합건물의 창호 개폐길이가 자연환기능력에 미치는 영향에 관한 연구”, 「대한설비공학회 하계학술발표대회논문집」, 1162~1167.