



## 자가제작형 공기청정기 가동 대수에 따른 미세먼지 저감 성능 실측

### *Measurement of Particulate Matter Reduction Performance according to the Number of DIY Air Purifiers*

노상태\*

Sang-Tae No\*

\* Professor, School of Architecture, Korea National Univ. of Transportation, South Korea (stno@ut.ac.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose:** As air pollution increases due to industrialization and climate change, the role of indoor air purifiers is becoming more important due to the increase in fine dust outside the air. It is expected that it will be difficult to cover the entire area of the indoor space with one or two commercial air purifiers used at home. **Method:** In this study, in order to operate several air purifiers indoors, a low-cost, self-made (DIY) air purifier was developed that is easy to process and has a low filter replacement cost. The measurement of particulate matter removal performance according to the increase in the number of air purifiers in operation was conducted at indoor multi-points. **Result:** Through multi-point measurement, it is determined that the distribution of the indoor fine dust concentration changes according to the direction of indoor air flow under the condition of no forced ventilation. As the number of air purifiers in operation increased, the rate of reduction of particulate matter increased. In order to keep the average concentration of particulate matter low in the entire indoor area, it will be advantageous to increase the number of air purifiers in operation.

#### KEYWORD

미세먼지  
공기청정기  
자가제작  
공기질

Particulate Matter  
Air Purifier  
DIY(Do It Yourself)  
Air Quality

#### ACCEPTANCE INFO

Received Nov. 14, 2020  
Final revision received Nov. 28, 2020  
Accepted Dec. 4, 2020

© 2020. KIEAE all rights reserved.

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경

미세먼지는 대기 중에 떠다니는  $10\mu\text{m}$  이하의 작은 입자를 말하며, 크기에 따라서  $10\mu\text{m}$  이하는 미세먼지,  $2.5\mu\text{m}$  이하는 초미세먼지로 구분된다. 미세먼지는 산불, 황사 등을 통해 다양한 자연적인 원인으로 발생하기도 하지만 대부분 석유, 석탄과 같은 화석연료를 연소하거나 자동차 매연가스와 같은 인위적인 원인에 의해 발생한다. 미세먼지는 중금속 등과 같은 유해 물질을 포함하며, 인체의 눈, 코, 폐, 기관지 등 여러 기관에서 염증반응 및 각종 질환을 유발할 수 있다[1].

최근 심각해지고 있는 미세먼지 오염을 줄이기 위해 사회적으로 대중교통 이용을 권장하고 있으며, 정부는 자동차 배출가스를 5등급으로 분류하는 법을 제정하고, 주변국과의 미세먼지 규제 협약 등을 통한 노력을 기울이고 있다[2]. 그러나 대기 중의 미세먼지의 농도를 감소시키기란 쉽지 않으므로, 건물 내에서 공기청정기와 같은 공기정화 장치를 사용하여 실내 공기질 개선을 통하여 미세먼지의 접촉을 최소화할 수 있는 방안 마련이 필요할 것이다.

### 1.2. 연구의 목적 및 방법

최근 높아지는 미세먼지 농도로 인하여 공기청정기의 판매량은 증가하는 추세이다. 하지만 시판용 공기청정기 가격과 필터 교체와 같은 유지관리 비용이 상당히 높은 편이다. 이러한 경제적인 문제점

을 보완하고자 본 연구에서는 시판용 공기청정기 대비 낮은 비용으로 여러 대의 자가제작형 공기청정기를 제작하였다. 제작된 공기청정기의 설치 대수별 실내공간 내 미세먼지 분포변화와 미세먼지 저감률을 파악하여 정량적으로 성능을 파악하고, 평가하는 것을 목적으로 하였다.

## 2. 본론

### 2.1. 선행연구 및 관련 기준 고찰

최근 미세먼지는 사회적 이슈로 대두되고 있으며 실제로 우리나라의 미세먼지 농도는 뉴욕, 런던, 파리 등의 나라들보다 최대 2배 이상 높은 수준으로, 공기청정기 등으로 실내 공기질 개선에 활용하는 세대가 증가하고 있다[3]. 외부 미세먼지 조건이 매우 나쁜 조건에서 환기를 통해 일정량을 지속적으로 외부 공기를 도입하는 경우, 실내 미세먼지 농도 저하에는 효과적이지만, 외부 미세먼지가 실내로 유입되어 환기 시스템 가동에 따라 실내 미세먼지 농도가 오히려 증가하는 결과를 보였다[4]. 실내 공기질을 효과적으로 개선하기 위해서는 측정 데이터를 기반으로 실내외 오염물질의 유형별 농도의 수준에 따라 환기 시스템을 가동하고, 공기청정기는 가능한 외부의 고농도 미세먼지가 유입되지 않는 조건에서 가동할 필요가 있다[5]. 실외  $\text{PM}_{2.5}$  농도가 보통수준인  $55\mu\text{g}/\text{m}^3$  경우, 공기청정기를 가동하지 않고 환기장치만 가동하여도 실내  $\text{PM}_{2.5}$  농도는 기준치인  $35\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 유지할 수 있다. 그러나 실외  $\text{PM}_{2.5}$  농도가 나쁜 수준인  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상에서는 환기장치와 공기청정기를 동시에 가동하여야만 기준치를 만족할 수 있다[6]. 대량생산하여 교체비용이 저

Table 1. WHO air quality guidelines and interim targets for particulate matter: mean concentrations

( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Annual		24-hour*	
	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5
Interim target-1 (IT-1)	70	35	150	75
Interim target-2 (IT-2)	50	25	100	50
Interim target-3 (IT-3)	30	15	75	37.5
Air quality guideline (AQG)	20	10	50	25

\* 99th percentile (3 days/year)

Table 2. Indoor air quality control in public-use facilities in Korea (2020.4) -24 hours

Public-use Facilities	PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
waiting room, terminal, museum, academy, theater, etc	100	50
hospital, Elderly care facility, day care center, etc	75	53

립한 자동차용 HEPA(high-efficiency particulate absorber) 필터를 사용하고, 외부 프레임의 형태와 치수, 팬 사이즈를 규격화한 DIY 공기청정기를 제작하고, 성능을 평가하였다. 시판용과 DIY 공기청정기의 미세먼지 제거능력의 차이가 2.5배로, 미세먼지 제거능력은 공기청정기에 적용된 팬의 풍량이 높을 수록 우수한 것으로 나타났다[7].

선행 연구 검토 결과 본 연구는 기존에 다루지 않았던 자가제작형 공기청정기를 개발하고, 적용 대수별 미세먼지 제거 성능을 파악하는 것을 목적으로 하여, 차별성이 있는 것으로 판단된다.

Table 1.에는 WHO(World Health Organization)의 미세먼지 권고기준 및 잠정목표를 나타내었다[8]. 아울러 2020년 4월부터 강화된 환경기준이 적용을 위한 개정현안 Table 2.에 나타내었다[9]. 어린이집, 노인시설, 의료기관과 같은 민감계층 이용시설은 터미널, 도서관과 같은 일반 시설과 비교하여 실내 공기질 관리와 개선에 더욱 신경을 기울일 필요가 있음을 나타냈다. 개정된 환경부의 미세먼지 농도 기준이 비록 강화되었으나, WHO의 권고기준에는 다소 미치지 못하고 있어 향후 이에 대한 검토가 필요할 것이다.

## 2.2. DIY 공기청정기 제작

본 연구 수행 이전에 선행 연구[7]에서 몇 가지 형태의 규격화된 자가제작형 공기청정기를 제작한 바 있다, 선행 연구 결과를 토대로 본 연구에서는 설치와 제작이 간편한 수직형 공기청정기를 다수 제작하였다. 제작된 공기청정기의 개요는 Table 3.과 같다.

공기청정기 제작에 사용된 재료 및 부품을 Table 4.에, 제작 과정과 구조를 Fig. 1.에 나타내었다. 공기청정기 프레임용 MDF 합판을 재단, 조립하고(a), 하부에 팬을 설치하고(b), 대량 생산되어 비용이 저렴한 차량용 HEPA 필터를 공기청정기의 상부에 설치하였다(c). 모델의 규격화와 기밀성을 위해 MDF(Medium-Density Fibreboard) 합판 프레임 이음 부분은 T자형 꺾쇠, 너트, 볼트로 조립과 해체가 용이한 구성으로 하였으며, 누기를 막기 위하여 합판 사이의 틈을 실리콘 코킹 처리하였다. Fig. 1.의 (d), (e)와 같이 기류가 하부에서 상부로 흐르도록 팬을 프레임 하부에 고정하였으며, 필터




Table 3. DIY Air purifier overview

Air flow direction	Vertical type
Frame size (mm)	200 x 200 x 400
Fan size (mm)	180 x 180
Fan air volume (CMM)	5.65
Fan air volume with filter (CMM)	1.41
Fan noise (dB)	78
HEPA filter size (mm)	180 x 180 x 24
Production cost (Korean won)	MDF plywood : 21,000
	Fan : 9,990
	HEPA filter : 13,900
	total 44,890 won

Table 4. DIY air purifier assembly materials

Materials	Pic.	Materials	Pic
Bolt 9x3 (40ea)		Nut 7x3 (40ea)	
Clamp 1 30x25 (8ea)		Clamp 2 40 x 40 (4ea)	
HEPA Filter 180x180x24		MDF Plywood 200 x 400(4ea)	
Fan 180x180x12		220V Wire Plug 1800	

Table 5. Measurement devices overview

Device	Pic.	Specification
PM sensor (PMS 7003) + Arduino		Type : Light scattering Measuring range : 0.3~1.0, 1.0~2.5, 2.5~10 $\mu\text{m}$ PM2.5 : 0~500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Sound level meter (testo 815)		Measuring range : 32~80, 50~100, 80~130 dB
Wind speed meter (testo 410-1)		Measuring range : 0.4~20 m/s

의 교체가 용이하도록 프레임 상부에 HEPA 필터를 배치하는 구조로 하였다.

### 2.3. 실험 방법 및 기기

본 연구의 실험은 충청북도 충주시에 위치한 K대학교의 한 강의실에서 진행하였다. 미세먼지 발생 조건 구현을 위하여 창문과 출입구와 같은 개구부를 닫아 강의실 내부와 바깥공기의 유입과 유출을 최소화하였다. 실험개시와 동시에 향 5개를 30분간 피워 미세먼지를 확산시키고, 실험개시 후 60분이 되면 공기청정기를 가동하였다. 미세먼지 센서로 1분 간격으로 위치별(Fig. 2. P1~P5) 실내 미세먼지 농도를 측정하였고, 실험은 케이스별로 총 160분간 실시하

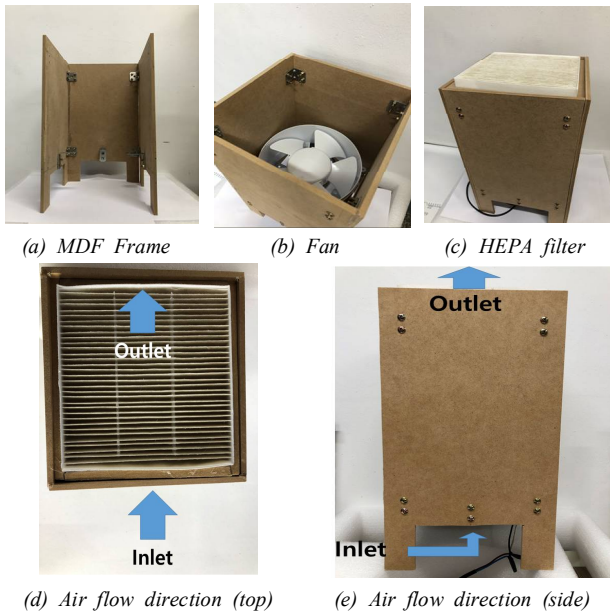


Fig. 1. DIY Air purifier producing process and structure

였다. 오염 발생원, 공기청정기, 미세먼지 센서는 모두 강의실 책상 위(높이 1m)에 설치하였으며 실험은 공기청정기를 가동하였을 경우와 가동하지 않았을 경우(자연감소)로 나누어 실험하였다. 실험에 사용된 공기청정기는 최소 1대에서 최대 4대가 사용되었으며, 공기청정기 대수에 따른 설치 위치는 Fig. 2와 같다. 공기청정기를 1대 사용할 경우는 강의실의 중앙부에 배치하였다, 공기청정기를 2대 사용할 경우는 실 중앙으로부터 각각 3.5m씩 거리를 두고, A1과 A2 사이의 거리는 7m가 되게 하였다, 공기청정기를 3대 사용하는 경우에는 A1과 A2 사이의 중심과 A3는 실 중앙으로부터 각각 3.5m씩 거리를 두고, A1과 A2 사이의 거리는 5m가 되게 하였으며 A3는 A1과 A2 사이의 중심에서의 거리가 7m가 되도록 설치하였다. 공기청정기를 4대 사용할 경우는 A1과 A2 사이의 중심과 A3와 A4 사이의 중심을 실 중앙으로부터 각각 3.5m씩 거리를 두고, A1과 A2 사이, A3와 A4 사이 거리를 5m가 되게 하였다.

Fig. 2.에서 P1, P5는 각각 벽 중심위치에서의 미세먼지 측정 위치이며, P2는 복도측 유리벽, P4는 외벽에 면한 유리창 중심 위치이고, P3는 실험 공간의 중앙부 측정 위치를 나타낸다. 추가적으로 필터 설치에 따른 팬의 압력 강하와 풍량 파악을 위하여 소음과 풍량 측정을 진행하였다. 실험에서 사용된 측정기기는 Table 5.와 같다. 소음 측정 결과 DIY 공기청정기의 소음은 78dB로 나타나, 일반 시판용 공기청정기의 소음인 37.8dB~60.3dB 보다 다소 높은 소음을 보였다[10]. HEPA 필터를 적용하지 않은 상태에서의 팬 풍량을 측정 결과는 5.65CMM 였으나, 필터를 적용하여 팬 풍량을 측정한 결과 필터의 저항으로 인해 1.41CMM로 크게 낮은 값을 보여 압력강하에 대한 개선책이 필요하다.

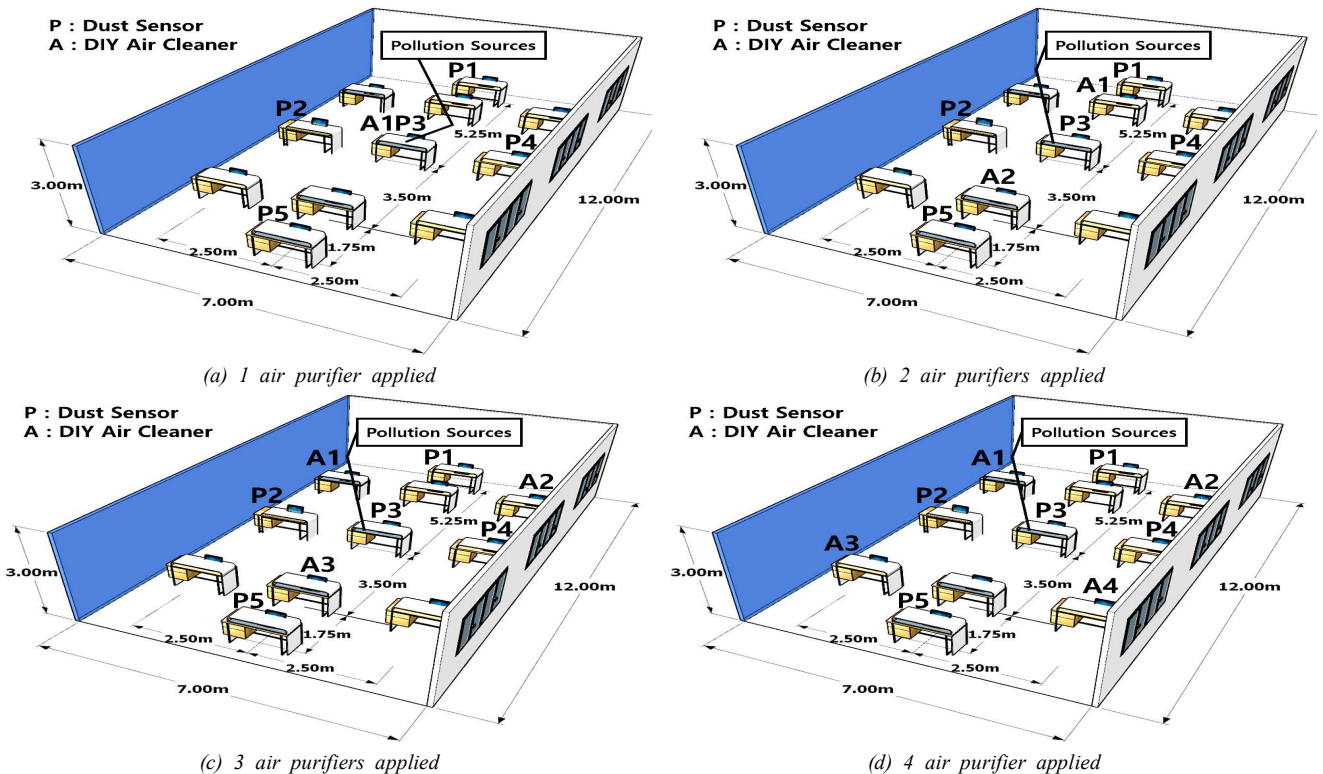


Fig. 2. Overview of PM measuring points and air purifier locations



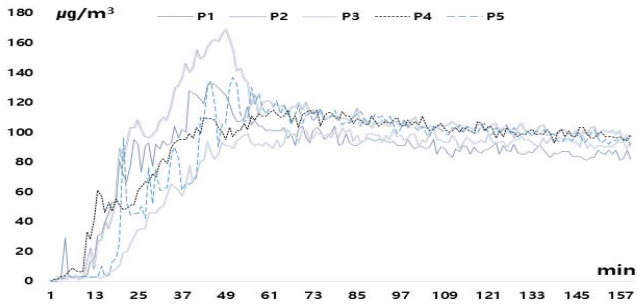


Fig. 3. No Air Purifier - PM2.5

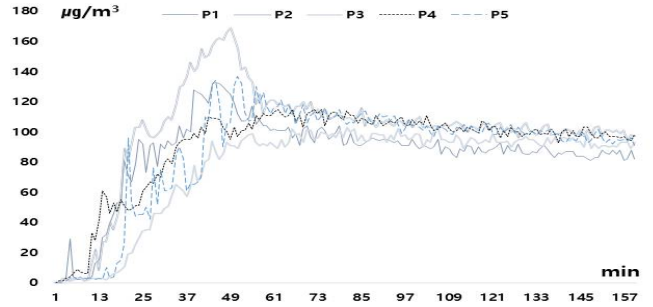


Fig. 4. No Air Purifier - PM10

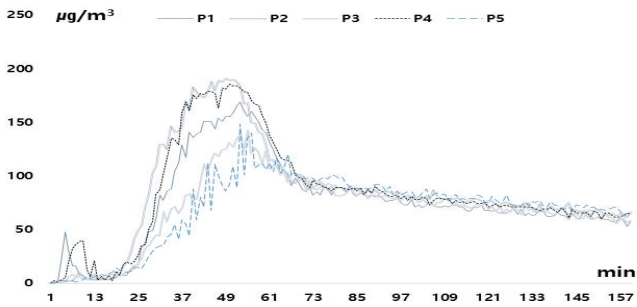


Fig. 5. 1 Air Purifier - PM2.5

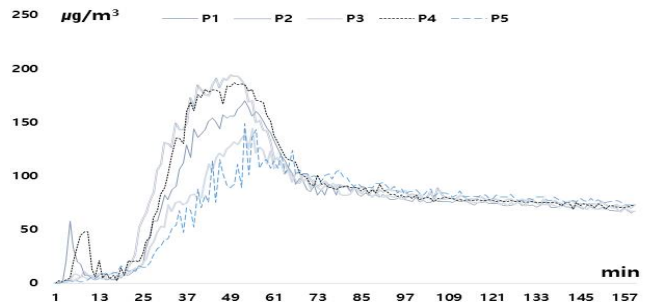


Fig. 6. 1 Air Purifier - PM10

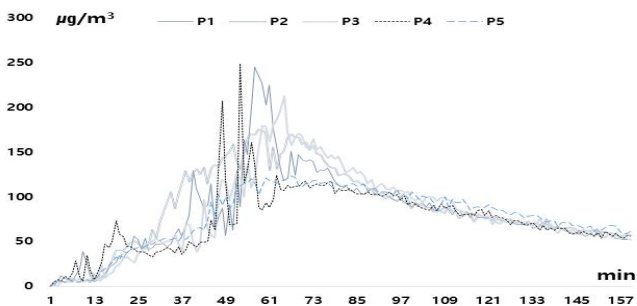


Fig. 7. 2 Air Purifiers - PM2.5

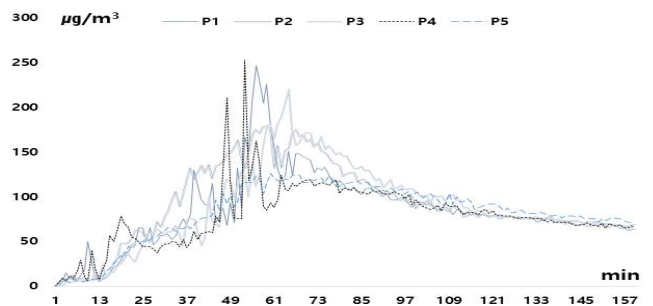


Fig. 8. 2 Air Purifiers - PM10

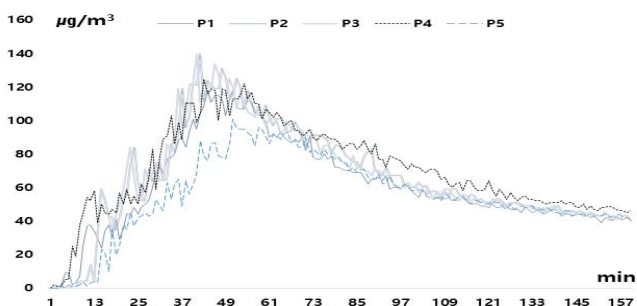


Fig. 9. 3 Air Purifiers - PM2.5

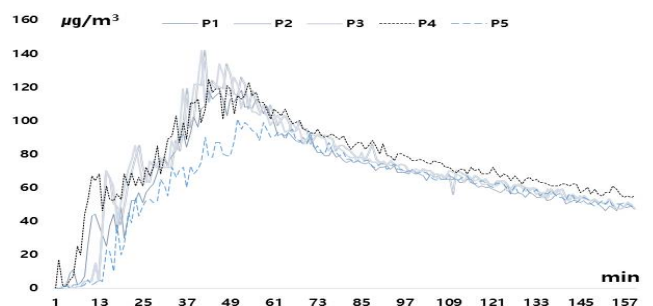


Fig. 10. 3 Air Purifiers - PM10

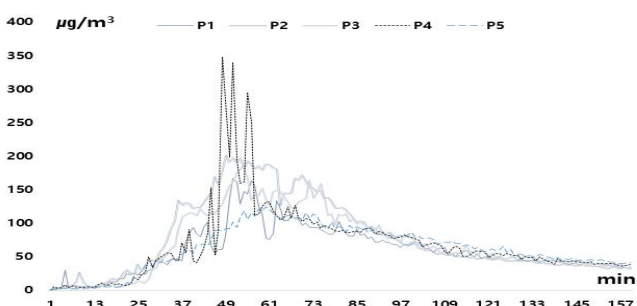


Fig. 11. 4 Air Purifiers - PM2.5

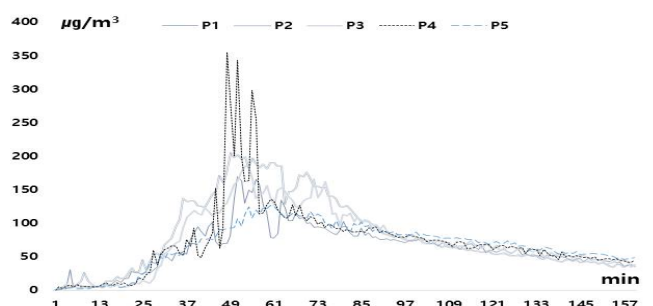


Fig. 12. 4 Air Purifiers - PM10

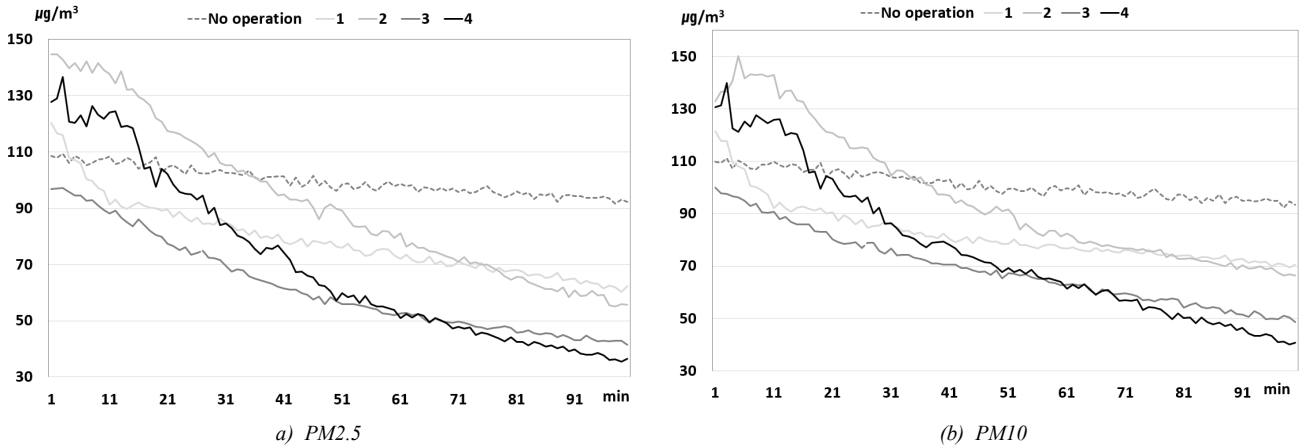


Fig. 13. Indoor average PM concentration change by the number of air purifiers applied (measurement point average)

### 2.4. 공기청정기 가동 대수별 측정 결과

일반적으로 공기청정기의 성능 측정은 공기청정기 가동 전 초기 농도 대비 가동 후 시간 경과에 따른 미세먼지 농도의 절감율을 계산하는 방식으로 실시된다[11]. Fig. 3. ~ Fig. 12.는 각각 공기청정기 미가동시 미세먼지 감소량, 공기청정기 1대 가동시, 2대, 3대, 4대 가동시의 PM2.5 및 PM10 미세먼지 농도 변화 추이를 나타낸 그래프이다. 가동 대수별 공기청정기 설치 위치 및 미세먼지 측정 센서 설치 위치는 Fig. 2.와 같다. 오염원 발생 후 공기청정기 미가동시, 즉 자연 감소시의 미세먼지 농도 결과를 Fig. 3., Fig. 4.에 나타내었다. 실험 시작 후 향의 연소가 끝나고 오염원이 실내에 확산되는 49분후에 PM2.5는 169 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM10은 172 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 최대 농도값을 보였으며, P2(복도측 벽) 위치에서 최댓값을 보였다. 공기청정기 미가동시에는 시간이 경과하여도 미세먼지 농도는 크게 감소하지 않았다. 공기청정기 1대 가동시의 결과인 Fig. 5., Fig. 6.은 각각 실험 시작 49분 후 P2 위치에서 최댓값 191 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM2.5), 194 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10)의 값을 보였다. 공기청정기 2대 가동시의 결과인 Fig. 7., Fig. 8.에서는 각각 실험 시작 53분 후 P4 그래프에서 최댓값 249 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM2.5), 253 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10)의 값을 보였다. 3대 가동시의 결과인 Fig. 9., Fig. 10.에서는 각각 실험 시작 41분 후 P3, 42분 후 P2 위치에서 각각 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM2.5), 142 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10)의 값을 보였다. 4대 가동시의 결과인 Fig. 11., Fig. 12.에서는 각각 실험 시작 48분 후 P4 위치에서 348 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM2.5), 355 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10)의 값이 측정되었다.

공기청정기 가동 대수와 관계없이 최대 농도분포는 주로 창, 복도 측에 가까운 측정기의 미세먼지 농도 최댓값이 높게 측정되었는데, 이는 중앙에 위치한 오염 발생원에서 P2, P3, P4의 위치가 P1, P5보다 근접하고, 창문 및 유리 재질 복도측 칸막이에서 발생하는 침기에 의한 기류 생성 때문인 것으로 추측된다.

각 실험 조건별 공기청정기 가동 대수에 따른 미세먼지 저감 성능을 파악하기 위해 공기청정기 가동 시작 시점인 실험 시작 60분 이후를 기점으로 100분간 측정점 P1 ~ P5에서의 PM2.5, PM10 평균값을 1분 간격으로 Fig. 13.에, 실험시작 후 최대 평균 농도 및 실험 시작 160분 후의 최종 실내 평균 미세먼지 농도를 Table 6.에 나타내었다. 공기청정기 가동 대수가 증가함에 따라 미세먼지의 농도 감소율도 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 13.). 3대 가동의 경우 감소폭

Table 6. Mean indoor PM concentration change by number of air purifiers operated

( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM2.5		PM10	
	Max. (minute)	after 160minute	Max. (minute)	after 160minute
No operation	124.8(43)	92.2	126.2(43)	93.4
1 air purifier	164.2(52)	62.2	165.4(52)	70.6
2 air purifiers	158.2(56)	55.6	163.8(55)	66.4
3 air purifiers	114.6(45)	41.4	115.4(45)	48.6
4 air purifiers	193.2(50)	36.4	196.8(50)	40.8

이 2대에 비해 작았는데, 이는 3대의 공기청정기 성능 실험의 공기청정기 가동 시작 시 미세먼지 초기값이 다른 케이스의 초기값보다 낮기 때문으로 파악되지만, 공기청정기 제작 결함에 따른 성능 부족의 가능성을 배제할 수 없다. Table 6.의 결과와 같이 각 측정 케이스별 최대 농도(측정점 평균)는 43~56분 사이에 나타나 최대 평균 농도 발현 시점은 유사하였다. 아울러 실험 개시 후 160분, 즉 공기청정기 가동후 100분에서의 최종 평균 농도값은 초기 농도와 관계없이 PM2.5 및 PM10에서 모두 적용 대수가 증가할수록 그 값이 낮았다. 초기 평균 농도 대비 가동 100분 후의 실내 평균 농도는 PM 2.5의 경우 26%(자연감소), 62%(1대 가동), 65%(2대 가동), 64%(3대 가동), 81%(4대 가동)의 감소율을 보였으며, PM10의 경우 26%(자연감소), 57%(1대), 59%(2대), 58%(3대), 80%(4대)의 감소율을 보였다. 이를 통해 실전체 영역에서 실내 미세먼지 농도 평균값을 낮게 유지하기 위해서는 공기청정기 가동 대수를 늘리는 방법이 유리할 것으로 추정된다.

### 3. 결론

산업화와 기후변화 등에 따라 대기오염이 심해지면서 외기 미세먼지의 증가로 인해 실내 공기청정기 역할이 중요해지고 있다. 가정에서 사용하는 시판용 공기청정기 1~2대로는 실내 공간 전체 영역을 모두 담당하기 어려울 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 실내에 여러 대의 공기청정기를 가동할 수 있도록 하기 위해 가공이 용이하며 필터 교체 비용이 저렴한 저비용 자가제작형(DIY) 공기청정기를 제작하고, 공기청정기 가동 대수 증가에 따른 미세먼지 제거 성

능 측정을 실내 다지점을 대상으로 실시했다.

다지점 측정을 통해, 강제환기를 하지 않는 조건에서 실내 미세먼지 농도의 분포는 창, 문틈 등의 침기에 따른 실내 공기 유동 방향에 따라 변화하는 것으로 판단된다. 아울러 공기청정기 가동 대수를 늘릴수록 미세먼지 저감률 폭은 증가하는 것으로 나타났다. 공기청정기 가동후의 최종 농도값은 초기농도와 관계없이 적용 대수가 증가할수록 절대 농도값은 낮아졌다. 이 결과로 미루어 볼 때 실전체 영역에서 미세먼지 평균 농도를 낮게 유지하기 위해서는 공기청정기 가동대수를 늘리는 방법이 유리할 것으로 판단된다.

본 연구에서 제작된 자가제작형 공기청정기 특성상 필터 적용에 따른 팬 압력 강하와 같은 제작 품질의 편차가 발생할 수 있어, 이에 대한 고려가 필요하다. 실제 주거공간에 적용하여 장기간 측정을 통한 필터 교체 주기에 대한 파악이 필요하다. 아울러 향후 실내에 환기팬이 적용되는 경우, IoT 기술을 적용한 제어방식의 경우 등과 같은 다양한 실내 공기 유동 조건에서의 공기청정기 성능이 검토될 필요가 있을 것이다.

### Acknowledgement

이 논문은 2020년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였습니다.  
이 논문은 2019년도 한국연구재단 연구비 지원에 의한 결과의 일부입니다(과제번호 : 2019R1A2C1006099).

### Reference

[1] 환경부, 통계로 본 환경 정책 - 대기 환경 <http://stat.me.go.kr/nesis/mesp/info/statPolicyAirl.do>. // (Ministry of Environment, Environmental Policy in Statistics-Atmospheric Environment.)

[2] 환경부 수도권대기환경청, 수도권대기정보 미세먼지 바로알기 <https://www.me.go.kr/mamo/web/index.do?menuId=16201>. // (Ministry of Environment, Seoul Metropolitan Area Atmospheric Information.)

[3] 송근호, 정민호, 공기청정 기능이 적용된 공동주택 환기시스템, 설비지널, 제46권 제4호, 2017, pp.32-40. // (G.H. Song, M. H. Jeong, Apartment ventilation system with air cleaning function applied, SAREK journal, 46(4), 2017, pp.32-40.)

[4] 최연희, 송두삼, 공기청정모드를 가지는 환기시스템의 주거건물 실내외 미세먼지 및 실내 CO<sub>2</sub> 농도를 고려한 제어전략, 설비공학 논문집 제31권 제12호, 2019, pp. 568-575. // (Y.H. Choi, D.S. Song, Control Strategy of Ventilation System with Air Filtration Mode Considering Indoor and Outdoor Air Quality in Residential Buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 31(12), 2019, pp.568-575.)

[5] 송수원 외 3인, 자연환기 및 공기청정기 가동에 따른 실내공기질 분석, 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 2019.6, pp.442-445. // (S.W. Song et al., Analysis of Indoor Air Quality (IAQ) according to the Operation Conditions of an Air-cleaner and Natural Ventilation through Windows in A Small Office, SAREK conference, 2019, pp.442-445.)

[6] 박환출, 이동현, 이정재, 학교교실의 실내공기질 개선을 위한 환기장치 및 공기청정기의 연동제어 알고리즘 개발 및 적용 연구, 대한건축학회논문집 구조계 제36권 제5호, 2020, pp.187-194.// (H.C. Park, D.H. Lee, A study on Development and Application of Sequential Control Algorithm of Ventilation and Air Cleaning System for Improving Indoor Air Quality in School Classroom, Journal of the AIK, 36(5), 2020, pp. 187-194.)

[7] 이원균, 규격화를 통한 보급형 공기청정기 제작 및 성능 실험, 석사학위논문, 한국교통대학교 일반대학원, 2020. // (W.G. Lee., Development of Standardized Low-cost Air Cleaner and Performance test, thesis of

master degree, KNUT, 2020.)

[8] WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, WHO 2005.

[9] Ministry of government legislation, Indoor air quality control in public-use facilities in Korea, 2020.4.

[10] <https://news.joins.com/article/23621381>.

[11] T. Sayahi. et al., Long-term field evaluation of the Plantower PMS low-cost particulate matter sensors”, Environmental Pollution, 245, 2019, pp.932-940.