



RESEARCH ARTICLE

실측을 통한 일개 대학 전산실의 미세먼지 농도특성 분석

정창현*

경남과학기술대학교 건축공학과 부교수

Field Measurement of Fine Particulate Matter Concentration in a University Computer Room

Cheong, Chang-Heon*

Associate Professor, Department of Architectural Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology University, Jinju, Korea

*Corresponding author: Cheong, Chang-Heon, Tel: +82-55-751-3676, E-mail: changheon@gntech.ac.kr

ABSTRACT

This study determined the concentrations and I/O ratios of fine particulate matter in a computer room located in a university by field measurements. The I/O ratios of fine particulate matters ranged from 0.3 μm to 3.0 μm in computer room, are higher than 1. In addition, concentrations of fine particulate matter at lower part (above 50 cm from floor level) of computer room are higher than upper part (above 100 cm and 150 cm from floor level). These results indicate that computer room needs control over fine particulate matter with smaller diameter (0.3 μm to 3.0 μm). Removal of fine particulate matter at lower part of computer room also should be considered to reduce occupants' health problems.

주요어 : 전산실, 미세먼지, 실내외 농도비, 실측, 대학

Keywords: Computer room, Fine particulate matter, I/O ratio, Field measurement, University

OPEN ACCESS

Journal of KIAEBS 2021 February, 15(1): 19-26
<https://doi.org/10.22696/jkiaeb.20210002>

pISSN : 1976-6483
eISSN : 2586-0666

Received: December 10, 2020

Revised: January 4, 2021

Accepted: January 5, 2021

© 2021 Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

연구의 목적

미세먼지는 인간의 건강을 위협하는 물질로 인체가 흡입하였을 경우 장·단기적으로 다양한 질병을 유발할 수 있는 것으로 알려져 있다(WHO, 2005). 또한, 건축물의 실내에서는 재실자의 활동, 장비의 가동, 연소 또는 외부로부터의 유입 등과 같은 내외부적 요인으로 발생하는 것으로 알려져 있다(Chen and Zhao, 2011). 따라서, 실내에 존재하는 미세먼지의 특징을 파악하고, 이를 효과적으로 제거할 수 있는 방법을 마련하는 것은 재실자의 건강성 증진을 위해 중요한 사항이다. 특히, 컴퓨터를 사용하는 전산실은 많은 기자재의 운용과, 컴퓨터 팬 등의 가동으로 실내 미세먼지의 농도가 일반적인 실에 비해 높을 것으로 예상된다. 이에 본 연구에서는 일개 대학 내 전산실의 미세먼지의 농도를 측정하고 일반실의 농도와 비교하여, 전산실 내 미세먼지에 대한 관리의 필요성 여부에 대하여 검토해 보고자 한다.

연구의 목표 및 범위

본 연구에서는 일개 대학 캠퍼스의 전산실 내 미세먼지 농도를 측정하고 이의 특징을 파악하는 것을 목표로 한다. 일반 강의실과의 비교 및 높이 별 미세먼지 농도 차이를 분석하여 전산실의 미세먼지 관리 측면에서 유의할 만한 사항이 있는 지를 확인하는 것을 본 연구의 목표로 한다. 세부적인 연구의 범위는 아래와 같다.

- ① 일반 강의실과 전산실의 미세먼지 농도 실측 및 비교
- ② 일반 강의실과 전산실의 미세먼지 I/O ratio 분석
- ③ 컴퓨터 가동 전·후 전산실 높이별 미세먼지 농도 분석

미세먼지 측정 대상실 개요

미세먼지 측정 대상실

본 연구에서는 경남 진주시의 G 대학 내 공대 건축물에 위치한 일반 강의실과 전산실을 실측 대상으로 하였다. 2020년 COVID-19의 대 유행으로 인한 비대면 강의 시행으로 재실자는 없는 조건이었다. 강의실과 전산실은 동일한 외피 유형의 인접 실이며, 양 실 모두 편측창이 전면으로 설치되어 있다. 창문은 밀폐되어 침기만을 허용하였고, 실내 냉난방기는 가동되지 않은 조건이다. 또한, 실험 조건에 따라 실내의 컴퓨터 가동 유무를 달리하였다.

연구의 방법

미세먼지 측정 방법

전산실의 미세먼지 특징을 파악하기 위한 실측개요는 아래와 같다. 실측 1(Test 1)은 일반 강의실과 전산실의 미세먼지 농도와 그 특징을 비교분석하기 위하여 수행되었으며, 실측 2(Test 2)는 전산실 내에서 컴퓨터 가동 유무에 따라 실 높이별 미세먼지 농도 특징이 어떻게 변화하는지를 검토하기 위해 수행하였다. 실측 1은 전산실의 컴퓨터 가동유무를 달리하여 각 2회 씩 측정하였으며, 실측 3은 컴퓨터 미가동, 가동조건을 각각 1시간 씩 연속적으로 측정하여 총 3회 측정하였다. Test 1-A-1과 Test 1-A-2는 컴퓨터 가동조건을 달리한 실험 조건이며, Test 1-A, Test 1-B는 이러한 동일 조건으로 2회 측정된 것을 의미한다. Test 2-C, Test 2-D, Test 2-E 은 컴퓨터를 미가동 상태에서 가동상태로 바꾸어 측정한 실험의 반복측정을 의미한다. 기본적인 측정은 1시간 동안 매 20분 간격으로 측정을 하였으며, 이후 시간 평균치를 분석에 활용하였다. 20분마다 수행된 미세먼지 측정은 제시된, 측정 지점에서 1분간 시행하였다. 측정 동안 창문과 문은 닫아 놓은 상태였으며, 측정 기간동안 재실자는 없었다. 일반실과 전산실의 농도비교를 위한 미세먼지 측정 높이는 1.2 m 로 하였으며, 전산실 내 컴퓨터 가동 유무에 따른 높이별 미세먼지 농도 분포 측정을 위해서는 바닥면에서 0.5 m, 1.0 m(의자 착석 시 호흡선), 1.5 m(기립 시 호흡선) 높이에서 측정을 수행하였다. Test 2에서는 전산실 복도측과, 창측에 설치된 컴퓨터 중앙지점에서 측정했는데, 컴퓨터로부터 발생하는 미세먼지의 영

향을 반영하는 동시에 창 측으로부터 유입되는 외기의 영향 유무를 판단하기 위함이다. 창측 으로부터의 또한 외기의 미세먼지 농도를 매 20분마다 동시에 측정하였다. 세부적인 측정 조 건은 Table 1에 제시되어 있다. Figure 1~2는 측정 대상 실의 이미지이다. 전산실 컴퓨터는 책 상 아래에 위치해 있으며, Test 2의 0.5 m 높이의 측정점에 근접해 있다.

Table 1. Outline of fine particulate matter measurements

Categories	Test 1				Test 2		
	Test 1-A		Test 1-B		Test 2-C	Test 2-D	Test 2-E
	Test 1-A-1	Test 1-A-2	Test 1-B-1	Test 1-B-2			
Computer status (Computer room)	Off	On	Off	On	off → on	off → on	off → on
Total measuring time	1 hr	1 hr	1 hr	1 hr	1 hr → 1 hr	1 hr → 1 hr	1 hr → 1 hr
Measuring interval	20 minutes						
Measuring location	Center of room				left and right side of room center (locations where computers are installed)		
Measuring height	1.2 m				0.5 m, 1.0 m, 1.5 m		
Measuring place	Class room/Computer room/ Outdoor				Computer room/ Outdoor		
Occupants	Absent		Absent		Absent	Absent	Absent
Date	27 th Apr	28 th Apr	20 th Jul		14 th Sep	24 th Oct	15 th Nov

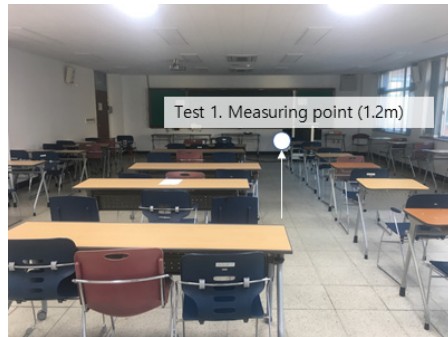


Figure 1. Image of class room

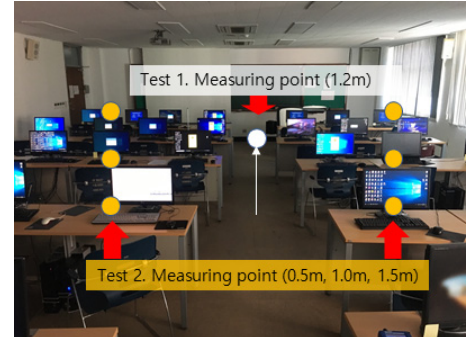


Figure 2. Image of computer room

미세먼지 측정 장비

대상 실의 미세먼지는 TSI 9306을 이용하여 측정되었다. 측정 전 캘리브레이션을 수행하여, 기 기 내 미세먼지를 제거한 후 측정을 시행하였다. Figure 3은 측정장비의 이미지를 도시하고 있다.



Figure 3. Measuring device for fine particulate matter (TSI 9306)

I/O ratio 분석 방법

실외 미세먼지 농도와 실내 미세먼지 농도의 변화 패턴을 분석하기 위해서 I/O ratio를 분석하였다. I/O ratio는 실외 미세먼지 농도 대비 실내 미세먼지 농도의 비를 산출되며, 식 (1)과 같이 표현된다. 본 연구에서는 입경별 미세먼지 농도의 I/O ratio와, 전체 미세먼지 농도에 대한 I/O ratio를 각각 산정하였다. 이를 통하여, 일반 강의실과 전산실 내 미세먼지의 입경별 농도 분포 차이를 파악하였으며, 이를 통하여 전산실 내부의 미세먼지 발생 특성 및 미세먼지 관리 포인트를 판단하고자 하였다.

$$I/O\ ratio = \frac{C_i}{C_o} \quad (1)$$

C_o : 실내 미세먼지 농도

C_i : 실외 미세먼지 농도

미세먼지 측정 결과 및 분석

실측 1. 일반 강의실과 전산실의 미세먼지 농도 비교 측정 결과

Table 2는 각 조건 별 미세먼지 농도의 1시간 평균치이며, 20분 간격으로 측정한 미세먼지 농도 값을 평균하여 도출된 값이다. 실외의 미세먼지 농도는 $5.0\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ 에서 높게 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 실내에서는 이러한 편차가 다소 완화되어 나타났다. 또한, 전반적으로 전산실의 미세먼지 농도가 일반 강의실에 비해 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. Table 3에서는 양 실의 I/O ratio를 산출하여 제시하고 있다.

실내의 미세먼지 농도는 실내 발생량과 외부로부터의 유입량으로 결정된다고 볼 수 있다. 즉, I/O ratio가 1보다 크다는 의미는 실내에서의 미세먼지 발생량이 많거나 또는 실내에 정체가 되어 있는 미세먼지의 농도가 높다는 것을 의미한다. Table 3에 따르면, 전산실 미세먼지의 입경이 $0.3\mu\text{m}\sim 3.0\mu\text{m}$ 인 범위에서 I/O ratio가 1보다 크게 나타난 것을 확인할 수 있다. 반면, 일반 강의실에서는 이 영역의 미세먼지 I/O ratio가 대부분 1보다 작은 경향을 보인다.

기존 연구에 따르면 실내의 오염물질 발생원이 없는 경우 I/O ratio는 1보다 낮은 경향을 보이는 것으로 언급하고 있다(백지민 외, 2015). 이는 외부의 높은 미세먼지 농도가 실내에 영향을 주는 것을 의미한다. 일반 강의실의 경우 1개 케이스(Test 1-B-2)를 제외하고는 $0.3\mu\text{m}\sim 3.0\mu\text{m}$ 의 입경을 가진 미세먼지의 I/O ratio가 1보다 낮게 나타났다. 이는 일반강의실에서는 외기의 미세먼지가 실내로 유입되고 있다는 것을 의미한다. 한편, 전산실에서 $0.3\mu\text{m}\sim 3.0\mu\text{m}$ 의 입경을 가진 미세먼지 I/O ratio가 1보다 높게 나타나는 것은 이는 해당 입경의 미세먼지 농도가 외부보다 높음을 의미한다. 즉, 전산실 역시 외기 속 미세먼지 농도의 영향을 받지만, $0.3\mu\text{m}\sim 3.0\mu\text{m}$ 입경 영역에서는 또 다른 미세먼지 발생원이 있다고 보는 것이 타당하다. 특히, 전산실의 경우 컴퓨터를 가동하지 않는 조건에서도 전산실 내 $0.3\mu\text{m}\sim 3.0\mu\text{m}$ 입경의 미세먼지 I/O ratio가 높게 나타났는데 이는 실내에 별도의 미세먼지 발생원이 있거나, 또는 해당 입경의 미세먼지가 정체 되어 있음을 의미한다. 그러나, 전체 측정 중에 실내에 재실

자가 존재하지 않았기 때문에 인체 활동으로 부터의 미세먼지 발생은 존재하였다고 보기 어렵다. 실내에 밀집한 컴퓨터의 배치로 인해 실내의 기류가 원활하게 형성되지 못하고, 다양한 장치들에 미세먼지가 앉을 수 있는 전산실의 환경적인 특징이 이러한 결과의 원인이 될 수 있는 가능성이 있다.

한편, 컴퓨터를 가동 유무 별 측정결과에 따르면 Test 1에서는 컴퓨터를 가동한 이후 전산실 미세먼지의 I/O ratio에서 다소 증가하는 것처럼 나타났지만, 실제 농도의 절대치에서 유의미한 증가를 보이지 않았다. 따라서 컴퓨터의 가동 여부는 컴퓨터 가동 후 1 시간 동안 1.2 m 높이의 실내 미세먼지 농도에는 큰 영향을 주지 않은 것으로 판단된다.

Table 2. Concentrations of fine particulate matter of class room and computer room (scale: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Particle Size	Test 1-A						Test 1-B					
	Test 1-A-1			Test 1-A-2			Test 1-B-1			Test 1-B-2		
	computer room	class room	outdoor	computer room	class room	outdoor	computer room	class room	outdoor	computer room	class room	outdoor
0.3 μm	6.0	3.0	5.3	6.5	3.0	5.5	7.3	3.8	6.0	7.3	4.0	3.8
0.5 μm	5.8	1.0	3.0	6.0	2.0	3.0	6.0	2.0	3.0	6.0	2.0	2.0
1.0 μm	6.5	2.0	4.8	6.3	2.0	3.5	8.3	4.5	8.3	7.0	3.0	6.0
3.0 μm	7.0	1.3	6.3	6.5	1.5	4.0	6.8	1.8	7.0	6.3	2.0	5.0
5.0 μm	11.3	4.8	24.5	11.0	5.3	11.8	8.5	4.0	14.5	8.3	2.3	12.3
10.0 μm	10.8	3.0	22.0	9.5	2.5	8.0	7.3	3.3	8.8	7.0	3.5	7.8
Computer	Off	Off	-	On	Off	-	Off	Off	-	On	Off	-
Date	27 th Apr			28 th Apr			20 th Jul					

Table 3. I/O ratios of class room and computer room

Particle Size	I/O ratio							
	Test 1-A				Test 1-B			
	Test 1-A-1		Test 1-A-2		Test 1-B-1		Test 1-B-2	
	Computer off		Computer on		Computer off		Computer on	
computer room	class room	computer room	class room	computer room	class room	computer room	class room	
0.3 μm	1.1	0.6	1.2	0.5	1.2	0.6	1.9	1.1
0.5 μm	1.9	0.3	2.0	0.7	2.0	0.7	3.0	1.0
1.0 μm	1.4	0.4	1.8	0.6	1.0	0.5	1.2	0.5
3.0 μm	1.1	0.2	1.6	0.4	1.0	0.3	1.3	0.4
5.0 μm	0.5	0.2	0.9	0.4	0.6	0.3	0.7	0.2
10.0 μm	0.5	0.1	1.2	0.3	0.8	0.4	0.9	0.5
Total	0.3	0.2	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5
Computer	Off	Off	On	Off	Off	Off	On	Off
Date	27 th Apr		28 th Apr		20 th Jul			

실측 2. 전산실 내 컴퓨터 가동 유무에 따른 높이별 미세먼지 농도 변화

Table 4와 Figure 4에서는 전산실 내에서 컴퓨터 가동유무에 따라 측정 높이별 미세먼지의 농도가 어떻게 변화하는지를 보여주고 있다. Table 4에 나타난 수치는 $0.3\ \mu\text{m}\sim 10.0\ \mu\text{m}$ 입경 미세먼지의 총량이다. 미세먼지 측정 결과 컴퓨터 가동유무와 무관하게 측정 지점 중 가장 하단인 50 cm 높이의 미세먼지의 양이 높게 측정되었다. 이는 중력에 의해 실의 하단부에 미세먼지들이 가라앉기 때문으로 추정된다. 또한, 바닥면과 가까울수록 바닥면의 미세먼지가 대류에 의해 부유할 가능성도 배제할 수 없다. 그러나, Test 1과 유사하게 컴퓨터를 가동한 이후 1시간 동안 실내 미세먼지 농도 분포가 크게 변화하는 양상을 확인하기는 어려웠다. 컴퓨터는 책상 하단인 0.5 m 측정점 인근에 위치하여, 컴퓨터 가동 후 컴퓨터 내외부의 공기유동을 촉진하여, 0.5m 높이의 미세먼지 농도를 중심으로 실내 미세먼지 농도가 증가하거나, 상하부의 농도 분포가 변화할 것을 예측하였으나, 이러한 경향은 실측을 통하여 확인하기 어려웠다. 또한, 창측과 복도측 측정점 사이에 유의할만하게 일관된 경향은 확인하기 어려웠다.

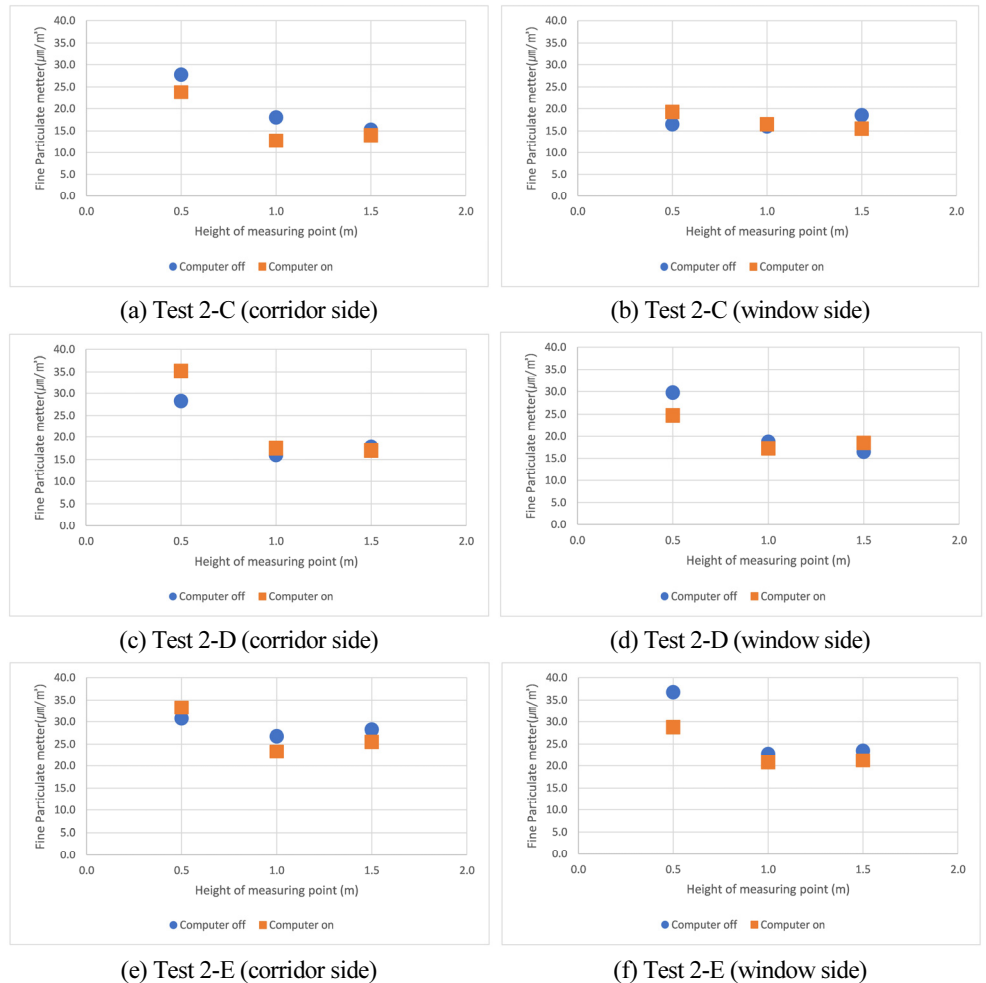


Figure 4. Averaged concentration of particulate matter

Table 4. Concentrations of fine particulate matter of class room at different heights (scale: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Test no.	Measuring location	Height of measuring point	Concentration of total particulate matter		Increase	Date
			Computer off	Computer on		
Test 2-C	Corridor side	1.5	15.3	14.0	-0.1	14 th Sep
		1.0	18.0	12.8	-0.3	
		0.5	27.8	23.8	-0.1	
	Window side	1.5	18.5	15.5	-0.2	
		1.0	16.0	16.5	0.0	
		0.5	16.5	19.3	0.2	
Test 2-D	Corridor side	1.5	17.8	17.0	0.0	24 th Oct
		1.0	16.0	17.5	0.1	
		0.5	28.3	35.3	0.2	
	Window side	1.5	16.5	18.5	0.1	
		1.0	18.8	17.3	-0.1	
		0.5	29.8	24.8	-0.2	
Test 2-E	Corridor side	1.5	28.3	25.5	-0.1	15 th Nov
		1.0	26.8	23.3	-0.1	
		0.5	30.8	33.3	0.1	
	Window side	1.5	23.5	21.3	-0.1	
		1.0	22.8	20.8	-0.1	
		0.5	36.8	28.8	-0.2	

논 의

실측 1과 실측 2를 통하여, 전산실은 일반 강의실에 비해 $0.3 \mu\text{m}$ ~ $3.0 \mu\text{m}$ 의 입경의 작은 미세먼지의 농도가 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한 전산실에서는 이 입경 범위에서 I/O ratio 가 1 이상으로 나타나 내부적 발생을 추정할 수 있다. 기존 연구에서는 직경이 작은 미세먼지가 외기 속 미세먼지의 영향을 많이 받는다고 언급하고 있다(방종일 외, 2018), 전산실에서는 이러한 외부적 요인에 더해 내부적 발생이 추가적으로 추정되기 때문에 입경이 작은 미세먼지의 관리에 보다 더 신경 쓸 필요가 있다고 판단된다.

또한, 전산실의 미세먼지 농도 분포 상 실 하단의 미세먼지 농도가 높게 나타나는 것을 확인하였다. 만약 재실자에 의해 실내 활동이 활발하게 이루어지고 공조기가 가동되는 상황에서는 하단의 미세먼지가 상단으로 이동하여 재실자의 호흡기 부분의 미세먼지 농도를 증가시킬 우려가 존재한다.

이러한 측정 결과는 캠퍼스 전산실 내 미세먼지의 관리를 일반 강의실에 비해 엄격하게 수행해야 하는 근거를 제공한다고 판단된다. 특히, 입자가 작은 미세먼지의 양이 일반 강의실에 비해 높아, 이를 제거하기 위한 적절한 설비적 조치가 필요할 것으로 판단된다. 일반적으로 간헐적으로 이용되는 캠퍼스 건물에는 기계환기 장치를 활용하지 않는 개별공조 시스템 등이 이용되기 때문에 실내 미세먼지를 제거할 수 있는 공기청정기 등의 설비를 별도 설치하는 것이 권장될 것이다.

결론

본 연구에서는 일개 대학의 전산실의 미세먼지 농도 특징을 비재실 조건의 상태에서의 실 측치를 바탕으로 분석하였다. 그 결과로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 0.3 μm ~3.0 μm 입경의 미세먼지의 I/O ratio는 일반강의 실에서는 대체적으로 1 이하의 값을 나타낸 반면 전산실에서는 1보다 높게 나타나는 것을 확인하였다. 이는 전산실의 내부적 원인으로 0.3 μm ~3.0 μm 입경의 미세먼지가 일반 강의실에 비해 높게 나타나는 것으로 이를 통해 전산실에서 해당 입경의 미세먼지를 제어할 필요성을 확인하였다.
- (2) 전산실 내 높이 별 미세먼지 측정 결과, 바닥면에서 50cm 높이의 하단부의 농도가 상단부(100 cm, 150 cm) 높이의 농도보다 높게 나타났다. 이러한 양상은 재실시 호흡선의 미세먼지 농도를 증가시킬 수 있는 원인이 될 수 있기 때문에, 실 하단부의 미세먼지 제거를 위한 건축·설비적 방안의 마련이 필요할 것으로 판단된다.

대학내 일개 전산실을 대상으로 한 본 연구결과를 바탕으로 할 때 전산실이 일반 강의실에 비해 3.0 μm 이하 크기의 미세먼지 관리에 취약한 양상을 보여 대책 마련이 필요할 것으로 판단된다. 특히, 입자가 작은 미세먼지의 경우 인체에 대한 유해성이 더 높기 때문에 주의하여야 한다. 또한, 결과적으로 실 하부 높이의 미세먼지 농도 관리 방안 역시 호흡선 높이의 미세먼지 농도 관리 방안과 함께 마련되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 더 많은 전산실을 대상으로 추가적인 실측을 수행하여, 본 연구 결과의 일반화 가능성에 대한 검토를 수행해야 할 것으로 판단된다.

후기

이 논문은 2020년도 경남과학기술대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

1. Back, J.M., Yee, S.W., Lee, B.H., Kang, D.H., Yeo, M.S., Kim, K.W. (2015). A Study on the Relationship between the Indoor and Outdoor Particulate Matter Concentration by Infiltration in the Winter. *Journal of the Architectural Institute of Korea - Planning & Design*, 31(9), 137-144.
2. Bang, J.I., Jo, S.M., Sung, M.K. (2018). Analysis of Infiltration of Outdoor Particulate Matter into Apartment Buildings. *Journal of the Architectural Institute of Korea-Structure & Construction*, 34(1), 61-68.
3. Chen, C., Zhao, B. (2011). Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor. *Atmospheric Environment*, 45(2), 275-288.
4. World Health Organization (WHO). (2005). *Air Quality Guideline*.