

일부 실내공간에서 PM₁₀과 CO₂의 농도 특성에 관한 연구

정준식¹, 박덕신^{2*}, 김종범³, 송혜숙⁴, 박형규¹

¹국립환경과학원 생활환경연구과, ²한국철도기술연구원, ³고려대학교 그린스쿨, ⁴광주여자대학교 보건행정학과

A Study on the PM₁₀ and CO₂ Concentrations at Public Places

Joon-sig Jung¹, Duckshin Park^{2*}, Jong bum Kim³, Hyea-suk Song⁴, Hyung-kyu Park¹

¹Indoor air and noise Research division, National Institute of Environmental Research,

²Korea Railroad Research Institute,

³GREEN SCHOOL(Graduate school of Energy and Environment), Korea university,

⁴Health administration, Kwangju Women's University

요약 본 연구에서는 2008년 8월부터 2012년 12월 까지 경기도 수원, 안산, 화성 등 초등학교 286곳을 대상으로 교실에서의 PM₁₀ 및 CO₂ 농도 현황을 조사하고, 환경적 특성을 파악하여 초등학교 학생들의 건강에 영향을 미치는 학교 실내공기질의 관리 방안으로 활용하고자 한다. 초등학교를 지역별로 구분하여 PM₁₀ 농도를 조사한 결과, 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 지리적 특성에 따라 상대적으로 공단지역에서는 높은 농도를 보였으며, 농촌지역에서는 낮은 농도를 보였다. CO₂ 농도는 각 지역 간 농도 차이는 없는 것으로 나타났다. 연도별 PM₁₀ 농도를 분석한 결과, 수원은 2008년, 화성은 2009년에 가장 높은 농도로 나타났다(p<0.01). 안산지역은 2009년에 가장 높은 농도를 보였으나, 유의한 차이를 보이지 않았다. 각 지역의 연도별 CO₂의 농도를 분석한 결과, 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 분석 되었다(p-value = 0.366, 0.730, 0.210). 2008년 가을부터 2012년 겨울까지 PM₁₀과 CO₂의 계절별 시계열 분석 결과, PM₁₀의 경우는 2009년에 높게 나타났으며, 점차적으로 감소하는 경향을 보이다가 2012년에 다시 높아지는 경향을 보였다. CO₂는 연도별로 차이가 없는 것으로 나타났으나, 계절별로는 봄과 겨울기간이 여름철보다 농도가 높아지는 경향을 나타내었다. PM₁₀과 CO₂, 건축년도, 학급 평균 인원, 온도, 습도와와의 상관성을 분석한 결과, CO₂와 환경적 요인인 온도, 습도와 상관성은 각 -0.329, -0.188로 유의한 음의 상관성을 보였다(p< 0.01)

Abstract The objective of this study was to investigate PM₁₀ and CO₂ concentrations in the classrooms of 286 elementary schools in Suwon, Ansan, and Hwaseong in the province of Gyeonggi between August 2008 and December 2012. By gaining an understanding of the environmental factors that influence these concentrations, this study also aimed to establish a management plan for indoor air quality in schools, which substantially affects the health of elementary students. When the schools were classified by region, no statistically significant difference in PM₁₀ concentration was observed. However, PM₁₀ concentration was relatively high in industrial areas and low in rural areas. No difference in CO₂ concentration was observed among the surveyed cities. Analysis of annual PM₁₀ concentration showed that the highest values for Suwon and Hwaseong occurred in 2008 and 2009, respectively (p<0.01). In the case of Ansan, the highest concentration occurred during 2009, but the difference was not significant compared to the other years. Analysis of the annual CO₂ concentration of each city shows no significant difference among the cities (p-value=0.366,0.730,0.210). According to a time series analysis of PM₁₀ and CO₂ by season, from autumn 2008 to winter 2012, PM₁₀ concentration was high during 2009, then it gradually decreased until 2012, and started to increase again. While no difference in annual CO₂ concentration was observed, the concentration had a tendency to be higher in spring and winter than in summer. By analyzing the relationship between PM₁₀ and CO₂ and the environmental factors (years of construction, average students of classroom, temperature, and humidity), it showed a significant negative correlation was found between CO₂ and the environmental temperature and humidity, at -0.329 and -0.188, respectively (p<0.01).

Key Words : Elementary School, PM₁₀, CO₂, Indoor Air Quality(IAQ)

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Duckshin Park(Korea Railroad Research Institute)

Tel: +82-31-460-5367 email: dspark@krti.re.kr

Received March 23, 2015

Revised (1st April 23, 2015, 2nd May 20, 2015)

Accepted June 11, 2015

Published June 30, 2015

1. 서론

우리나라에는 전국에 11,000여개의 초·중·고등학교가 있으며, 이곳에 재학 중인 학생만도 약 850만 명에 이르고 있다[1]. 학생들은 신체와 정신의 성장발육이 왕성한 시기이며 질병이나 외부자극에 대한 저항력이 아직 미숙한 상태에 있으므로 환경에 따른 건강영향적인 측면을 고려하면 보건학적으로 매우 중요한 인구집단이다. 그러나 현재 우리나라는 전통적으로 교육을 중요시하는 풍습으로 인해 교육수준의 향상은 비약적으로 이루어졌지만 상대적으로 제도나 환경 여건은 미흡한 실정이다[2].

학교는 성장기에 있는 학생들이 생활하는 공간이며, 학생 및 교직원이 하루의 대부분을 보내는 장소이다. 국내 10대 연령 학생집단의 39.6%가 학교 및 학원 등의 실내공간에서 대부분을 보내는 것으로 나타내었다[3]. 학교 시설의 경우 60~70 m² 넓이의 교실당 30명 이상의 학생들이 수업 및 방과 후 자율학습 등으로 하루 중 5시간에서 많게는 10시간 이상을 한정된 공간에서 공동생활을 하고 있기 때문에, 교실내의 환기가 제대로 되지 않을 경우 혼탁해진 공기로 인해 학습 능률 저하를 가져올 수 있다. 학교 실내공기질의 중요성과 학생들의 건강영향에 관한 연구는 국외에서 활발한 연구가 수행되고 있다. 학교 교실에서 이산화탄소(CO₂) 농도가 증가함에 따라 학생들의 결석률이 증가 하였으며[4], 실내 공기오염물질이 학생들에게 감각 기능에 영향이 있음을 제시하였다[5]. 또한 학교 실내오염물질들로 인해 천식 등의 호흡기 질환을 야기할 수 있다고 하였다[6]. 따라서 미국 환경보건청(US Environmental Protection Agency, EPA)에서는 학교 실내환경 관리를 중요한 요인으로 판단하고, 행정 규제도 엄격히 적용하고 있다 [7].

반면 국내의 경우 학교 교실 내 환경위생에 관한 규제는 1967년 교육부 “학교의 시설기준”에서 도서실 및 야간학교의 조도를 규정한 것을 시작으로 1997년에 이르러 “고교 이하 각 급 학교의 설립 운영에 관한 규정”의 개정으로 조도, 온습도, 소음 등을 규정하게 되었으며, 2002년 “학교 보건법 시행규칙”에 CO₂와 미세먼지(PM₁₀)기준이 추가로 제시되었다. 2005년 학교보건법의 시행규칙에서 PM₁₀, CO₂, 포름알데하이드(HCHO), 총휘발성유기화합물(TVOCs), 총부유세균(Bioaerosol),

일산화탄소(CO), 이산화질소(NO₂), 라돈(Rn), 오존(O₃), 진드기(Dust mite), 석면(Asbestos) 등 12개의 유해물질에 대한 기준이 마련되어 2006년부터 시행되고 있다 [8]. 이러한 유해물질은 학생들에게 폐 기능 감소, 천식 등을 유발할 수 있으며, 급성기관지염과 폐렴으로 병원 입원률을 증가시키기도 한다[9,10,11].

경기도 수원시, 안산시, 화성시는 산업시설 및 제조업 공단이 밀집되어 있어 외부 환경에 의하여 초등학교 교실의 실내공기가 간접적으로 영향을 받을 수 있는 지역이다. 따라서 본 연구는 경기도 지역 초등학교의 PM₁₀와 CO₂ 현황을 조사하여 연도별, 계절별, 지역별 차이를 비교하고, PM₁₀와 CO₂의 환경적 특성을 파악하여 효율적인 학교 실내공기질 관리 방안으로 활용하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 연구대상

본 연구는 초등학교 교실의 PM₁₀과 CO₂ 특성을 파악하기 위하여 수원시, 안산시, 화성시 지역 초등학교 286곳을 조사하였다(Fig. 1). 조사학교는 건축기간을 감안하지 않고 무작위로 선정하였으며, 측정시각은 학생들이 수업을 하고 있는 시간에 진행하였다. 측정기간은 2008년 8월에서 2012년 12월 까지 진행하였으며, 측정지점은 수업을 하고 있는 일반교실 2곳과 특별교실 1곳을 선정하여 공기질을 측정하였다.

2.2 측정방법

PM₁₀과 CO₂ 농도는 교육과학기술부의 “학교 교사 내 환경위생 관리 매뉴얼의 교사 안에서의 공기질 등 방법” 근거하여 측정 및 분석하였다. 조사 시 실내 온도와 습도는 해당 조사지점의 실제 운영조건과 동일한 상태에서 인위적인 조작 없이 실시하였다. 조사 위치는 오염물질 발생원의 분포 및 실내기류 등을 고려하여 주변 시설 등에 의한 영향과 부착물 등에 의한 측정 장애가 없고, 대상 시설의 오염도를 대표할 수 있다고 판단되는 곳을 선정하였다. 측정지점은 창문과 출입문으로부터 1m 이상 떨어진 곳으로 하였으며, 학생들이 앉았을 때의 호흡기 위치와 비슷한 1.2~1.5 m 위치에서 조사를 실시하였다.

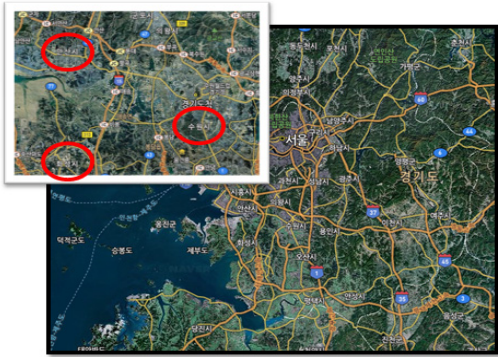


Fig. 1. Survey locations of elementary school.

2.3 분석 및 통계방법

PM₁₀ 측정기는 광산란 방식의 AM510(TSI Inc., USA) 이용하여 주간시간대 15분씩 2회 10 μm의 입자를 포집하였다. CO₂는 비분산 적외선방식(NDIR)의 TSI-7545(TSI Inc., USA)를 이용하여 30분간 1회 측정하였으며, 측정이 끝난 후 주컴퓨터로 자료를 옮긴 후 분석을 실시하였다.

통계적 분석 방법은 SPSS package (SPSS Inc., USA, Version 12.0)를 이용하여 각 지역 및 학교의 실내공기질 수준은 각 농도값의 빈도와 노출 특성을 파악하기 위하여 산술평균과 최대 및 최소값, 기하평균, 중위수의 기술통계 값을 산출하였다. 각 지점의 비교는 ANOVA(분산분석)를 실시하였으며, 각 측정간의 비교는 t-test를 이용하여 사용하였다.

3. 결과

3.1 지역별 PM₁₀와 CO₂ 비교

Table 1은 수원, 안산, 화성지역 초등학교의 PM₁₀, CO₂를 나타낸 것이다. PM₁₀은 안산지역의 초등학교가 57.9±52.3 μg/m³(GM: 53.0 μg/m³)으로 가장 높았으며, 수원지역은 57.6±50.7 μg/m³(GM: 51.7 μg/m³), 화성지역이 57.0±46.3 μg/m³(GM: 52.1 μg/m³)으로 나타내었다. 일부 초등학교의 경우 학교보건법 PM₁₀ 기준 농도인 100 μg/m³을 초과한 것으로 나타났으나, 전체적으로 기준 이하의 농도 수준을 보였다. 지역에 따른 PM₁₀의 농도를 분석한 결과, 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(p=0.458).

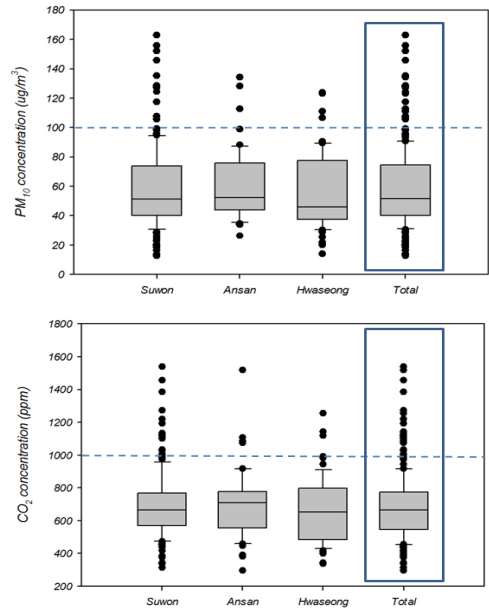


Fig. 2. Distribution of PM₁₀ and CO₂ concentrations at elementary school(solid lines are standard)

CO₂ 농도는 수원지역이 748.6±698.7 ppm(GM: 712.7 ppm)으로 가장 높았고 안산이 725.1±712.0 ppm(GM: 694.7 ppm), 화성지역이 682.6±660.0 ppm(GM: 646.9 ppm)으로 가장 낮은 농도를 보였으나, 각 지역 간 농도 차이는 없는 것으로 나타났다(p=721). Fig. 2에서 CO₂의 경우도 일부 학교에서 학교보건법 기준 농도인 1,000 ppm을 초과한 곳도 일부 있는 것으로 나타났다.

3.2 연도별 PM₁₀과 CO₂ 농도의 비교

Table 2는 연도별 PM₁₀ 농도를 분석한 결과를 나타낸 것이다. 수원지역은 2008년에 가장 높은 농도인 79.0±34.3 μg/m³(GM: 72.8 μg/m³)으로 나타났으며 (p<0.01), 안산지역은 2009년에 67.0±30.8 μg/m³(GM: 61.3 μg/m³)으로 가장 높은 농도를 보였으나 유의한 차이를 보이지는 않았다. 그러나 화성지역은 2009년 75.4±27.4 μg/m³(GM: 70.7 μg/m³)으로 유의한 차이를 나타내었다(p<0.01).

연도별 CO₂ 농도를 분석한 결과(Table 3), 수원지역은 2009년 729.6±265.0 ppm(GM: 689.0 ppm)에 가장 높은 농도를 보였으며, 안산지역은 2008년도에

730.3±105.3 ppm(GM: 722.8 ppm), 화성지역은 2009년에 736.7±281.4 ppm(GM: 683.4 ppm)으로 가장 높은 수준을 나타내었다. 각 지역의 연도별 CO₂의 농도를 분석한 결과, 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 분석되었다(p-value = 0.366, 0.730, 0.210).

3.3 계절별 PM₁₀과 CO₂ 농도 비교

Fig. 3과 Table 4는 2008년 가을부터 2012년 겨울까지 초등학교에서 측정된 PM₁₀과 CO₂ 농도의 계절별 시계열 분석 결과를 나타낸 것이다. PM₁₀은 2009년 4계절이 타 연도의 계절보다 높게 나타났으며, 점차적으로 감소하는 경향을 보이다가 2012년에 다시 높아지는 경향을 보였다. CO₂의 경우는 연도별로 뚜렷한 차이가 없

었으나, 계절별로는 봄과 겨울기간이 여름철보다 농도가 높아지는 뚜렷한 경향을 나타내었다. 수원지역 초등학교의 PM₁₀은 12월이 67.2±23.7 μg/m³으로 가장 높았으며, 5월은 48.6±20.0 μg/m³으로 가장 낮은 농도를 나타내었다. 안산지역은 12월에 85.7±17.7 μg/m³로 가장 높았으며, 11월에 49.0±13.6 μg/m³로 가장 낮은 농도를 나타내었다. 화성지역은 다른 지역과 다르게 10월에 68.1±31.9 μg/m³로 가장 높은 값을 보였으며, 9월에 가장 낮은 농도인 47.4±18.4 μg/m³가 나타내었다. 월별 PM₁₀ 농도를 분석한 결과, 수원과 화성지역의 PM₁₀ 농도는 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 안산 지역은 12월 PM₁₀ 농도가 타 월 보다 유의한 차이를 보였다(p<0.05).

Table 1. Comparison of PM₁₀ and CO₂ concentrations at elementary schools by cities.

Items	Area	N	Mean±SD ¹	Range ²	Median	GM ³	p-value
PM ₁₀ (μg/m ³)	Suwon	163	57.6± 50.7	11.7-163.0	27.9	51.7	0.458
	Ansan	53	57.9± 52.3	14.3-155.3	25.7	53.0	
	Hwaseong	70	57.0± 46.3	14.0-148.0	25.1	52.1	
	Total	286	57.5± 49.8	11.7-163.0	26.2	52.3	
CO ₂ (ppm)	Suwon	163	748.6± 698.7	315.0- 1,931.7	257.6	712.7	0.721
	Ansan	53	725.1± 712.0	296.3-1,569.7	223.1	694.7	
	Hwaseong	70	682.6± 660.0	87.7-1,528.3	220.9	646.9	
	Total	286	718.8± 690.2	87.7- 1,931.7	233.9	684.7	

¹SD: standard deviation, ²Range: minimum and maximum, ³GM: Geometric mean

Table 2. Concentrations of PM₁₀ in elementary schools during 2008~2012.

PM ₁₀ (μg/m ³)	Year	N	Mean±SD ¹	Range ²	Median	GM ³	p-value
Suwon	2008**	32	79.0±34.3	33.3-163.0	70.8	72.8	p<0.01
	2009	49	66.6±30.6	13.7-145.7	66.0	59.2	
	2010	27	36.5±7.2	19.7-44.7	39.7	35.7	
	2011	32	47.0±15.7	12.7-85.3	49.2	43.9	
	2012	23	57.3±19.6	28.3-95.0	55.3	54.2	
Ansan	2008	18	62.7±17.2	34.7-99.0	56.2	60.5	0.101
	2009	16	67.0±30.8	38.0-134.3	54.2	61.3	
	2010	3	41.7±6.4	37.0-49.0	39.0	41.4	
	2011	8	42.9±14.7	26.3-64.7	40.7	40.6	
	2012	8	62.2±24.3	37.3-112.7	52.9	58.6	
Hwaseong	2008	10	58.4±24.1	20.0-83.0	62.9	53.0	p<0.01
	2009**	19	75.4±27.4	37.7-124.0	67.0	70.7	
	2010	9	35.5±5.3	29.0-43.3	34.7	35.1	
	2011	13	39.0±16.1	14.0-77.0	38.5	35.9	
	2012	19	55.7±18.0	32.5-89.0	51.0	53.1	

¹SD: standard deviation, ²Range: minimum and maximum, ³GM: Geometric mean

Table 3. CO₂ concentrations at elementary schools during 2008~2012.

CO ₂ (ppm)	Year	N	Mean±SD ¹	Range ²	Median	GM ³	p-value
Suwon	2008	32	698.0±136.7	449.3-1,117.3	693.2	685.4	0.366
	2009	49	729.6±265.0	343.0-1,455.0	648.7	689.0	
	2010	27	642.0±138.6	386.3-984.7	636.7	627.3	
	2011	32	658.9±156.7	338.0-1,005.7	646.4	639.3	
	2012	23	713.2±259.0	315.0-1,539.0	678.0	672.9	
Ansan	2008	18	730.3±105.3	500.7-916.7	732.9	722.8	0.730
	2009	16	701.9±303.6	382.0-1,519.0	621.9	652.8	
	2010	3	638.3±216.4	391.0-792.7	731.3	609.7	
	2011	8	700.8±195.7	523.7-1,076.0	628.2	679.8	
	2012	8	611.4±156.0	296.3-728.3	705.2	588.9	
Hwaseong	2008	10	695.6±90.5	550.5-820.5	682.8	690.2	0.21
	2009	19	736.7±281.4	336.0-1,256.3	786.5	683.4	
	2010	9	566.1±104.7	440.7-718.0	545.0	557.7	
	2011	13	655.5±214.8	336.3-982.0	703.5	621.5	
	2012	19	616.8±155.5	343.5-898.3	602.0	597.8	

¹SD: standard deviation, ²Range: minimum and maximum, ³GM: Geometric mean

수원지역 초등학교의 CO₂ 농도는 11월이 828.9±284.4 ppm으로 가장 높은 수준을 보였으며 (p<0.05), 가장 낮은 농도를 보인 것은 6월로써 597.4±190.5 ppm을 나타내었다. 안산지역은 12월 804.1±72.3 ppm으로 통계적으로 유의하게 가장 높은 값을 나타내었고(p<0.05), 6월에 507.8±104.1 ppm으로 가장 낮은 농도를 나타내었다. 화성지역은 12월 790.0±138.6 ppm으로 타 월 보다 유의한 차이를 보였으며(p<0.01), 10월 453.6±74.7 ppm으로 가장 낮은 농도를 나타내었다. 3개 지역 모두 겨울에 해당하는 11월~12월의 CO₂의 농도가 통계적으로 유의하게 차이가 나는 것으로 분석되었다.

3.4 PM₁₀과 CO₂ 농도 요인의 일반적 특성 분석

PM₁₀과 CO₂, 건축년도, 학급 평균 인원, 온도, 습도와의 상관성을 분석한 결과는 Table 5, Fig. 4와 같다. CO₂와 환경적 요인인 온도, 습도와 상관성은 각 -0.329, -0.188로 유의한 음의 상관성을 보였으며(p< 0.01), CO₂는 온도가 높고 습도가 높을수록 감소하는 특성을 보인다는 것을 알 수 있다. 건축년도와 각 요인과의 상관성 결과를 분석한 결과, 유의한 영향을 미치는 요인은 학급 평균 인원으로 나타났다. 건축년도 높을수록 학급 평균 인원은 감소하는 경향을 보였다(p< 0.01). 건축년

도와 학급 평균 인원 에 따른 실내공기질 요인인 PM₁₀, CO₂, 온도, 습도의 상관성은 없는 것으로 조사되었다.

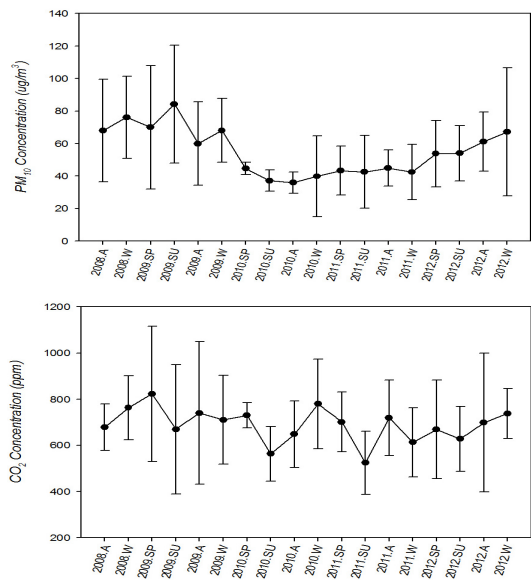


Fig 3. Time series analysis of PM₁₀ and CO₂ concentrations.
* SP: Spring, SU: Summer, A: Autumn, W: Winter

Table 4. PM₁₀ and CO₂ concentrations at elementary schools during April~December.

PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Month	N	Mean \pm SD ¹	Range ²	Median	GM ³	p-value
Suwon	4	12	62.1 \pm 35.3	28.3-128.7	45.0	54.6	0.407
	5	11	48.6 \pm 20.0	13.7-81.7	52.3	44.0	
	6	40	54.2 \pm 31.3	12.7-145.7	42.0	46.4	
	9	14	53.9 \pm 18.5	24.3-93.3	51.2	50.9	
	10	28	59.0 \pm 35.7	16.3-163.0	50.7	51.7	
	11	22	60.2 \pm 25.1	29.0-127.3	53.5	55.8	
	12	36	67.2 \pm 23.7	25.7-152.0	66.5	63.5	
Ansan	4	1	49.0	49.0	49.0	49.0	-
	5	2	62.8 \pm 36.1	37.3-88.3	62.8	57.4	-
	6	8	60.0 \pm 31.5	37.0-128.3	47.2	54.7	0.011
	9	5	55.9 \pm 5.3	52.0-64.7	53.7	55.8	
	10	12	62.3 \pm 28.4	26.3-134.3	55.7	57.2	
	11	18	49.0 \pm 13.6	26.3-76.3	48.8	47.3	
	12*	7	85.7 \pm 17.7	56.0-112.7	85.3	84.0	
Hwaseong	4	6	55.1 \pm 37.9	14.0-124.0	46.2	45.0	0.735
	5	4	66.8 \pm 18.8	45.5-83.3	69.3	64.7	
	6	24	53.8 \pm 22.6	21.7-123.0	45.8	50.0	
	9	9	47.4 \pm 18.4	20.0-73.7	38.0	44.0	
	10	7	68.1 \pm 31.9	29.0-111.0	83.0	60.9	
	11	12	55.2 \pm 22.2	29.3-90.5	44.8	51.4	
	12	8	55.6 \pm 29.8	25.5-106.7	47.5	48.9	

Table 4. Continued.

CO ₂ (ppm)	Month	N	Mean \pm SD ¹	Range ²	Median	GM ³	p-value
Suwon	4	12	789.7 \pm 248.3	451.3-1,219.7	777.7	754.3	0.001
	5	11	692.9 \pm 205.2	315.0-1,102.7	690.0	662.8	
	6	40	597.4 \pm 190.5	338.0-1,272.0	606.7	571.5	
	9	14	641.3 \pm 114.2	462.0-891.3	630.7	632.1	
	10	28	686.3 \pm 126.0	449.3-1,005.7	677.4	675.6	
	11**	22	828.9 \pm 284.4	477.7-1,539.0	735.4	791.5	
	12	36	707.8 \pm 179.5	453.3-1,134.0	707.5	686.8	
Ansan	4	1	792.7	792.7	792.7	792.7	-
	5	2	593.3 \pm 190.9	458.3-728.3	593.3	577.7	-
	6	8	507.8 \pm 104.1	382.0-713.0	507.4	498.9	0.017
	9	5	582.2 \pm 164.0	296.3-704.3	654.0	557.3	
	10	12	745.0 \pm 237.5	445.3-1,106.3	696.5	711.9	
	11	18	737.1 \pm 217.1	500.7-1,519.0	715.1	715.3	
	12**	7	804.1 \pm 72.3	711.0-916.7	814.7	801.3	
Hwaseong	4	6	752.7 \pm 270.1	442.5-1,256.3	714.7	717.1	0.004
	5	4	769.1 \pm 288.2	444.0-1,141.7	745.3	727.9	
	6	24	632.1 \pm 177.1	336.3-1,120.0	624.7	609.5	
	9	9	566.1 \pm 193.0	336.0-990.7	497.5	540.5	
	10	7	453.6 \pm 74.7	343.5-545.0	473.0	448.2	
	11	12	744.6 \pm 164.1	419.0-982.0	780.0	725.9	
	12**	8	790.0 \pm 138.6	518.0-945.0	826.9	777.9	

¹SD: standard deviation, ²Range: minimum and maximum, ³GM: Geometric mean

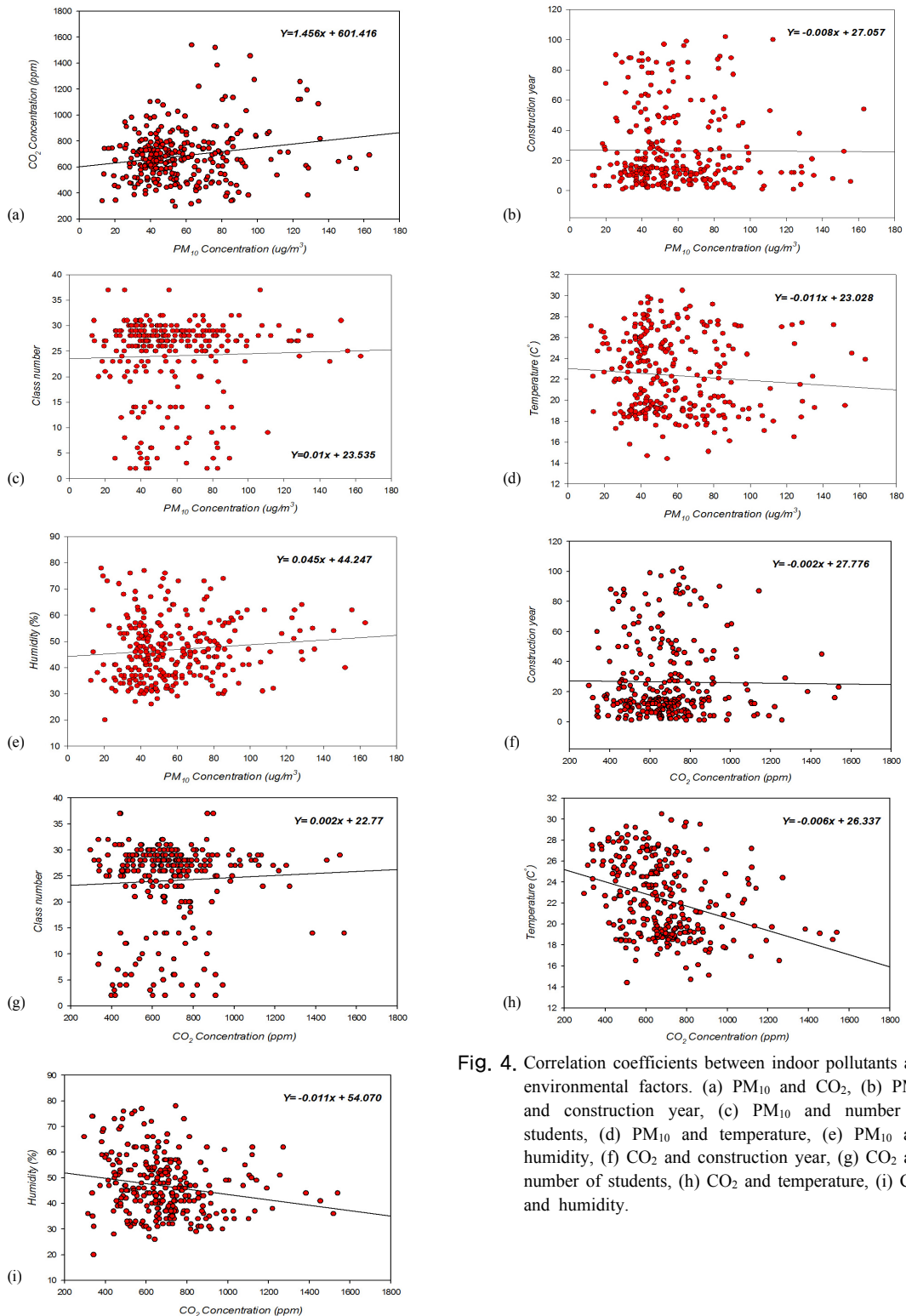


Fig. 4. Correlation coefficients between indoor pollutants and environmental factors. (a) PM₁₀ and CO₂, (b) PM₁₀ and construction year, (c) PM₁₀ and number of students, (d) PM₁₀ and temperature, (e) PM₁₀ and humidity, (f) CO₂ and construction year, (g) CO₂ and number of students, (h) CO₂ and temperature, (i) CO₂ and humidity.

Table 5. Results of the correlation of independent variables using regression analysis.

	PM ₁₀	CO ₂	Con. Year	Cla. Num	Tem.	Humidity
PM ₁₀	1	0.191**	-0.008	0.033	-0.085	0.106
CO ₂		1	-0.014	0.050	-0.329**	-0.188**
¹⁾ Con. Year			1	-0.494**	0.025	-0.002
²⁾ Cla. Num				1	0.033	-0.001
³⁾ Tem.					1	0.433**
⁴⁾ Humid.						1

- 1) Con. Year : Construction year
- 2) Cla. Num : Class Student Number
- 3) Tem. : Temperature(°C)
- 4) Humid. : Humidity(%)
- 5) * P-value <0.05, **P-value <0.01

4. 고찰

본 연구는 경기도 수원, 안산, 화성의 초등학교를 대상으로 실내공기오염물질인 미세먼지, 이산화탄소의 연도별, 월별, 지역별 농도 특성을 파악하고자 하였다. 또한 각 오염물질과 온도, 습도, 건축연도, 인원 등에 대한 상관성을 분석하여 초등학교 교실 내 실내공기질 관리 방안을 도출하고자 하였다.

PM₁₀은 안산지역의 초등학교가 57.9±52.3 µg/m³ (GM: 53.0 µg/m³)으로 가장 높은 수준을 보였으며, 수원 지역은 57.6±50.7 µg/m³(GM: 51.7 µg/m³), 화성지역이 57.0±46.3 µg/m³(GM: 52.1 µg/m³)으로 나타났다. 일부 초등학교의 경우 학교보건법 PM₁₀ 기준 농도인 100 µg/m³을 초과한 곳도 있는 것으로 나타났으나, 전체적으로 기준 이하의 농도 수준을 나타내었다. 이러한 이유는 학생들이 수업을 받고 있는 시간에 조사를 진행하였기 때문에 2차적으로 재비산되는 PM₁₀ 농도가 상대적으로 낮은 것으로 사료된다. 수업이 진행될수록 PM₁₀ 농도가 감소하는 특징을 보였는데, 이러한 사유는 쉬는 시간에 발생하는 재비산 분진의 영향이라 보고하였다[12]. 일부 학교를 조사한 결과에서는 81.4±11.5 µg/m³로 지역적인 조사결과에서는 학교보건법 기준을 넘지 않았음을 볼 수 있다[13]. 수도권 지역 초등학교 26곳에서 측정된 PM₁₀의 농도는 평균 49.6 µg/m³으로 본 연구결과와 유사한 경향을 나타내었다[14].

지역에 따른 PM₁₀의 농도를 분석한 결과, 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다(p=0.458). 그러나

선행연구에서 초등학교 주변의 대기오염물질인 PM₁₀과 PM_{2.5}은 주변에 도로가 인접해 있거나 오염원이 존재하는 경우 학생 통학로 인근에서 높게 조사되었다[15]. 또한 실외공기의 PM₁₀ 농도는 공단지역이 대도시나 시골 지역보다 높은 수준을 보이고 있으며, CO₂ 농도는 차이가 없는 것으로 보고하였다[16].

CO₂ 농도는 수원지역이 748.6±698.7 ppm(GM: 712.7 ppm)으로 가장 높은 수준을 보였으며, 안산이 725.1±712.0 ppm(GM: 694.7 ppm), 화성지역이 682.6±660.0 ppm(GM: 646.9 ppm)으로 나타났으나, 각 지역간 차이는 없는 것으로 나타내었다(p=721). 대도시인 수원에서 가장 높았으며 농촌지역인 화성지역이 가장 낮은 농도를 나타내었다. CO₂의 경우도 일부 학교 교실에서 학교보건법 기준 농도인 1,000 ppm을 초과한 곳도 일부 있는 것으로 나타내었다. 이러한 결과는 선행적으로 수행되었던 745.3±354.3 ppm, 548.01±173.45 ppm, 789.0±141.0 ppm 등과 같이 기준치를 넘지 않는 수준으로 나타내었다[9, 17-18]. 창문을 닫고 수업하는 교실의 CO₂ 농도의 경우 1,675 ppm으로 나타났으며 [12], 62개 교실중 52%가 1,000 ppm을 초과한 것으로 나타내었다[19]. 또한 수업 종료시 CO₂ 농도는 시작 전보다 재실자의 영향으로 인하여 약 4배 이상 상승한다고 보고하였다[20]. 그러나 본 연구에서는 조사 대상 초등학교 환기시설과 환기횟수, 주변 시설의 환경적 요인을 파악하지 못하는 제한점이 존재하지만, 초등학교의 실내공기질을 평가 및 설명하기에는 큰 무리가 없을 것

으로 사료된다.

수원, 안산, 화성 지역 초등학교의 연도별 PM₁₀ 농도를 분석한 결과, 수원지역은 2008년에 가장 높은 농도인 79.0±34.35 μg/m³으로 나타내었다(p<0.01). 안산지역은 2009년에 62.7±17.25 μg/m³으로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 화성지역은 2009년 75.4±27.45 μg/m³으로 유의한 차이를 나타내었다(p<0.01). 초등학교에서 측정된 연도별 PM₁₀ 농도와 지역별 도시대기측정소에서 측정된 PM₁₀ 농도와의 비교를 실시한 결과, 본 연구에서는 실제 PM₁₀ 농도가 실내 PM₁₀ 농도에 직접적인 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이러한 사유는 초등학교 건축물의 경우 개/보수 작업으로 인한 수동 환기시스템인 창문의 밀폐성이 높아져 외부 유입이 낮은 것으로 보이며, 또한 일부 학교의 경우는 환기시스템을 통하여 외부 공기와의 순환 등이 실내 PM₁₀ 농도에 기인하는 것으로 사료된다. 차후 이러한 요인을 파악하여 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단이 된다.

또한 지역 특성 등의 국지적인 환경 요인에 주요한 영향을 미치는 것으로 사료된다. 1999-2008년도 수도권 미세먼지 경향 연구에서는 계절, 연별, 월별, 95% 농도, 99% 농도는 감소하는 영향을 보였으며, 광역별로 뚜렷한 추이를 발견할 수 없다고 하였다[21]. 해륙풍의 영향을 받는 도시와 교통량 변동이 많은 도시에서는 PM₁₀ 발생 스펙트럼이 강하게 나타나며, 한반도의 편서풍 지대에 따라 풍상측과 풍하측의 PM₁₀ 발생 스펙트럼이 다르다고 보고하였다[22].

본 연구에서는 지역적인 특성에 따른 변수를 고려하지 않고 조사를 수행하여 결과 해석에 다소의 제한점이 존재하나, 본 연구의 주요 목적은 초등학교 실내공기질 변화 특성을 파악하고 관리방안의 기초자료를 제공함에 있어 큰 무리가 없으리라 사료된다.

각 연도별로 CO₂ 농도를 조사한 결과, 수원지역은 2009년 729.6±265.0 ppm으로 가장 높은 농도를 보였고, 2010년에 642.0±138.6 ppm으로 가장 낮은 농도를 보였다. 안산지역은 2008년도에 730.3±105.3 ppm으로 가장 높은 농도를 나타내었으며, 2012년 611.4±156.0 ppm으로 가장 낮은 농도 수준을 나타내었다. 화성지역은 2009년에 736.7±281.4 ppm으로 가장 높은 농도 수준을 보였으며, 2012년 616.8±155.5 ppm으로 가장 낮은 농도 수준을 나타내었다. 각 지역의 연도별 CO₂의 농도를 분석한 결과, 통계적으로 유의한 차이를 보이지

않는 것으로 분석 되었다(p-value = 0.366, 0.730, 0.210).

PM₁₀의 경우는 2009년에 평균적으로 4계절 모두 여타 연도의 계절보다 높게 나타났으며, 점차적으로 감소하는 경향을 보이다가 2012년에 다시 높아지는 경향을 보였다. CO₂의 경우는 연도별로 뚜렷한 차이가 없는 것으로 나타났으나, 계절별로는 봄과 겨울기간이 여름철보다 농도가 높아지는 뚜렷한 경향을 나타내었다. 월별 PM₁₀을 분석한 결과, 수원 지역과 안산 지역은 12월이 각각 67.2±67.2 μg/m³, 85.7±17.72 μg/m³으로 가장 높은 수준을 보였으며, 화성지역은 여타 지역과 다르게 10월에 68.1±31.9 μg/m³로 가장 높은 값을 나타내었다. 월별 PM₁₀ 농도를 분석한 결과, 수원과 화성지역의 PM₁₀ 농도는 유의한 차이를 보이지 않았으나, 안산 지역은 12월 PM₁₀ 농도가 여타 월 보다 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<0.05). CO₂ 농도는 3개 지역 모두 겨울철에 해당하는 11월~12월의 CO₂가 통계적으로 유의하게 차이가 나는 것으로 분석되었다(p<0.05). 이는 환기와 재실자의 실내공간에서의 활동성에 기인하는 것으로 사료되며, 차후 재실자의 활동에 따른 PM₁₀과 CO₂ 농도 차이점에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단 된다. 겨울철은 타 계절보다 추위로 인한 환기의 빈도가 낮으며, 여름철은 더위로 인한 환기의 빈도가 높기 때문이다. 이산화탄소 농도는 실내 체적, 난방, 환기장치 등에 영향을 받는 것으로 보고하였다[23]. 64개 학교의 PM₁₀ 농도는 여름철과 겨울철에 각각 64.92 μg/m³, 91.52 μg/m³, CO₂ 농도는 각각 405 ppm, 1,603 ppm으로 겨울철이 상대적으로 높은 결과를 나타내었다[24]. 여름철과 겨울철 PM₁₀ 농도는 큰 차이가 없으나, CO₂ 농도는 각각 574.9±297.4 ppm, 888.3±332.8ppm으로 겨울철이 약 1.55배 높은 결과를 나타내었다[17]. 또한 국내 일부 연구에서는 여름과 겨울의 PM₁₀ 농도는 차이가 없는 것으로 나타났으며, 이러한 차이는 국가마다 교실 특성이 다르기 때문이라 보고하였다[3, 25]. CO₂의 농도는 교실내 학생들의 호흡에 의해 증가되는 주원인이라고 하였으며, 겨울철의 농도가 여름철과 추계 농도보다 높은 것으로 조사되어 환기량의 감소가 증가의 원인이라 하였다[2].

PM₁₀와 CO₂, 건축년도, 학급 평균 인원, 온도, 습도의 상관성을 분석한 결과, CO₂와 온도, 습도와 상관성은 각 -0.329, -0.188로 유의한 음의 상관성을 보였으며

($p < 0.01$), CO₂는 온도가 높고 습도가 높을수록 감소하는 특성을 보인다는 것을 알 수 있다. 건축년도와 각 요인과의 상관성 결과를 분석한 결과, 유의한 영향을 미치는 요인은 학급 평균 인원수로 나타내었다. 건축년도 높을수록 학급 평균 인원은 감소하는 경향을 보였다($p < 0.01$). 건축년도와 학급 평균 인원수에 따른 실내공기질 요인인 PM₁₀, CO₂, 온도, 습도의 상관성은 없는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 내부 환경적 요인에 따른 실내공기질의 영향이 적으므로 것으로 보이며, 외부 환경적 요인과 기타 요인에 따른 영향을 받는 것으로 사료된다. 차후 추가적인 연구를 통하여 학교 실내공기질에 영향을 미치는 요인의 규명이 필요할 것으로 사료된다. 학교 내에서 발생하는 PM₁₀ 농도는 청소상태 및 활동에 따른 2차 발생원이 존재하는 것으로 나타내었으며[26], 수업을 받고 있는 학생들에 따라 입자상 물질의 농도의 차이가 발생된다고 하였다[27].

본 연구에서는 PM₁₀과 CO₂의 농도의 지역별, 계절별, 연도별 결과값의 편차(최대 및 최소)가 높게 발생한 것으로 나타났으나, 이러한 사유는 내/외부적 환경적 요인에 일부 영향을 받는 것으로 사료된다. 차후 이러한 영향요인을 반영하여 추가적인 연구 및 빅데이터를 이용한 분석이 필요할 것으로 사료된다.

5. 결론

조사대상인 경기도 지역 중 수원, 안산, 화성지역 초등학교를 지역별로 구분하여 PM₁₀ 농도를 조사한 결과, 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 지리적 특성에 따라 상대적으로 공단지역이 높은 농도를 보였으며, 농촌지역이 낮은 농도를 보였다. CO₂ 농도는 수원지역이 가장 높았고 화성지역이 가장 낮은 농도를 보였으나, 각 지역간 차이는 없는 것으로 나타났다.

연도별 PM₁₀ 농도를 분석한 결과, 수원지역이 2008년, 화성지역은 2009년에 가장 높은 농도로 나타났으나, 유의한 차이를 보이지 않았다. 각 지역의 연도별 CO₂의 농도를 분석한 결과, 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 나타내었다(p -value = 0.366, 0.730, 0.210).

2008년 가을부터 2012년 겨울까지 PM₁₀과 CO₂의

계절별 시계열 분석 결과, PM₁₀의 경우는 2009년에 높게 나타났으며, 점차적으로 감소하는 경향을 보이다가 2012년에 다시 높아지는 경향을 보였다. CO₂는 연도별로 차이가 없는 것으로 나타났으나, 계절별로는 봄과 겨울기간이 여름철보다 농도가 높아지는 경향을 나타내었다.

수원과 안산지역 초등학교의 PM₁₀은 12월이 가장 높은 농도를 보였으며, 가장 낮은 수준인 보인 월은 각각 5월과 11월로 나타내었다. 화성지역 초등학교는 10월에 가장 높은 값을 나타냈으며, 9월에 가장 낮은 농도를 보였다. 월별 PM₁₀ 농도를 분석한 결과, 수원과 화성지역의 PM₁₀ 농도는 유의한 차이를 보이지 않았으나, 안산 지역은 12월 PM₁₀ 농도가 타 월 보다 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 수원과 안산지역 초등학교의 CO₂ 농도는 각각 11월, 12월이 가장 높은 농도를 보였으며($p < 0.05$), 가장 낮은 농도를 보인 월은 6월로 나타내었다. 화성지역은 12월이 가장 높은 농도로 유의한 차이를 보였으며($p < 0.01$), 10월이 가장 낮은 농도를 나타내었다. 3개 지역 모두 겨울 영역에 해당하는 11월~12월의 CO₂가 통계적으로 유의하게 차이가 나는 것으로 나타내었다.

PM₁₀과 CO₂, 건축년도, 학급 평균 인원, 온도, 습도와의 상관성을 분석한 결과, CO₂와 환경적 요인인 온도, 습도와 상관성은 각 -0.329, -0.188로 유의한 음의 상관성을 보였다($p < 0.01$). 건축년도와 학급 평균 인원은 유의한 상관성을 보였으나($p < 0.01$), 타 요인과의 상관성은 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 내부적 요인에 따른 실내공기질의 영향이 적은 것으로 나타낼 수 있으며, 외부적 요인과 기타 요인에 따른 영향을 받는 것으로 사료된다. 차후 추가적인 연구를 통하여 학교 실내공기질에 영향을 미치는 요인의 규명이 필요할 것으로 사료된다.

References

- [1] Sohn, J. R., Yoon, S. W., Kim, Y. S., Roh, Y. M., Lee, C. M., Son, B. S., Yang, W. H., Lee, Y. G., Choi, H. Y., Lee, J. S., "A survey on the indoor air quality of seoul school classrooms in korea." Journal of Korean Society for Indoor Environment, Vol.3, No.1, p. 54-63, 2006.

- [2] Sohn, J. R., Roh, Y. M., Son, B. S. "The Assessment of Survey on the Indoor Air Quality at Schools in Korea." *Korean Journal of Environmental and Health*, Vol.32, No.2, p. 140-148, 2006b.
- [3] Yang, W. H., Sohn, J. R., Kim, J., Son, B. S., Park, J. C., "Indoor air quality investigation according to age of the school buildings in Korea." *Journal of Environmental Management*, Vol.90, No.1, p.348-354, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.10.003>
- [4] Shendell, D. G., Prill, R., Fisk, W. J., Apte, M. G., Blake, D., Faulkner, D., "Association between CO2 concentrations and student attendance in Washington Idaho." *Indoor Air*, Vol.14, p. 333-341, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00251.x>
- [5] Meininghaus, R. A. Kouniali, C., Mandin, C., Cicolella, A., "Risk assessment of sensory irritants in indoor air-a case study in a French school." *Environmental International*, Vol.28, No.7, p. 553-557, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00251.x>
- [6] Daisey, J. M., Angell, W. J., Apte, M. G., "Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existence information." *Indoor Air*, Vol.13, No.1, p. 53-64, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1034/j.1600-0668.2003.00153.x>
- [7] U.S Environmental Protection Agency (EPA). "Indoor air quality(IAQ) tool for school." IAQ coordinator's 2nd ed, EPA. 2000.
- [8] Korea Ministry of Education, 2010. *Science and Technology : School Law*.
- [9] Jung, J. H., Seo, B. S., Ju, D. J., Park, M. C., Shon, B. H., Phee, Y. G., "Assessment of the Indoor Air Quality at Schools in Ulsan." *Korean Journal of Environmental and Health*, Vol.36, No.6, p. 472-479, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5668/JEHS.2010.36.6.472>
- [10] World Health Organization (WHO). "Effects of air pollution on children's health and development-a review of the evidence." 2005.
- [11] Barnett, A. G., Williams, G. M., Schwartz, J., "Air pollution and child respiratory health: a case-crossover study in Australia and New Zealand." *American Journal of Respiratory Critical Care Medicine*, Vol.171, p. 1271-1278, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1164/rccm.200411-1586OC>
- [12] Yang, W. H., Byeon, J. C., Kim, Y. H., Kim, D. W., Son, B. S., Lee, J. E., "Assessment of indoor air quality of classroom in school by means of source generation-case study." *Journal of the Environmental Science*, Vol.14, No.10, p. 979-983, 2005.
- [13] Kim, H. J., Kim, S. S., Lee, K. S., Jung, S. K., Cho, J. K., "A survey on the indoor air quality of some schools in goyang city." *Journal of the Environmental Administration*, Vol.15, No.2, p. 85~90, 2009.
- [14] Seo, B. W., Lee J. H., Park, J. H., Kang, S. H., "Infant target facilities and facilities for children in elementary school comparison and improvement of indoor air quality for research." *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, Vol.27, No.5, p. 591-601, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.11001/jksww.2013.27.5.591>
- [15] Lee, C. S., Kim, H. H., Yu, S. D., Lee, J. S., Chang, J. Y., Gwak, Y. K., Son, H. R., Lim, Y. W., "A survey of distribution for environment exposure in the activities space of elementary school-Focused on PM10, PM2.5, Black Carbon, VOCs and Formaldehyde." *Journal of Korean Society for Indoor Environment*, Vol.10, No.4, p. 303-317, 2013.
- [16] Roh, Y. M., Kim, J. C., Lee, C. M., Kim, Y. S., Ha, M. N., Kwon, H. J., Jeong, C. H., Paik, J. M., Kwon, Y. G., "A Survey of Distribution for Indoor Air Pollutants in Classrooms of Some Elementary Schools." *Journal of Korean Society for Indoor Environment*, Vol.4, No.4, 204-213, 2007.
- [17] An, S. Y., Kim, M. G., Kim, O. S., Na, C. G., Lee, Y. J., Lee, C. W., Park, J. H., "A survey on the indoor air quality of some school classroom in Gyeongbuk area." *Journal of Korean Society for Indoor Environment*, Vol.3, No.4, p. 367-375, 2006.
- [18] Cho, T. J., Chio, H. S., Jeon, Y. T., Lee, C. W., Lee, J. D., Jou, H. M., Son, B. S., "The study of indoor air quality at schools in chung-nam area." *Journal of Environmental Sciences*, Vol.17, No.5, p. 501-507, 2008.
- [19] Santamouris, M., Synnefa, A., Assimakopoulos, M., Livada, I., Pavlou, K., Papaglastra, M., Gaitani, N., Kolokotsa, D., Assimakopoulos, V., "Experimental investigation of the air flow and indoor carbon dioxide concentration in classrooms with intermittent natural ventilation." *Energy and Buildings*, Vol.40, No.10, p. 1833-1843, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.04.002>
- [20] Kim, S. K., Kim, J. O., Cho, C. Y., Kim, J. R., Son, J. H., "A study on the measurement and improving of indoor air quality in a educational facility." *The journal of Korean Institute of Educational Facilities*, Vol.14, No.4, p. 43-52, 2007.
- [21] Kim, Y. P., "Analysis of the trend of atmospheric

PM10 concentration over the seoul metropolitan area between 1999 and 2008.” Korean Society of Environmental Assessment, Vol.19, No.1, p. 59-74, 2010.

[22] Jang, J. H., Lee, H. W., Lee, S. H., “Spatial and temporal features of PM10 evolution cycle in the korean peninsula.” Journal of the Environmental Sciences, Vol.21, No.2, p. 189-202, 2012.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5322/JES.2012.21.2.189>

[23] Richard, A. W., Peter, A. S., “Indoor air pollution, A Wiley-Interscience Publication.” 1983.

[24] Fromme, H., Twardella, D., Dietrich, S., Heitmann, D., Schierl, R., Liebl, B., Ruden, H., “Particulate matter in the indoor air of classrooms-exploratory results from Munich and surrounding area.” Atmospheric Environment, Vol.41, No.4, p. 854-866, 2007.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.08.053>

[25] Son, B. S., Song, M. R., Kim, J. D., Cho, T. J., Yang, W. H., Chung, T. W., “The study on concentration of PM10 and heavy metal in public schools at Chunag-Nam area.” Journal of the Environmental Sciences, Vol.17, No.9, p. 1005-1013, 2008.

[26] Jung, J. W., Lee, H. K., “Improvement strategies for classroom IAQ in elementary schools.” Proceeding of the 39th Meeting of KOSAE, p. 172-173, 2005.

[27] Poupard, O., Blondeau, P., Iordache, V., Allard F., “Statistical analysis of parameters influencing the relationship between outdoor and indoor air quality in schools.” Atmospheric Environment, Vol.39, No.11, p. 2071-2080, 2005.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.12.016>

정 준 식(Joon-Sig Jung)

[정회원]



- 2009년 2월 : 인제대학교 일반대학원 보건안전공학과 (환경 및 산업 보건학 석사)
- 2014년 2월 : 한양대학교 일반대학원 보건학과 (보건학 박사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 국립환경과학원 생활환경연구과 Post. Doc Researcher

<관심분야>

환경보건, 산업보건, 실내환경, 인체 노출평가

박 덕 신(Duckshin Park)

[정회원]



- 1995년 2월 : 경희대학교 일반대학원 환경학과 (환경학 석사)
- 2003년 8월 : 경희대학교 일반대학원 환경학과 (환경학 박사)
- 1995년 1월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 교통환경연구팀 수석연구원

<관심분야>

실내환경, 인체 노출평가

김 종 범(Jong bum Kim)

[준회원]



- 2010년 2월 : 서울시립대 환경공학부 일반대학원(공학석사)
- 2014년 2월 : 고려대학교 그린스쿨(공학박사 수료)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술연구원 연구원

<관심분야>

실내환경, 산업보건, 나노물질 노출평가

송 혜 숙(Hyea-Suk Song)

[정회원]



- 2005년 2월 : 연세대학교 보건대학원 보건정책 및 관리학과 (보건학 석사)
- 2014년 2월 : 한양대학교 일반대학원 보건학과 (보건학 박사)
- 2013년 9월 ~ 2015년 2월 : 서영대학교 보건행정과 조교수
- 2015년 3월 ~ 현재 : 광주여자대학교 보건행정과 조교수

<관심분야>

건강보험, 아동보육, 생활안전보건

박 형 규(Hyung-kyu Park)

[정회원]



- 2007년 8월 : 한양대학교 공학대학원 환경공학과 (공학 석사)
- 2004년 1월 ~ 현재 : 국립환경과학원 생활환경연구과 연구원

<관심분야>

소음진동, 환경보건, 환경영향평가