Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 16, No. 5 pp. 3643-3652, 2015

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.5.3643
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

일부 학교 교실의 실내공기질 특성에 관한 연구

정준식[1], 박덕신[2*], 전형진[3], 송혜숙[4], 이민종[5]
[1]국립환경과학원 생활환경연구과, [2]한국철도기술연구원, [3]한국환경정책평가연구원,
[4]광주여자대학교 보건행정학과, [5]한양대학교 보건학과

A Study of Indoor Air Quality of School Classrooms

Joon-sig Jung[1], Duck-shin Park[2*], Hyung-jin Jeon[3], Hyea-suk Song[4], Min-jong Lee[5]
[1]**Indoor air and noise Research division, National Institute of Environmental Research,**
[2]**Korea Railroad Research Institute,** [3]**Korea Environment Institute,**
[4]**Health administration, Kwangju Women's University,** [5]**Department of Public Health, Hanyang University**

요 약 본 연구는 우리나라 일부 학교의 실내공기질 현황을 조사 및 평가하고, 학생들이 쾌적한 교육 환경에서 생활할 수 있는 관리 방안으로 활용하는데 기여하고자 한다. 학교별 실내공기질를 분석한 결과, 일부학교의 경우 PM_{10}은 학교보건법 기준 농도인 100 ㎍/㎥을 초과한 것으로 나타났다. CO_2는 고등학교가 초등학교와 중학교의 농도보다 각각 1.18배, 1.06배 높은 수준으로 나타났으며($p<0.01$), 일부 학교에서 학교보건법 기준 농도인 1,000 ppm을 초과한 곳도 일부 있는 것으로 나타났다. HCHO는 학교별로 유의한 차이를 나타내지 않았다. TBC는 초등학교가 중학교와 고등학교보다 각각 1.23배, 1.33배 높은 수준을 보였으나($p<0.01$), 전체적으로 학교보건법 기준 농도인 800 CFU/㎥ 이하의 농도 수준을 보였다. 전체학교의 교실(Classroom)과 비교실(Non-classroom)의 농도비를 분석한 결과, PM_{10}은 1.06, CO_2는 1.04, HCHO는 0.62, TBC는 1.16으로 나타났다.

Abstract The aim of this study is to analyze the IAQ concentrations of school rooms. In this study we measured and characterized IAQ at 440 school rooms from May 2009 to November 2012. At some school rooms, the PM_{10} concentrations exceeded the IAQ guidelines (100 ㎍/㎥) of the Ministry of Education. CO_2 concentrations at high schools were 1.18 and 1.06 times higher than that of the elementary and middle schools, respectively. CO_2 concentrations of some school rooms were exceeded the IAQ guidelines (1,000 ppm). Moreover, TBC concentrations at elementary school rooms were 1.23 and 1.33 times higher than that of the middle schools and high schools, respectively. TBC and HCHO concentrations did not exceed the IAQ guidelines. The classroom/non-classroom ratio of PM_{10} was 1.06, while that CO_2 was 1.04, HCHO was 0.62, and TBC was 1.16.

Key Words : Indoor Air Quality, School, Classroom, Non-classroom

1. 서론

현대인들은 하루 일과 중 대부분의 시간을 실내에서 생활하기 때문에 실내 공기의 쾌적성은 건강과 업무능률 측면에서 매우 중요하다. 학교 건축물의 경우 일반적인 주거공간과 상업용 건축물에 비하여 단위면적당 재실자 밀도가 높고, 예산문제 등으로 인하여 설비가 노후화되어 있는 실정이다. 학교 시설의 경우 60~70 ㎡ 넓이의 교실당 30명 이상의 학생들이 하루 중 5시간에서 많게는 10시간 이상을 공동생활을 하고 있기 때문에, 교실내의 환기가 제대로 되지 않을 경우 혼탁해진 공기로 인해 학습 능률 저하를 가져올 수 있다. 우리나라에는 약 11,000여개의 초·중·고등학교가 있으며, 재학 중인 학생만도 약 850만 명에 이르고 있으며[1], 국내 10대 연령

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.
*Corresponding Author : Duckshin Park(Korea Railroad Research Institute)
Tel: +82-31-460-5367 email: dspark@krri.re.kr
Received March 23, 2015 Revised (1st April 23, 2015, 2nd May 6, 2015)
Accepted May 7, 2015 Published May 31, 2015

학생집단의 39.6 %가 학교 및 학원 등의 실내공간에서 대부분을 보내는 것으로 보고된 바 있다 [2].

학생들은 신체와 정신의 성장 및 발육이 활발한 시기이며 질병이나 외부자극에 대한 저항력이 아직 미숙한 상태에 있으므로 보건학적으로 매우 중요한 집단이다. 그리고 성인에 비해 단위체적당 호흡량이 많고 활동량도 많아 호흡이 많으며, 신체 치수가 작아 공기보다 무거운 오염물질에 노출될 위험성이 매우 높일 수 있다[3]. 학교 교실에서 이산화탄소(CO_2) 농도가 증가함에 따라 학생들의 결석률이 증가한다고 보고하였으며 [4], 실내 공기 오염물질이 학생들에게 감각 기능에 영향이 있음을 제시하였다[5]. 따라서 미국 환경보건청(US Environmental Protection Agency, EPA)에서는 학교 실내환경 관리를 중요한 요인으로 판단하고, 행정 규제도 엄격히 적용하고 있다.

국내의 경우 2005년 학교보건법의 시행규칙에서 미세먼지(PM_{10}), 이산화탄소(CO_2), 폼알데하이드(HCHO), 총휘발성유기화합물(TVOCs), 총부유세균(Total Bioaerosol Concentration), 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO_2), 라돈(Rn), 오존(O_3), 진드기(Dust mite), 석면(Asbestos) 등 12개의 유해물질에 대한 기준이 마련되어 2006년부터 시행되고 있다[6]. 이러한 유해물질은 학생들에게 폐기능 감소, 천식 등을 유발할 수 있으며, 급성기관지염과 폐렴으로 병원 입원률을 증가시키기도 한다[7,8,9]. 또한 환기량이 적은 학교 교실의 경우 기침, 독감, 목의 통증 등의 기도 감염이 유발되는 등 오염물질로 인하여 다양한 건강상의 영향이 보고되고 있다[10].

그러나 일부 학교에서는 실내공기질과 관련하여 학생들의 건강적인 영향 보다는 법적인 규정(연 1회 조사)에 초점을 맞추어 실내공기질을 조사 및 관리하고 있다. 따라서 본 연구는 경기도 지역 일부 초/중/고등학교의 실내공기질 현황을 조사 및 평가하고, 학생들이 쾌적한 교육환경에서 생활할 수 있는 관리 방안으로 활용하는데 기여하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 연구대상

본 연구는 일부 학교의 실내공기질 특성을 파악하기 위하여 경기지역 초・중・고등학교 440곳에 대한 측정결과를 본 연구에서 사용하였다. 조사학교는 경기지역인 수원, 화성, 안산지역 학교를 대상으로 계절적 특성을 파악하기 위하여 2009년 3월~2012년 11월 까지 봄, 여름, 가을에 실시하였다. 측정 장소는 학생들이 수업을 받고 있는 일반 교실 2지점과 특별교실(과학실험실, 컴퓨터실) 1지점을 대상으로 PM_{10}, CO_2, HCHO, TBC를 조사하였다.

2.2 조사 및 측정방법

실내공기질 조사는 교육과학기술부의 “학교 교사 내 환경위생 관리 매뉴얼의 교사 안에서의 공기질 등 방법” 근거하여 실시하였다. 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 시설과 부착물 등에 의한 측정 장애가 없고, 대상 시설의 오염도를 대표할 수 있다고 판단되는 지점을 선정하는 것을 원칙으로 하였다. 창문과 출입문으로부터 1m 이상 떨어진 곳으로 선정하였으며, 학생들이 앉았을 때의 호흡기 위치와 비슷한 1.2~1.5m 위치에서 조사를 실시하였다.

PM_{10} 측정기는 광산란 방식의 AM510(TSI Inc., USA) 이용하여 주간시간대 15분씩 2회 10㎛의 입자를 포집하였으며, HCHO는 광도측정방식의 측정기를 주간시간대 15분씩 2회 측정하였다. CO_2는 비분산 적외선방식(NDIR) TSI-7545(TSI Inc., USA) 이용하여 30분 1회 측정하였다.

총부유세균(TBC)은 관성 충돌식 샘플러 Buck Bacteria sampler(B30120, BioCulture Inc., USA)을 이용하여 100 L/min 속도로 10분씩 3회 흡입시켜 Trypticase soy agar(BD Difco, USA) 배지에 흡착시켰다. 시료 채취 후 냉장 박스에 보관 이동하여 항온 배양기에서 35 ℃로 48시간 동안 배양 후 세균 집락수(CFU, colony forming unit)를 계수하여 공기중 농도(CFU/㎥)로 나타내었다.

2.3 자료 분석방법

통계적 분석 방법은 SPSS package (SPSS Inc., USA, Version 12.0)를 이용하여 실내공기질 농도는 산술평균과 최대 및 최소값, 기하평균, 중위수의 기술통계 값을 산출하였다. 계절적 특성과 학교형태, 교실별 특성의 비교는 ANOVA(분산분석)를 실시하였으며, 각 측정간의 비교는 t-test를 이용하여 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 학교별 실내공기질 농도 비교

Table 1은 경기도 일부 초・중・고등학교의 실내공기질 농도를 나타낸 것이다. PM_{10}은 중학교가 58.95±29.77 $\mu g/m^3$(GM: 52.29 $\mu g/m^3$)으로 가장 높았으며, 일부 초등학교와 중학교의 경우 학교보건법 PM_{10} 기준 농도인 100 $\mu g/m^3$을 초과한 것으로 나타났다.

CO_2는 고등학교가 799.62±318.05 ppm(GM: 744.85 ppm)으로 나타났으며, 초등학교와 중학교의 농도보다 각각 1.18배, 1.06배 높은 수준으로 유의한 차이를 나타내었다($p<0.01$). CO_2는 일부 학교에서 학교보건법 기준 농도인 1,000 ppm을 초과한 곳도 있는 것으로 나타났다. HCHO는 학교별로 유의한 차이를 나타내지 않았으며, 학교보건법 기준 농도를 초과한 학교는 없는 것으로 나타났다.

TBC는 초등학교가 452.24±219.36 CFU/m^3(GM: 437.10 CFU/m^3)으로 중학교와 고등학교보다 각각 1.23배, 1.33배 높은 수준으로 유의한 차이를 보였다($p<0.01$). 초등학교에서 TBC가 높은 사유는 외적인 요인에 일부 기인하는 것으로 사료된다. 이는 초등학교의 TBC 농도가 고등학교의 농도보다 통계적으로 유의하게 높은 차이를 보이는 선행연구과 유사한 경향을 보였다[7, 11]. 또한 초등학교에서 TBC가 높은 사유는 온열조건이 열악할 때 발생하는 세균 증식 보다는 활동량이 많은 어린이들이 오염된 외부공기에 노출되어 영향을 미치는 것으로 보고하였다[12]. 또한 학생들의 활동성과 의복 등에 일부 영향을 미치는 것으로 보고하였다[1]. 그러나 본 연구에서는 학교보건법 TBC 기준 농도인 800 CFU/m^3을 초과한 학교는 일부 있었으나, 전체적으로 기준 이하의 농도 수준을 보였다.

PM_{10}, CO_2, HCHO, TBC의 일부 학교의 농도가 학교보건법 실내공기질 기준을 일부 초과하여 편차(최소-최대값)가 높게 발생하였다. 그러나 이러한 사유는 학교별 외부 환경적 요인과 내부 환경적 요인에 영향을 받는 것으로 사료된다. 그러나 본 연구의 목적은 각 학교의 실내공기 오염물질 농도 경향을 파악하는 것에 주요한 연구목적이 있으므로, 연구결과를 해석하기에는 큰 무리가 없는 것으로 사료된다.

3.2 각 학교 계절별 실내공기질 농도 비교

Table 2는 각 학교 계절별(봄, 여름, 가을) 실내공기질 농도를 나타낸 것이다. 초등학교의 실내공기질 농도를 분석한 결과, CO_2 제외한 3가지 물질(PM_{10}, HCHO, TBC)은 가을철이 높은 것으로 나타났다. PM_{10}은 가을철이 56.74±25.54 $\mu g/m^3$(GM: 52.14 $\mu g/m^3$)으로 가장 높은 수준으로 나타났으나, 유의한 차이를 보이진 않았다. CO_2는 봄철이 740.83±230.16 ppm(GM: 706.61 ppm)으로, 여름철과 가을철보다 각각 1.23배, 1.06배 높은 수준으로 유의한 차이를 나타내었다($p<0.01$). TBC는 가을철이 494.74±217.81 CFU/m^3(GM: 446.52 CFU/m^3)으로 봄철과 여름철보다 각각 1.08배, 1.33배 높은 수준으로 나타내었다($p<0.01$). 중학교의 실내공기질 농도를 분석한 결과, PM_{10}과 HCHO는 봄철이 다소 높은 수준으로 나타났으나, 통계적으로 유의 차이를 보이진 않았다. CO_2는 가을철이 806.72±250.38 ppm(GM: 774.19 ppm)으로 가장 높은 수준을 보였으며, 봄철과 여름철보다 각각 1.05배, 1.19배 높은 수준으로 나타내었다. TBC는 가을철이 442.49±181.97 CFU/m^3(GM: 399.71 CFU/m^3)으로 봄철과 여름철보다 각각 1.78배, 1.42배 높은 수준으로 나타났다($p<0.01$). 고등학교의 계절별 실내공기질 농도를 분석한 결과, 본 연구에서는 통계적으로 유의한 차이를 보이는 계절은 없는 것으로 나타났다. PM_{10}은 봄철, CO_2와 HCHO, TBC는 가을철이 높은 것으로 나타났다.

Figure 1은 각 계절에 따른 학교별 실내공기질 농도를 비교한 것이다. 각 학교 특성에 따른 분석결과, PM_{10}, HCHO는 유의한 차이를 보이진 않았다. 그러나 CO_2는 초등학교에 비하여 중학교 및 고등학교가 유의한 차이를 보였으며, TBC는 초등학교가 여타 학교보다 유의한 차이를 보인 것으로 나타났다.

봄철 실내공기질 물질의 농도를 비교한 결과, TBC는 초등학교가 중학교 및 고등학교와 비교하여 각각 1.43배, 1.52배 유의하게 높은 것으로 나타났다($p<0.01$). 그러나 기타 실내공기질 물질은 통계적으로 유의한 차이를 보이진 않았다. 여름철 CO_2는 호흡률이 높은 집단인 고등학생이 재실하고 있는 고등학교가 872.09±454.65 ppm(GM: 750.47 ppm)으로 초동학교 및 중학교 농도에 비하여 각각 1.45배, 1.29배 유의하게 높은 것으로 나타났다($p<0.01$). 그러나 기타 실내공기질 물질은 통계적으로 유의한 차이를 보이진 않았다. 가을철 CO_2를 비교한 결과, 중학교가 초등학교 및 고등학교에 비하여 각각 1.15배, 1.04배 유의하게 차이를 보였으며($p<0.05$), TBC 농도는 초등학교 농도가 중학교 및 고등학교 농도보다 각각 1.12배, 1.30배 유의한 차이를 나타내었다($p<0.01$).

각 학교별 계절에 따른 실내공기질 농도의 차이는 환기와 재실자의 활동성에 기인하는 것으로 사료되며, 차후 재실자의 활동에 따른 차이점에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 겨울철은 타 계절보다 외부 온도로 차이 때문에 발생하는 추위로 인한 환기의 빈도가 타 계절보다 낮으며, 여름철은 더위로 인한 환기의 빈도가 높기 때문이다. 실내공간의 오염척도인 CO_2는 실내 체적, 난방, 환기장치 등에 영향을 받는 것으로 보고하였다[13]. 국내 연구에서는 여름과 겨울의 PM_{10}은 차이가 없는 것으로 나타났으며, 이러한 차이는 국가마다 교실 특성이 다르기 때문이라 보고하였다[2, 14]. 또한 교실내 CO_2의 증가는 학생들의 호흡이 주원인이라고 하였으며, 겨울철이 여름철과 봄철 농도보다 높은 사유는 환기량의 감소가 주요 원인이라 하였다[15].

TBC를 조사한 결과, 초등학교의 농도는 중학교 및 고등학교 보다 상대적으로 높은 경향을 나타내었다. 이러한 사유는 초등학생의 활동 패턴에 주요한 영향을 미치는 것으로 사료된다. 초등학생들은 상대적으로 중학교 및 고등학교 학생들 보다 외부에서 활동하는 시간이 많고, 청결 활동(손 씻기, 청소 등)도 상대적으로 미진하기 때문이다. 또한 Jang et al.(2013)의 연구에서는 초등학생이 내부적인 활동에 영향을 받는 것으로 보고하였다[16].

본 연구에서는 각 학교의 PM_{10}, CO_2, HCHO, TBC가 계절적으로 높은 차이를 보인 사유는, 우리나라의 4계절이 뚜렷한 환경적 특성과 내부적 요인인 학생들의 교실에서의 생활 활동에 일부 기인하는 것으로 사료된다. 우리나라는 봄/여름/가을/겨울의 특성에 따라 교실 내/외부에서의 학생 활동의 차이가 있기 때문이다. 차후 이러한 요인을 반영한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3.3 교실 특성별 실내공기질 농도 비교

Figure 2는 경기 일부 지역 학교의 교실과 비교실의 실내공기질 농도를 비교하여 나타낸 것이다. 본 연구에서는 PM_{10}, CO_2, TBC는 모든 학교에서 교실의 실내공기질 농도가 유의한 차이를 보였으며, HCHO는 비교실의 농도가 유의한 차이를 보였다. 전체학교의 classroom/non-classroom 의 비율을 분석한 결과, PM_{10}은 1.06, CO_2는 1.04, HCHO는 0.62, TBC는 1.16으로 나타났다. 선행연구에서는 비교실이 일반교실과 비교하여 PM_{10}, CO_2, TBC는 낮은 농도를 보였으며, HCHO는 높은 경향을 보인 것으로 보고하였다[17].

각 학교별 classroom/non-classroom 비율을 분석한 결과는 Table 3, 4와 같다. 초등학교의 PM_{10}과 TBC의 비율은 1.06, 1.10으로 유의한 차이를 나타냈으며, CO_2의 경우는 유의한 차이를 보이진 않았으나 Classroom이 높은 경향을 나타내었다. 중학교와 고등학교의 경우는 초등학교와 마찬가지로 PM_{10}과 CO_2, TBC는 교실이 높은 경향을 보였으며, HCHO는 비교실이 높은 경향을 나타내었다. PM_{10}과 CO_2, TBC 농도가 교실이 높은 사유는 학생들이 사용하는 주요교실의 사용빈도에 일부 기인하는 것으로 사료된다. 우리나라 학생들은 대부분의 수업을 일반교실에서 받고 있으며, 과학수업이나 컴퓨터 수업은 특별실로 이동하여 수업을 받기 때문이다. 또한 과학실은 일반교실에 비하여 화학물질 등이 진열되어 있고 학생들이 수업을 위하여 다루고 있으므로 HCHO의 농도에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 선행적으로 특별 교실의 경우 사용목적에 따라 음악실, 과학실, 컴퓨터

Table 1. Measured results of the concentrations for each pollutant.

Item	School (N)	Mean±SD[1]	Range[2]	Median	GM[3]	p-value
PM_{10} ($\mu g/m^3$)	Elementary school (234)	56.02±26.80	12.7-163.0	49.06	50.61	0.452
	Middle school (107)	58.95±29.77	11.7-155.3	50.53	52.29	
	High school (99)	54.32±24.12	22.0-148.7	46.50	49.98	
CO_2 (ppm)	Elementary school (234)	675.63±210.84	296.3-1,539.0	655.33	646.35	p<.01**
	Middle school (107)	755.35±249.43	419.0-1,773.3	699.70	721.73	
	High school (99)	799.62±318.05	87.7-1,931.7	709.00	744.85	
HCHO ($\mu g/m^3$)	Elementary school (234)	15.96±5.98	10.0-51.7	14.61	15.06	0.067
	Middle school (107)	14.72±4.98	10.0-33.30	13.30	14.01	
	High school (99)	16.48±5.67	9.0-42.0	14.88	15.64	
TBC (CFU/m^3)	Elementary school (234)	452.24±219.36	79.3-1,157.7	437.10	396.44	p<.01**
	Middle school (107)	366.53±181.55	44.0-819.3	345.30	315.96	
	High school (99)	341.08±174.43	52.0-881.0	312.00	291.95	

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

Table 2. Measured results of seasonal concentration variation for each pollutant.

Item	Season	N	Mean±SD[1]	Range[2]	Median	GM[3]	p-value
PM_{10} ($\mu g/m^3$)	SP	36	57.00±28.73	13.70-128.70	49.00	50.43	0.797
	SU	71	54.23±28.29	12.70-145.70	43.83	48.07	
	AU	127	56.74±25.54	16.30-163.00	51.43	52.14	
CO_2 (ppm)	SP	36	740.83±230.16	315.00-1,256.30	715.90	706.61	p<.01**
	SU	71	601.04±180.72	336.30-1,272.00	599.70	577.04	
	AU	127	698.85±210.85	296.30-1,539.00	663.70	671.48	
HCHO ($\mu g/m^3$)	SP	36	16.13±6.45	10.00-36.00	14.24	15.15	0.475
	SU	71	15.24±4.81	10.00-30.30	14.29	14.56	
	AU	127	16.31±6.44	10.00-51.70	14.76	15.32	
TBC (CFU/m^3)	SP	36	458.63±236.11	79.30-1,040.70	443.85	389.11	p<.01**
	SU	71	372.97±192.95	102.00-764.70	332.70	323.50	
	AU	127	494.74±217.81	114.00-1,157.70	474.00	446.52	

Table 2. Continued(middle school).

Item	Year	N	Mean±SD[1]	Range[2]	Median	GM[3]	p-value
PM_{10} ($\mu g/m^3$)	SP	32	62.89±26.97	28.70-128.70	52.65	57.79	0.136
	SU	32	50.15±24.66	11.70-148.00	45.00	45.17	
	AU	43	62.57±34.16	14.00-155.30	54.30	54.12	
CO_2 (ppm)	SP	32	767.42±214.79	436.30-1,420.00	748.80	740.10	0.070
	SU	32	674.27±266.60	419.00-1,773.30	647.50	640.50	
	AU	43	806.72±250.38	460.00-1,569.70	733.00	774.19	
HCHO ($\mu g/m^3$)	SP	32	15.01±4.56	10.00-25.00	13.73	14.37	0.854
	SU	32	14.86±5.23	10.00-32.50	14.05	14.12	
	AU	43	14.39±5.18	10.00-33.30	13.00	13.66	
TBC (CFU/m^3)	SP	32	247.91±196.03	38.00-869.00	208.00	178.73	p<.01**
	SU	32	311.47±163.81	44.00-631.30	265.00	264.25	
	AU	43	442.49±181.97	86.70-819.30	423.30	399.71	

Table 2. Continued(high school).

Item	Year	N	Mean±SD1	Range2	Median	GM3	p-value
PM_{10} ($\mu g/m^3$)	SP	32	61.99±31.46	22.00-148.70	53.35	55.52	0.082
	SU	27	49.10±15.32	27.30-86.00	43.70	47.05	
	AU	40	51.71±21.09	22.70-100.30	44.57	47.87	
CO_2 (ppm)	SP	32	765.67±214.59	466.50-1,654.70	710.63	743.07	0.380
	SU	27	872.09±454.65	87.70-1,931.70	751.30	750.47	
	AU	40	777.85±273.32	504.30-1,561.30	700.65	742.49	
HCHO ($\mu g/m^3$)	SP	32	17.33±6.97	10.00-42.00	14.84	16.23	0.266
	SU	27	17.11±4.77	10.00-26.70	16.90	16.46	
	AU	38	15.31±4.93	9.00-27.00	13.45	14.62	
TBC (CFU/m^3)	SP	32	302.29±203.22	52.00-881.00	266.30	239.61	0.162
	SU	27	331.03±164.43	55.30-641.30	312.00	283.91	
	AU	38	380.88±149.46	127.30-680.70	359.50	351.72	

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

실 등 다양하게 구분이 되며, 각각의 교실 특성에 따라 사용되는 수업재료의 종류 및 특성에 HCHO 농도의 차이가 발생한다고 하였다[1, 18].

본 연구에서는 교실 특성에 맞는 탄력적인 환기와 각 교실별 용도에 맞는 저감방안을 수립하여 쾌적한 환경조성이 필요할 것으로 사료된다. 또한 HCHO 방출에 영향을 주는 교재 및 수업재료의 관리가 필요할 것으로 판단된다.

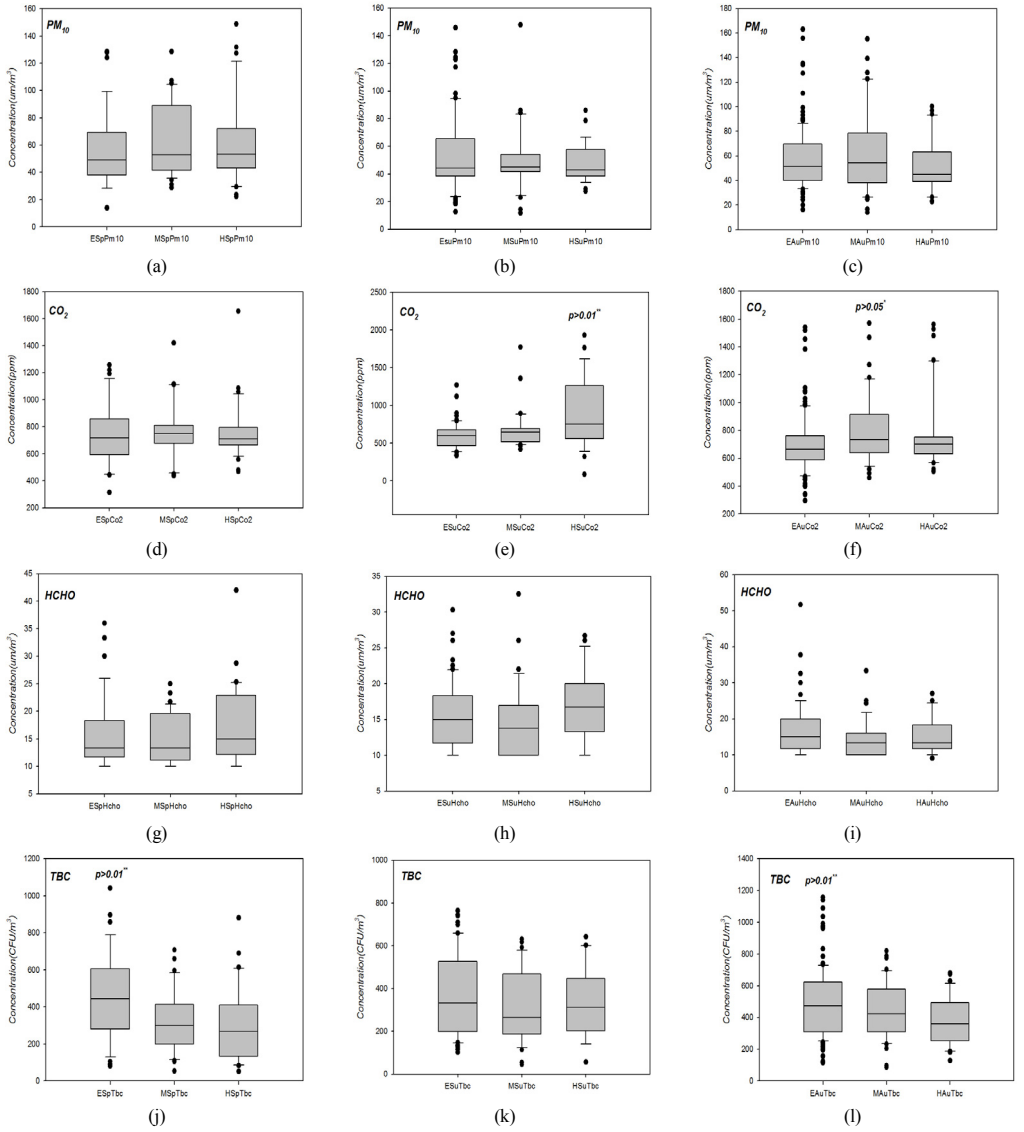

Fig. 1. Seasonal concentration variation of each pollutant at school rooms
E: elementary school, M: middle school, H: High school, Sp: Spring, Su: Summer, Au: Autumn

Table 3. Comparison of classroom/non-classroom ratio.

Item	Mean±SD[1]	Range[2]	Median	GM[3]	p-value
		Class/Non-Class Ratio			
PM_{10}	1.06	1.10-0.94	1.07	1.07	$p<.01^{**}$
CO_2	1.04	2.59-0.93	1.03	1.05	$p<.05^{*}$
HCHO	0.62	4.00-0.60	0.57	0.65	$p<.01^{**}$
TBC	1.16	3.14-0.91	1.23	1.28	$p<.01^{**}$

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

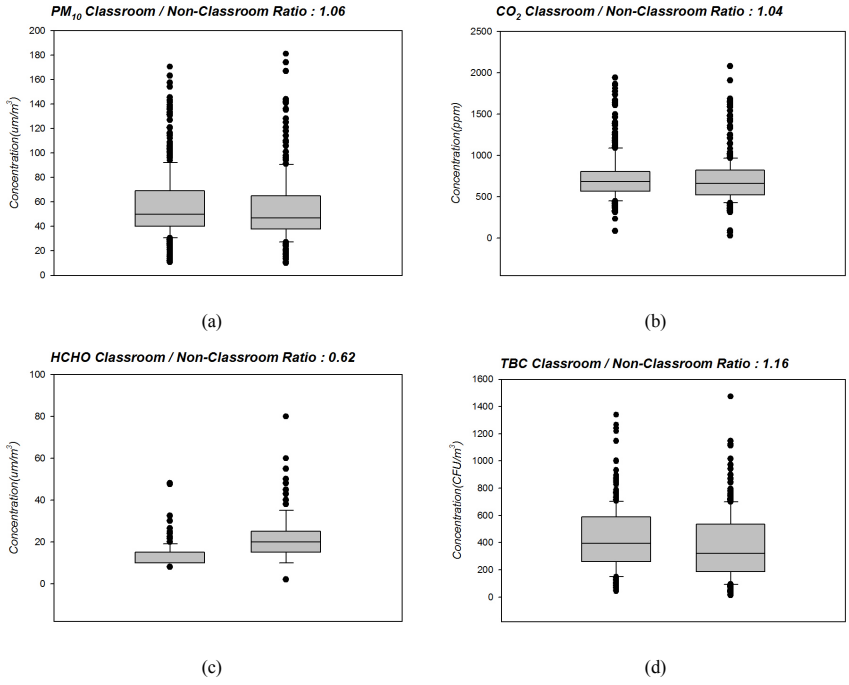

Fig. 2. Comparison of classroom/non-classroom indoor air quality.
(a) PM_{10}, (b) CO_2, (c) HCHO, (d) TBC

Table 4. Measured results of concentrations for each pollutant at classroom and non-classroom.

Item	School	Class/Non-Class	Mean±SD[1]	Range[2]	Median	GM[3]	C/N Ratio(AM/GM)	p-value
PM_{10} ($\mu g/m^3$)	Elementary school	Class	57.15±27.08	12.5-163.0	50.38	51.72	1.06 / 1.08	p<.01**
		Non-Class	53.82±28.36	10.0-181.0	46.18	47.71	-	-
	Middle school	Class	60.41±32.19	11.00-170.50	52.25	53.06	1.07 / 1.06	p<.01**
		Non-Class	56.58±28.25	11.00-142.00	47.80	50.07	-	-
	High school	Class	55.06±25.96	15.50-145.50	47.75	50.14	1.04 / 1.03	0.089
		Non-Class	52.72±22.83	18.00-167.00	46.50	48.60	-	-
CO_2 (ppm)	Elementary school	Class	682.65±219.5	234.5-1,670.0	663.50	650.91	1.03 / 1.06	0.079
		Non-Class	660.16±248.54	33.0-1,658.0	624.67	612.24	-	-
	Middle school	Class	763.62±284.24	316.50-1,866.5	696.50	720.05	1.03 / 1.03	0.325
		Non-Class	739.40±268.50	358.00-1,689.0	710.0	699.74	-	-
	High school	Class	812.52±349.60	85.50-1,942.50	708.50	748.18	1.05 / 1.05	0.119
		Non-Class	772.05±321.73	92.00-2,081.00	721.00	713.90	-	-
HCHO ($\mu g/m^3$)	Elementary school	Class	13.19±4.88	10.0-47.5	11.24	12.54	-	-
		Non-Class	21.19±10.28	10.0-80.0	19.60	19.12	0.62 / 0.66	p<.01**
	Middle school	Class	12.39±3.87	10.0-30.0	10.91	11.93	-	-
		Non-Class	19.39±9.19	10.0-55.0	18.13	17.41	0.64 / 0.60	p<.01**
	High school	Class	13.29±5.22	8.00-48.00	11.41	12.62	-	-
		Non-Class	22.75±10.19	2.00-55.00	22.00	20.37	0.58 / 0.62	p<.01**
TBC (CFU/ m^3)	Elementary school	Class	465.89±239.71	72.0-1,340.0	434.00	401.39	1.10 / 1.15	p<.01**
		Non-Class	424.48±244.72	56.0-1,474.0	392.00	349.81	-	-
	Middle school	Class	393.40±199.01	44.0-875.5	377.00	333.98	1.25 / 1.44	p<.01**
		Non-Class	314.32±216.16	18.0-941.0	256.00	231.30	-	-
	High school	Class	365.06±189.86	47.00-884.50	339.00	309.20	1.25 / 1.45	p<.01**
		Non-Class	292.67±199.43	14.00-874.00	270.00	213.49	-	-

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

4. 결론

본 연구에서는 우리나라 일부 초·중·고등학교의 실내공기질 현황을 조사 및 평가하고, 학생들이 쾌적한 교육 환경에서 생활할 수 있는 관리 방안으로 활용하는데 기여하고자 한다.

학교별 실내공기질을 분석한 결과, PM_{10}은 중학교가 가장 높았으며, 일부 학교의 경우 학교보건법 PM_{10} 기준 농도인 100 ㎍/㎥을 초과한 것으로 나타났다. CO_2는 고등학교가 초등학교와 중학교의 농도보다 각각 1.18배, 1.06배 높은 수준으로 나타났으며($p<0.01$), 일부 학교에서 학교보건법 기준 농도인 1,000 ppm을 초과한 곳도 일부 있는 것으로 나타났다. HCHO는 학교별로 유의한 차이를 나타내지 않았으며, 학교보건법 기준 농도를 초과한 학교는 없는 것으로 본 연구에서는 나타났다. TBC는 초등학교가 중학교와 고등학교보다 각각 1.23배, 1.33배 높은 수준을 보였으나($p<0.01$), 전체적으로 학교보건법 기준 농도인 800 CFU/㎥ 이하의 농도 수준을 보였다.

각 학교 계절별 실내공기질를 분석한 결과, 초등학교는 CO_2 제외한 3가지 물질인 PM_{10}, HCHO, TBC는 가을철이 높은 것으로 나타났다. 중학교의 실내공기질 농도를 분석한 결과, PM_{10}은 봄철이 다소 높은 수준으로 나타났으며, CO_2는 가을철이 가장 높은 수준을 보였다. HCHO는 봄철, TBC는 가을철의 농도가 높은 수준으로 나타내었다($p<0.01$). 고등학교의 계절별 실내공기질 농도를 분석한 결과, 본 연구에서는 통계적으로 유의한 차이를 보이는 계절은 없는 것으로 나타났다.

각 학교의 교실과 비교실의 실내공기질 농도를 비교한 결과, 본 연구에서는 PM_{10}, CO_2, TBC는 모든 학교에서 교실의 농도가 유의한 차이를 보였으며, HCHO의 농도는 비교실의 농도가 유의한 차이를 나타내었다. 전체 학교의 classroom/non-classroom ration을 분석한 결과, PM_{10}은 1.06, CO_2는 1.04, HCHO는 0.62, TBC는 1.16으로 나타났다.

본 연구에서는 각 학교별 실내공기질 농도를 분석하고, 계절적 영향과 교실 특성에 따른 실내공기질 농도를 평가하였다. 기존의 실내공기질 연구에서는 학교보건법에 따라 연 1회 조사가 대부분이었으나, 본 연구에서는 계절적 변화와 교실별 특성에 따른 분석을 실시하였다. 학교 실내공기질 오염물질을 효율적으로 관리하기 위해서는 획일적인 적용 방안 보다는 각 계절적 특성과 교실 특성을 반영한 탄력적인 저감 방안이 필요할 것이다. 또한 연 1회 법적인 조사 보다는 학생들의 생활습관을 고려한 주기적인 검사가 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] 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

[3] Landrigan, P. J., “Environment hazards for children in USA.” International Journal of Occupational Medicine Environmental Health, Vol.11, No.2, p. 189-194, 1998.

[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/10.1016/S0160-4120(02)00063-6

[6] Korea Ministry of Education. “Science and Technology : School Law.” 2010.

[7] 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

[8] World Health Organization (WHO). “Effects of air pollution on children's health and development-a review of the evidence.” 2005.

[9] 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

[10] Fisk, W. J., “Estimates of potential nationwide productivity and health benefits from better indoor environments : an update. In Spengler, J., Samet, J. M. and McCarthy, J .F. Indoor Air Quality Handbook, New York, McGraw Hill 4.1-4.36.” 2000.
[11] 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.
[12] Jeon, J. M., Jeong, M. H., Lee, H. S., Kang, B. W., “Characteristics of indoor hazardous pollutants in classroom of schools.” Journal of Korean Society for Indoor Environment, Vol.7, No.1, p. 47-61, 2010.
[13] Richard, A. W., Peter, A. S., “Indoor air pollution, A Wiley-Interscience Publication.” 1983.
[14] 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.
[15] 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.
[16] Jang, H. S., Lee, T. H., Chung, S.. H, Kim, J. H., “Indoor Air Quality in the classroom environmental assessment and management plan.” The Korean Society of Living Environmental System, Vol. 20, No.4, p. 527-532, 2013.
[17] 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.
[18] Lee, J. D., Son, B. S., Kim, Y. S., “A study on indoor air quality in school.” Journal of Korean Society for Indoor Environment, Vol.7, No.2, p. 127-134, 2010.

정 준 식(Joon-Sig Jung) **[정회원]**

- 2009년 2월 : 인제대학교 일반대학원 보건안전공학과 (환경 및 산업보건학 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

전 형 진(Hyung-Jin Jeon) **[정회원]**

- 2005년 8월 : 한양대학교 공학대학원(대기공학 석사)
- 2011년 2월 : 한양대학교 일반대학원 보건학과(보건학 박사)
- 2011년 1월 ~ 현재 : 한국환경정책・평가연구원 초빙연구원

<관심분야>
실내환경, 환경보건, 건강영향평가

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

이 민 종(Min-Jong Lee) **[정회원]**

- 2010년 8월 : 가천의과학대학교 병원경영대학원 병원경영학과 (병원경영학 석사)
- 2015년 2월 : 한양대학교 일반대학원 보건학과 (박사 수료)
- 2014년 7월 ~ 현재 : 데일리치과의원 경영지원실장

<관심분야>
구강보건, 환경보건, 의료경영