

충남 지역 일부 학교의 PM₁₀과 중금속 농도에 관한 연구

손부순 · 송미라* · 김정덕 · 조태진 · 양원호** · 정태웅***

순천향대학교 환경보건학과, *동신대학교뷰티미용학과
** 대구가톨릭대학교산업보건학과, ***세종대학교지구환경과학과
(2008년 5월 20일 접수; 2008년 8월 27일 수정; 2008년 8월 27일 채택)

The Study on Concentration of PM₁₀ and Heavy Metal in Public Schools at Chung-Nam Area

Bu-Soon Son, Mi-Ra Song*, Jung-Duk Kim, Tae-Jin Cho,
Won-Ho Yang** and Tae-Woong Chung***

Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University, Chungnam 336-745, Korea

**Department of Beauty Design, Dongshin University, Jeonnam 520-714, Korea*

***Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu, Gyeongbuk 712-702, Korea*

****Department of Earth & Environmental Science, Sejong University, Seoul 143-747, Korea*

(Manuscript received 20 May, 2008; revised 27 August, 2008; accepted 27 August, 2008)

Abstract

In this study, in order to analyze the air quality of the indoor environments of schools, we measured the indoor, outdoor and personal exposure concentration level of PM₁₀ for 40 classrooms(20 old, 20 new) in chungnam area from June 22 to July 19 and from November 21 to December 30, 2003. 1. Old classrooms contained more dust than new classrooms; the average of respirable dust is 43.27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for new classrooms while 53.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for old one. The exposure concentration level of respirable dust in new classrooms were in summer higher outdoors than indoors. The values were indoors 46.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, outdoors 50.46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and personal 41.62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Meanwhile in winter indoors had a higher concentration level than outdoors, the values being indoors 39.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, outdoors 34.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and personal 49.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 2. Cr concentration level within dust was slightly higher in summer indoors (101.50 \pm 32.10 ng/m³) and outdoors (100.89 \pm 35.18 ng/m³) than winter indoors (85.80 \pm 48.95 ng/m³) and outdoors (74.43 \pm 38.93 ng/m³), but in personal concentration level, winter was higher. The results of this research show insufficient understanding of health risks from indoor air pollution, and shows possible health problems to students from school indoor air pollution. As such, a logical and systematic education program for students about the importance of indoor air quality should be carried out. Also the results of PM₁₀ concentration level measurements emphasize the need for regular measurements of indoor / outdoor and personal concentration level. New classrooms in particular needs to be used after measuring pollutants and safety, and requires installation of a ventilation device in all classrooms to improve air quality.

Key Words : PM₁₀, Heavy metal, Air quality of indoor

위한 건물의 밀폐화와 단열재 사용의 증가로 건물의 실내공기질이 악화되었으며, 경제수준의 향상으로 인해 다양한 생활용품이 사용되고, 건축자재에서 새로운 오염물질이 방출되면서 실내공기가 오염되어 건물내 거주하는 사람들의 건강에 영향을 미치게 되었다¹⁾.

최근 새집 증후군(Sick House Syndrome)과 새로운 건물에서 배출되는 각종 유해성 공기오염 물질들로 인해 인체가 심각한 피해를 입어 발생하는 복합 화학물질 과민증(Multiple Chemical Sensitivity)도 심각한 문제가 있음이 새롭게 인식되고 있다. 학교의 경우도 신축건물에 대한 청소년들의 건강영향 가능성 우려가 높으며, 다양한 연구가 시도되고 있다²⁾.

실내공기질에 영향을 미치는 오염물질로는 CO, CO₂, NO₂, SO₂, 미세먼지, 중금속, 석면, 라돈, 휘발성 유기화합물(VOCs), 포름알데히드, 병원성 세균 등이 있으며, 실내공기오염의 원인으로는 산업 발달과 차량 증가에 따른 실외 대기오염물질의 유입과 환기부족, 실내 흡연, 연소기구의 사용 등이 가장 큰 원인으로 작용하고 있다³⁾.

서울시 소재 중학교를 대상으로 실내외 환경의 분진 중 중금속 농도를 조사한 배 등⁴⁾은 도시화와 산업화에 따른 학교환경의 중금속 오염 양상을 조사하여 실내·외 중금속오염이 과거 차량배기에 의한 오염영향과 공업활동에 의한 것으로 판단된다고 하였다.

손 등⁵⁾은 서울시 일부학교의 실내공기질과 인식도 조사를 위해 교육인적자원부 학교보건법의 규정 항목인 미세먼지 등을 측정하여 분진은 대부분이 호흡기관을 통해 인체에 영향을 미치는데 인체에 가장 유해한 공기역학적 직경이 0.5~5 μm 인 먼지를 포함한 PM₁₀(Particle Materials, <10 μm)이 학교보건법의 실내환경기준 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하였다고 발표하였고, 교실의 실내공기 오염에 대한 지속적인 측정과 관리가 필요함을 제안 하였다. 김⁶⁾은 교실에서의 실내오염원이 실외 대기중 분진의 실내유입, 분필의 사용, 실내에서의 학생들의 각종 활동, 건축자재, 난방기구의 사용으로 인한 불완전 연소 등에 기인한다고 보고했다.

현대인은 실외에서 활동하는 시간보다 실내에서 지내는 시간이 더 많고(70~80%), 특히 신체와 정신

의 성장발육이 왕성한 시기에 있는 성장기 어린 학생들의 경우, 활동량이 많아 개인이 흡입하는 호흡량은 많은데 비해, 아직 전반적인 면역력이 약해서 오염된 실내공기로 인한 피해가 심할 것으로 생각한다. 특히 학생들은 대부분의 시간(7시간~14시간)을 학교와 학원 등 교실 실내에서 생활을 하게 되므로, 이들이 생활하는 공간인 학교의 실내환경을 쾌적하고 안전하게 만들어 주고, 유지 관리하는 일은 매우 중요한 일이다⁷⁾.

이에 본 연구는 청소년들이 건강하게 자랄 수 있는 학교 실내환경 조성을 위하여 학생들이 생활하는 학교 실내·외 환경의 미세먼지 농도와 미세먼지중의 중금속 성분 및 농도를 조사하고, 휘발성 유기화합물(VOCs)의 농도를 측정하여 실태조사를 하는 것이다. 또한 설문조사를 통해 학생 및 선생님들의 실내공기질 인식을 파악하여 학교 학생들의 건강관리 교육자료로 활용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구 대상 및 기간

충남지역의 천안시, 아산시, 당진군내 초등학교 9개 학교와 2개 중학교에서 학교별로 2~4개 교실을 무작위로 선정하여 여름(2003년 6월 22일~7월 19일)과 겨울(11월 21일~12월 30일)에 각각 건축한지 3년 이상 된 교실(이하 구교실이라 칭함) 20개, 건축한지 3년 이내의 교실(이하 신교실이라 칭함) 20개를 선정하여 48시간동안 시료를 포집하였다. 연구대상 물질로는 공기 중 미세먼지(PM₁₀)와 중금속이었다.

2.2. 연구방법

2.2.1. PM₁₀의 농도측정 및 분석

부유분진 중 입경이 10 μm 이하의 미세먼지인 PM₁₀을 포집하기 위하여 유량범위가 0~5 LPM(ℓ/min)인 Pump(personal air sampler-Gilian社.)와 Cyclone & Cassette holder assembly kit(Gilian社, Document No. F-PRO-1247)를 이용하여 2일 연속 측정하였다. Pump의 유량은 1.7 LPM으로 조정하였고, 측정 전·후의 유량을 3회 측정하여 평균값을 이용하였다.

실내·실외의 오염농도를 비교하기 위해 각교실당 실내와 실외를 동시에 측정하였고, 개인노출량

은 학급 담임교사를 대상으로 측정하였다. 중학교에서는 담임교사가 바뀌는 관계로 학급 대표 1명을 선정하여 개인용 시료 포집기를 부착하도록 하였다.

실내의 측정 지점은 학생들의 호흡기 높이(110 cm)로 교실 중앙부에 측정기를 설치하였고 수업중 기계로 인한 소음피해를 예방하기 위해 펌프를 스티로폼 상자에 넣어 차음시켰다. 실외농도를 측정하기 위해 펌프와 측정기를 창문 밖에 비 맞지 않도록 상부를 가리고, 간격이 5 cm 정도 되는 철망 상자에 담아 난간에 설치하였다.

개인의 시료포집을 위해서는 담임교사(중학교는 학급대표)로 하여금 상의(上衣) 옷깃에 personal air sampler의 카세트를 부착하도록 하고 sampler의 펌프는 허리띠에 걸거나 소형 가방을 이용하여 착용하도록 하였다.

2.2.2. 시료 포집 방법

① PVC membrane filter를 향한, 항습 상태인 데시게이트 내에서 48시간 이상 보관하여 항량이 되도록 한 후 filter의 무게를 3회 측정한다.

② 무게를 측정한 filter는 카세트에 장착시키고 튜브를 이용해 연결시킨다

③ Pump는 1.7 LPM으로 유량 보정한다. 유량은 3회 측정 후 평균 값을 이용한다.

④ ‘카세트 → 튜브 → 펌프’로 연결시킨 후 학교 실내·외에서 측정한다.

⑤ 측정을 마치고 돌아온 후 filter는 시료 채취 전과 동일한 방법으로 48시간 이상 데시게이트 내에 보관한 후 무게를 3회 측정한다.

측정에 사용되는 filter는 사용용도에 따라 여러 가지 재질이 사용될 수 있으나 가장 일반적으로 사용되는 G/C Membrane filter를 사용하였으며, 감도 0.01 mg 까지 측정 가능한 semi-micro balance(Sartorius社, BP211D, USA)를 사용하여 여지무게를 측정한 후 아래의 식을 이용하여 질량 농도를 분석하였다.

2.2.3. 질량 농도계산식

$$\text{질량농도 } C(\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{\text{먼지무게 } (\mu\text{g})}{\text{시료채취총유량 } (\text{m}^3)}$$

$$= \frac{\text{측정후여지무게 } (\mu\text{g}) - \text{측정전여지무게 } (\mu\text{g})}{\text{시료채취유량 } (\ell/\text{min}) \times \text{시료채취시간 } (\text{min})} \times 1,000(\ell/\text{m}^3)$$

2.3. PM₁₀ 중 중금속(Heavy Metal)의 농도측정 및 분석

2.3.1. 전처리

화학원소의 농도를 측정하기 위해서는 Standard Method(air sampling analysis, 2002)를 참고하였고, 필터의 중금속 추출장치로는 Microwave (Questron Corporation社, Q45 Enviroprep, USA)를 사용하였으며, 이는 기존의 처리방식에 비하여 고온, 고압하에서 여지의 분해가 가능하고, 전처리의 시간을 단축할 수 있다. Microwave의 vessel에 여지를 넣고 1.03M질산 + 2.23M염산(1:1)을 10 ml 가한 후, 545W에서 5분, 344W에서 5분을 가열한 후 0.5 μm의 필터를 이용하여 여과한 후 ICP-MS로 분석하였다.

2.3.2. ICP-MS를 이용한 중금속 분석

Table 1에 ICP-MS의 분석 조건을 나타내었고, Fig. 1에 중금속 성분의 분석 순서를 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. PM₁₀측정결과

3.1.1. PM₁₀의 실내·실외 및 개인 노출농도

Table 2에 나타난 것과 같이 실내와 실외의 평균 분진량이 46.34 μg/m³과 47.38 μg/m³인 반면 개인노출량은 51.61 μg/m³로서 다소 높았다. 홍콩의 연구에서는 5개 교실에서 21~617 μg/m³까지 농도가 측정되어 보고된 바 있고⁸⁾, 이태리 모데나의 대학도서관에서 측정한 실내공기 측정 자료에는 충분진이 실내(실내 80 μg/m³, 실외 350 μg/m³)와 시외(실내 210 μg/m³, 실외 200 μg/m³)로 보고 되었으며⁹⁾, 신 등¹⁰⁾의 연구에서는 초등학교 교실에서 240 μg/m³과 303 μg/m³으로 보고된 것과 비교하여 낮은 농도값을 나타내었다. 배 등⁴⁾은 서울시 소재 3학교에서의 미세먼지 측정 결과 20개 교실 중 4개 교실만 150 μg/m³이

Table 1. Operating condition for the ICP-MS

RF forward power	1,000 watt
Plasma argon flow	14.8 ℓ/min
Auxiliary argon flow	0.84 ℓ/min
Nebulizer argon flow	0.90 ℓ/min
Sample uptake flow	1.0 ml/min
Nebulixer	Cross flow type
Quadrupole chamber	2×10 ⁻¹⁰ torr.

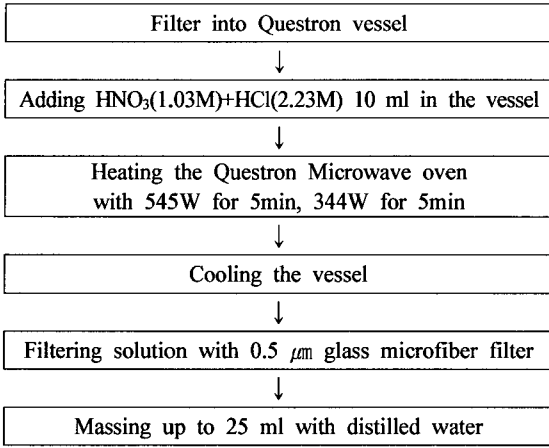


Fig. 1. Procedure for heavy metal analysis.

Table 2. Measured concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of PM_{10} in indoor, outdoor and personal exposure

Sampling site	N	Mean \pm S.D.	Minimum	Maximum
Indoor	73	46.34 \pm 30.49	6.17	135.48
Outdoor	73	47.38 \pm 31.12	4.36	171.42
Personal	73	51.61 \pm 29.98	7.73	149.94
Total	219	48.44 \pm 30.48	4.36	171.42

하이교 나머지 16개 교실은 기준을 초과한 것으로 보고하였다.

본 연구 결과가 전반적으로 다른 연구에 비해 PM_{10} 의 양이 낮은 것은 측정기간 동안 해당 지역의 날씨 특성(일조 시간 : 여름 평균 3.1시간, 겨울 4.6시간, 평균기온 : 여름 22.2 $^{\circ}\text{C}$, 겨울 1.7 $^{\circ}\text{C}$, 평균 풍속 : 여름 평균 1.7 m/sec, 겨울 1.8 m/sec)과 높은 습도(여름 : 평균 82.4%, 겨울 : 평균 71.3%)의 영향도 있었던 것으로 생각한다 (측정기간 동안의 기상청 자료 참고-금강 유역과 천안시). 본 연구가 진행된 여름의 측정기간 6월 22일부터 7월 19일은 장마철로, 28일 중 18일(64.3%)이 비 오는 날이었으며, 평균 강수량이 11.8 mm이었다. 동일지역 6월과 7월의 실외 분진 농도는 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 겨울 측정기간 동안에 강수량은 0.7 mm로 적었으나 눈이 조금씩 오는 날이 많아서 역시 대기 중 먼지량이 적은 기간이었다. 이와 같이 여름과 겨울 모두 측정기간은 대부분 흐린 날씨로 외부에서의 먼지 발생이 적었다. 미세먼지(PM_{10})에 대한 환경부 기준은 연간

평균치 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 24시간 평균치 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 학교보건법 시행규칙의 기준은 24시간 평균 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다.

개인노출 농도가 51.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 실내(46.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)나 실외(47.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 높게 나타났는데, 이는 교사들이 출퇴근 시간과 집에서 측정기를 착용하였고, 학교 이외의 자택이나 이동 중 더 높은 환경에 노출되었기 때문으로 생각한다. 측정했던 모든 학교가 주거지역에 위치한 관계로 일반도로나 공장지역 보다는 미세먼지의 농도가 낮았다.

3.1.2. 신·구교실별 PM_{10} 의 농도

측정대상교의 평균 PM_{10} 량은 Table 3과 같이 구교실 53.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 신교실 43.27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 신교실에 비해 구교실이 높았는데, 이는 구교실의 바닥이 마루인 경우가 대부분이고, 신교실은 모든 시설이 새것으로 먼지 발생이 적었고 교실 바닥도 PVC나 모노륨인 경우가 많았기 때문으로 생각한다. 그러나 신·구교실 모두 학교보건법에서 정한 기준 24시간 평균 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하이었다.

3.1.3. 계절별 PM_{10} 의 농도

Table 4와 같이 전체적으로 보았을 때 여름과 겨울의 평균 PM_{10} 차이는 통계적으로 없었다. 여름(신 : 46.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 구 : 50.46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에는 신구차이가 없었고, 겨울(신 : 40.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 구 : 56.10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에는 구교실의 PM_{10} 이 많았는데, 신구교실을 통합하면 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리

Table 3. Measured concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$)of PM_{10} in new and old classes

Sampling site	No.	Mean \pm S.D.	Minimum	Maximum
New class	107	43.27 \pm 23.93	4.36	129.67
Old class	112	53.38 \pm 35.03	6.17	171.42

Table 4. Measured Concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) PM_{10} in summer and winter

Sampling site	N	New classes	Old classes	Total
		Mean \pm S.D.(Median)		
Summer	101	46.17 \pm 26.21 (41.11)	50.46 \pm 33.85 (43.25)	48.47 \pm 30.46 (42.94)
Winter	118	40.99 \pm 21.95 (39.38)	56.10 \pm 36.17 (40.92)	48.42 \pm 30.62 (39.82)

고 측정기간인 여름과 겨울 모두 외부 기상이 눈이 오거나 비오는 날이 많아 대체적으로 실외 PM₁₀의 농도는 낮았다.

3.1.4. 계절별, 신·구교실별 PM₁₀의 농도

Table 5와 같이 구교실은 여름 47.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 겨울 52.72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 다른 연구에서와 마찬가지로 겨울의 분진량이 더 많았는데¹⁰⁾, 이는 구건물에 중등학교가 2곳 포함되어 있어 먼지발생량이 더 높았던 것으로 생각한다. 대체적으로 초등학교 교실의 어린이들은 교실이 더 깨끗하고 청소도 청소기를 사용 하는 반면 중학교에서는 학생들이 뛰거나 움직임이 크고, 교실내부의 청소가 잘 되지 않아서 더욱 더 높은 수치를 보인 것으로 생각한다. 신교실은 여름 46.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 겨울 39.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 겨울보다 여름의 분진량이 더 많게 측정되었다. 이는 여름에는 신교실의 공사가 미비되어 운동장에서 각종공사가 많았고, 겨울에는 외부공사가 완료되고 신설학교는 교실 주변이 대부분 포장이 된 관계로 외부 먼지가 더 적게 발생한 것으로 판단된다.

본 연구에서 측정된 학교 급별 미세먼지량도 초등학교(23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 중등학교(66.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 79.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 높은 것으로 조사되었다. 이는 초등학교 학생들보다 중등학교 학생들이 실내에서 움직임이 높고, 청소상태도 불량하여 오는 결과라 판단한다.

김¹¹⁾의 연구에 의하면 공업도시인 창원과 전원도

시인 밀양의 총분진의 평균 농도는 초등(244.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 779.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) < 중등(448.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1,559.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) < 고등(1,377 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2,498.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)인 것으로 본 연구와 비슷한 결과를 보였고, 밀양지역에 소재한 학교는 대부분 건물이 노후되어 분진의 농도가 높게 나타났다고 발표하였다. 김¹²⁾의 여천공단에서의 연구에서도 실내가 66.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 실외 농도 47.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 1.41배 높다고 발표하였다. 그러나 본 연구에서의 실내와 실외를 비교해 보면 Fig. 2와 같이 여름철은 실내(46.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 실외(50.46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 더 낮았으나 겨울철에는 신교실인 경우 실내외 차단이 잘되어 실내(39.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 실외(34.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 더 높았고, 구교실인 경우에는 실내·외 농도(52.72./m³, 53.46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 통계적으로 차이가 없었다.

초·중등학교 학생 특성상 쉬는 시간만 되면 교실 앞뒤 출입문을 열고 많이 드나드는 관계로 실내·외 차이가 통계적으로 없었으며, 측정 당시 실외의 습도가 높고, 흐리거나 비오는 날이 많아 2003년 측정 당시인 7월의 천안지역 미세먼지(PM₁₀) 평균농도가 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 분진의 발생이 적었던 것에 비하여 측정 교실 실외의 분진량이 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 점을 감안해 본다면 학교 실내·외의 분진 발생이 많음을 알 수 있다.

학생들이 어른에 비해 면역력은 약하고, 활동이 활발하여 호흡량이 많은 점을 감안한다면, 교실내의 먼지 발생을 예방하고, 외부에서의 유입을 방지할 수 있는 방법을 강구할 필요가 있다고 생각한다. 그러나 본 연구대상 교실의 경우, 환기 시스템이 전

Table 5. Mean concentration($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of PM₁₀ of new classes and old classes in summer and winter

Sampling site		No.	Indoor	Outdoor	Personal	I/O*
			Mean±S.D. (Median)			
Summer	New class	20	46.71±26.53 (42.02)	50.46±31.50 (49.14)	41.62±20.86 (35.00)	0.93
	Old class	20	47.29±31.23 (36.91)	51.95±36.35 (43.25)	52.14±35.49 (46.12)	0.91
Winter	New class	20	39.11±28.86 (31.33)	34.86±16.46 (33.41)	49.01±18.36 (53.18)	1.12
	Old class	20	52.72±35.91 (37.08)	53.46±35.42 (38.37)	62.25±38.34 (57.46)	0.99
Total		80	46.34±30.49 (35.14)	47.38±31.12 (40.06)	51.61±29.98 (47.79)	0.98

* I/O ratio : Indoor/Outdoor

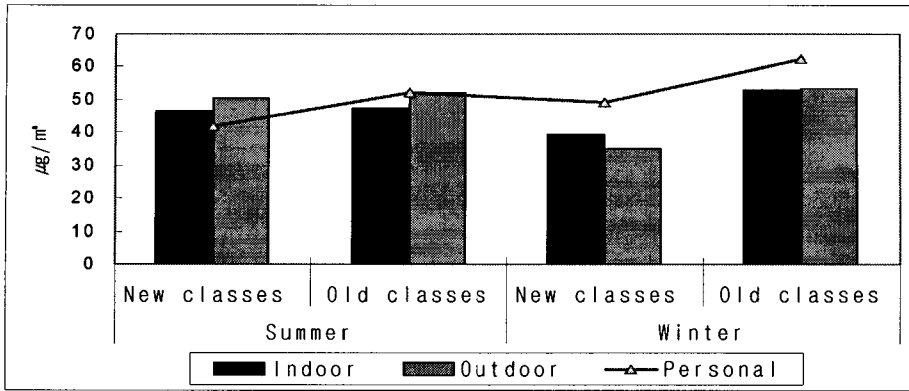


Fig. 2. Mean concentration(µg/m³) of PM₁₀ of new classes and old classes in summer and winter.

혀 없었고, 자연환기에 의존할 수밖에 없어서 한 학급 35~40명 기준 교실에 1시간 5회 창문을 통한 환기가 되어야하는 실정인데, 수업을 방해하는 학교 주변과 교실 상호간의 소음과 황사, 비 등으로 창문을 열 수 없는 외부환경을 갖고 있기 때문에, 교실의 인공적인 환기시설 설치 필요성이 요구된다.

3.2 중금속 측정결과

3.2.1. 중금속의 농도

포집된 분진 중 중금속의 종류와 농도 분석 결과를 Table 6에 나타내었다. 가장 높은 농도를 나타낸 것은 철(Fe)로 평균 704.4 ng/m³이었고, Fe > Ca > Cr > Mg > Zn > Pb > Ni > Mn > As > Cd 순이었다.

남¹³⁾의 연구에서는 Ca, Mg, Na, Pb, Zn 등의 원소가 대부분의 실내공간에서 높은 농도값으로 조사되어, 본 연구와 비슷한 구성을 나타내었다.

Table 6. Mean concentrations(ng/m³) of heavy metals in PM₁₀ (n=219)

Heavy Metal	Mean±S.D. (Median)	Heavy metal	Mean±S.D. (Median)
Pb	31.84±39.97 (18.83)	Ni	18.25±17.54 (16.87)
Cd	0.86±0.64 (0.67)	As	2.0±1.73 (1.47)
Cr	97.99±44.36 (97.91)	Ca	205.0±225.5 (138.64)
Mn	14.85±10.16 (13.07)	Mg	88.02±70.16 (61.34)
Fe	704.4±403.1 (645.08)	Zn	46.62±46.86 (34.02)

3.2.2. 중금속의 실내·실외 및 개인노출 농도

Table 7과 같이 대체적으로 실내(Pb: 27.76 ng/m³, Cd: 0.77 ng/m³, Cr: 90.19 ng/m³, Mn: 13.03 ng/m³, Fe: 622.4 ng/m³, Ni: 16.35 ng/m³, As: 1.73 ng/m³, Ca: 202.0 ng/m³, Mg: 77.01 ng/m³, Zn: 40.15 ng/m³)와 실외(Pb: 26.75 ng/m³, Cd: 0.76 ng/m³, Cr: 92.31 ng/m³, Mn: 13.37 ng/m³, Fe: 659.9 ng/m³, Ni: 17.98 ng/m³, As: 1.83 ng/m³, Ca: 191.8 ng/m³, Mg: 78.77 ng/m³, Zn:

Table 7. Measured mean concentration(ng/m³) of PM₁₀ in indoor, outdoor and personal exposure

Heavy Metal	Mean±S.D. (Median)		
	Indoor (n=73)	Outdoor (n=73)	Personal (n=73)
Pb	27.76±34.28 (15.52)	26.75±32.45 (17.40)	41.02±49.8 (25.52)
Cd	0.77±0.59 (0.56)	0.76±0.55 (0.61)	1.06±0.72 (0.98)
Cr	90.19±37.0 (94.92)	92.31±40.39 (94.16)	111.46±51.77 (101.20)
Mn	13.03±9.21 (10.97)	13.37±8.91 (11.03)	18.15±11.48 (17.16)
Fe	622.4±332.6 (573.77)	659.9±373.5 (601.01)	829.2±465.1 (707.01)
Ni	16.35±14.86 (16.41)	17.98±20.78 (16.88)	20.41±16.39 (20.38)
As	1.73±1.54 (1.25)	1.83±1.71 (1.32)	2.43±1.89 (1.86)
Ca	202.0±255.0 (138.25)	191.8±206.4 (119.28)	221.0±213.78 (160.52)
Mg	77.01±64.63 (50.47)	78.77±65.06 (56.85)	108.11±76.60 (75.74)
Zn	40.15±38.05 (28.49)	43.35±43.76 (33.00)	56.37±56.0 (40.55)

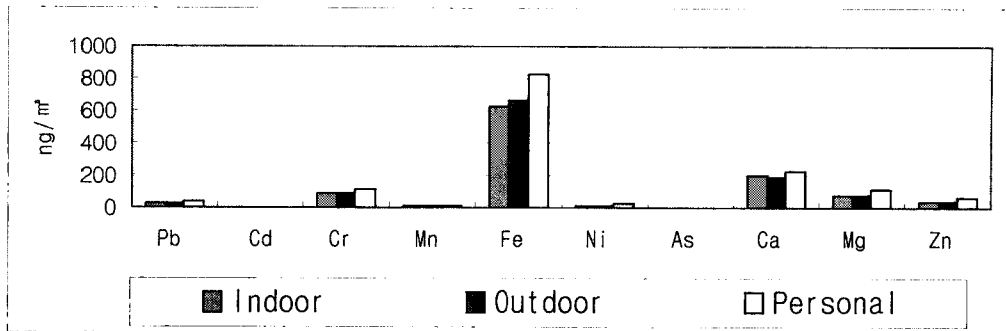


Fig. 3. Measured mean concentration(ng/m³) of PM₁₀ in indoor, outdoor and personal exposure.

43.35 ng/m³)가 비슷한 수준이었으나, Fig. 3과 같이 개인노출(Pb: 41.02 ng/m³, Cd: 1.06 ng/m³, Cr: 111.46 ng/m³, Mn: 18.15 ng/m³, Fe: 704.4 ng/m³, Ni: 20.41 ng/m³, As: 2.43 ng/m³, Ca: 221.0 ng/m³, Mg: 108.11 ng/m³, Zn: 56.37 ng/m³)은 더 높게 나타났다.

대전지역의 2003년 6월, 7월, 11월, 12월 대기중 중금속 농도(금강유역 환경청 자료 활용)와 천안, 아산, 당진 대상학교의 수집된 분진 중 중금속 성분을 비교해 보면, Pb, Cd, Cr, Ni은 이번 연구 결과가 금강유역 환경청 측정 자료보다 더 높게 나타난 것으로 보아 학교에서의 중금속 관리가 시급한 과제임을 알 수 있었다.

이¹⁴⁾의 연구에서도 백화점, 사무실 등 전체적으로 중금속의 경우 실내·외의 측정결과를 기준치나 권고치와 비교하였을 때 매우 낮은 수준의 농도로 조사되었다고 발표하면서 납, 구리, 철의 경우는 실내보다 실외에서 많이 검출되었고, 납과 망간의 경우는 전체 측정지점에서 실내외 구분없이 유사하게 검출되었다고 발표하였다.

신¹⁰⁾의 연구 결과에서도 제시하고 있듯이, 학교는 어린이들이 생활하는 공간이므로, 피해가 신체적 증상으로는 즉시 나타나지 않는다 하여도 체중에 비하여 성인보다 호흡량이 많으며, 장기간의 노출로 축적되어 수년이 지난 후 신체적 문제가 발생할 수 있음을 감안하여 쾌적한 환경을 갖추고 바른 성장을 도와야 할 필요성이 있다고 생각한다.

3.2.3. 신·구 교실별 중금속 농도

Table 8과 같이 대부분의 중금속이 구교실에서 대체적으로 높았으며, 특히 Fig. 4과 같이 구교실의

Table 8. Measured mean concentration(ng/m³) of PM₁₀ in new classes and old classes

Heavy metal	Mean±S.D. (Median)		
	New classes (n=107)	Old classes (n=112)	Total (n=219)
Pb	23.27±30.09 (15.02)	40.04±46.2 (26.03)	31.84±39.97 (18.83)
Cd	0.76±0.66 (0.49)	0.96±0.60 (0.86)	0.86±0.64 (0.67)
Cr	96.49±47.22 (92.72)	99.41±41.62 (101.72)	97.99±44.36 (97.91)
Mn	12.54±8.77 (10.59)	17.05±10.93 (15.87)	14.85±10.16 (13.07)
Fe	620.05±357.66 (562.49)	784.29±428.34 (736.75)	704.4±403.1 (645.08)
Ni	17.43±18.96 (14.26)	19.03±16.11 (18.88)	18.25±17.54 (16.88)
As	1.75±1.55 (1.23)	2.24±1.87 (1.70)	2.0±1.73 (1.47)
Ca	147.88±114.42 (132.38)	259.05±284.48 (185.70)	205.0±225.5 (138.64)
Mg	75.08±60.48 (54.02)	100.27±76.5 (72.42)	88.02±70.16 (61.34)
Zn	43.22±55.25 (24.21)	49.88±37.09 (42.59)	46.62±46.86 (34.02)

납, 철, 칼슘, 마그네슘(Pb : 40.04 ng/m³, Fe : 784.29 ng/m³, Ca : 259.05 ng/m³, Mg : 100.27 ng/m³)은 신교실(Pb : 23.27 ng/m³, Fe : 620.05 ng/m³, Ca : 147.88 ng/m³, Mg : 75.08 ng/m³)보다 크게 높았다.

신축아파트의 실내 납 측정 결과 850 ng/m³로 보고한 자료에 비하면 신실교에서의 납농도는 일반 주택보다 낮았으며¹⁴⁾, 신·구교실의 중금속 농도를 비교측정한 연구는 아직 없어서 비교가 어렵지만 신교실에 비해 구교실의 중금속 농도가 높은 것은 구건물이 오래되어 낡고, 자주 보수를 한 결과라 생

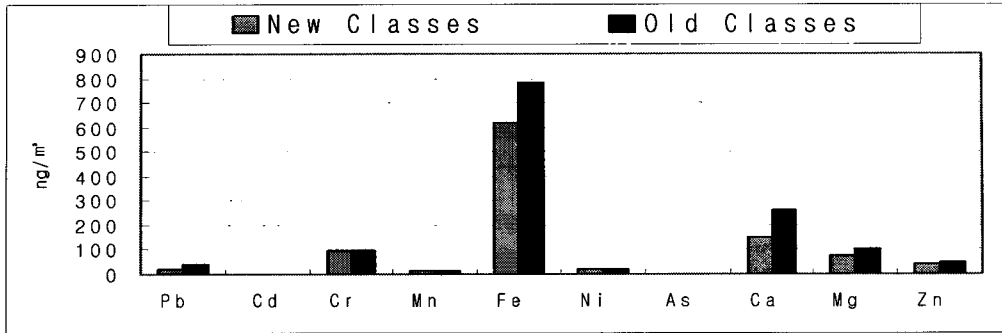


Fig. 4. Measured mean concentration(ng/m³) of PM10 in new classes and old classes.

각한다. 전반적으로 교실 바닥 재질 등(구교실은 마루바닥이 많음)의 건물 구조상 먼지 발생량이 많기 때문에 중금속도 높은 것으로 추정된다.

3.2.4. 계절별 중금속 농도

본 연구에서는 여름과 겨울의 PM10에 함유된 중금속 분석 결과 Table 9와 같이 여름(Pb : 31.24 ng/m³, Cd : 0.7 ng/m³, Cr : 101.7 ng/m³, Mn : 13.69 ng/m³, Fe : 694.4 ng/m³, Ni : 19.85 ng/m³, As : 1.63 ng/m³,

Ca : 207.55 ng/m³, Mg : 76.42 ng/m³, Zn : 47.11 ng/m³)보다 겨울(Pb: 32.36 ng/m³, Cd : 1.0 ng/m³, Cr : 94.81ng/m³, Mn : 15.83 ng/m³, Fe : 712.9 ng/m³, Ni : 16.85 ng/m³, As : 2.31 ng/m³, Ca : 202.83 ng/m³, Mg : 97.86 ng/m³, Zn : 46.21 ng/m³)이 대부분 더 높았으나, Cr, Ni, Ca, Zn은 여름철에 더 높았다. 이는 실내 공사로 인한 것이거나 외부에서 유입된 것으로 판단된다.

Table 9. Measured mean concentration(ng/m³) of PM10 in summer and winter

Heavy metal	Mean±S.D.(Median)	
	Summer	Winter
Pb	31.24±52.13 (13.66)	32.36±25.57 (26.11)
Cd	0.70±0.59 (0.50)	1.00±0.65 (0.89)
Cr	101.70±31.97 (102.38)	94.81±52.65 (87.56)
Mn	13.69±11.04 (9.56)	15.83±9.29 (14.21)
Fe	694.4±392.3 (647.65)	712.9±413.5 (642.51)
Ni	19.85±15.56 (20.17)	16.85±19.05 (12.98)
As	1.63±1.50 (1.11)	2.31±1.86 (1.84)
Ca	207.55±231.61 (135.64)	202.83±221.09 (138.64)
Mg	76.42±67.17 (43.85)	97.86±71.41 (73.11)
Zn	47.11±57.06 (23.93)	46.21±36.17 (38.98)

4. 결론

본 연구는 학교 실내환경의 공기질을 분석하고자 2003년 6월 22일부터 7월 19일(여름)과 동년 11월 21일부터 12월 30일(겨울)까지 충청남도 일부지역의 초·중학교 40개 교실(구교실 20개, 신교실 20개)을 선정하여, PM10(흡입성 분진)에 대한 실내·실외·개인 노출 농도를 측정하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 신교실의 호흡성 분진은 평균 43.27 µg/m³이고, 구교실은 53.38 µg/m³로 신교실에 비해 구교실의 분진량이 많았다.

신교실의 호흡성분진의 농도는 여름철 실내 46.71 µg/m³, 실외 50.46 µg/m³, 개인 41.62 µg/m³로 실내보다 실외가 높으나 겨울철은 실내 39.11 µg/m³, 실외 34.86 µg/m³, 개인 49.01 µg/m³로 실외보다 실내가 높았다.

2. 분진 중 Cr의 농도는 여름의 실내(101.50±32.10 ng/m³)와 실외(100.89±35.18 ng/m³)가 겨울의 실내(85.80±48.95 ng/m³)와 실외(74.43±38.93 ng/m³)보다 약간 높은 편이나, 개인농도에서는 겨울이 더 높았다.

본 연구 결과 학교 실내 공기 오염이 학생들에게 건강상의 피해를 줄 가능성이 있음을 나타내고있다. 따라서 교사와 학생들을 대상으로 실내공기의 중요성에 대한 체계적이고 계획적인 교육이 이루어져야 할 것이다. 또한 신축 교실의 경우는 오염물질 측정결과 안전성을 확인한 후 사용 되도록 지도가 필요하며, 모든 교실에 공기질 향상을 위한 환기장치의 필요성이 제기되었다.

참고 문헌

- 1) Shin D. C., Yang J. Y., Lim Y. W., Kim H. H., Park S. E., Hong C. S., 2003, Influence of indoor pollution in habitants health and development of the model of healthy home environment, *Atmos. Env.*, 35, 69-70.
- 2) Kim Y. S., 1995, Health effect of Indoor Air Pollution, *Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea*, 24(1): 29-32.
- 3) Son B. S., 1998, Indoor Air Pollution, ShinKwang, Inc.
- 4) Bae Y. J., Kim K. H., Chon H. T., An J. S., 1998, Heavy Metal Concentrations of Indoor and Outdoor Dusts -In Middle Schools in the Kangseoku and Yangchonku Areas, Seoul-, *Korean Earth Science Society*, 19(5), 449-460.
- 5) Son J. R., Byeon S. H., Kim Y. H., Kim J. H., Cho Y. S., Lee J. Y., Park Y. J., 2003, Assessment of Conscious Coginition Degree and Survey on the Indoor Air Quality at a public School in Seoul, *Korean Society For Sanitation*, 18(3), 101-110.
- 6) Kim J. W., 2000, A Study on the Indoor Air Pollution Levels in the Classrooms at Public Schools, Master Dissertation, Dept. of Environmental Engineering, Ajou University, Suwon.
- 7) EPA, 1995, Indoor air Quality(IAQ) Tools For Schools, IAQ Coordinator's Guide, 1-78.
- 8) Lee S. C., Chang M., 2000, Indoor and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong, *chemosphere*, 41, 109-113.
- 9) Shin E. S., Kim J. W., 2002, A Study on the Indoor Air Pollution Levels in the Classrooms at Public Schools in Suwon, *Korean Society For Sanitation*, 17(1), 20-27.
- 10) Shin E. S., Choi M. K., Sun W. Y., Chung Y. S., 2002, Trace Elments Characterization of PM₁₀ in Seoul Area, *Atmos. Env.*, 18(5), 363-372.
- 11) Kim Y. S., 1999, A Study on the Indoor Air Pollution Levels in the Schools, *Korean Society For Health Education And Promotion*, 110-114.
- 12) Kim S. W., 1997, Source Characterization and Concentration of Chemical Elements in Fine Particulate in An Industrial Area, Master Dissertation, Graduate School of Env. Studies, Hanyang University, Seoul.
- 13) Nam B. H., Hwang I. J., Kim D. S., 2000, Classification of PM-10 in indoor Air Using Pattern Recognition, *Atmos. Env.*, 141-142.
- 14) Lee T. K., 2002, A Study on the Characterization of Indoor Air Pollution and Management, Master Dissertation, Graduate School of Education, Yong In University, Yongin.