

## 국내 일부학교 건축물의 실내공기질 평가

손종렬<sup>†</sup> · 노영만<sup>\*</sup> · 손부순<sup>\*\*</sup>

고려대학교 보건과학대학 환경보건학과, \*한양대학교 환경 및 산업의학연구소,  
<sup>\*\*</sup>순천향대학교 환경보건학과

## The Assessment of Survey on the Indoor Air Quality at Schools in Korea

Jong-Ryeul Sohn<sup>†</sup> · Young-Man Roh<sup>\*</sup> · Bu-Soon Son<sup>\*\*</sup>

Department of Environmental Health, Korea University

<sup>\*</sup>Department of Occupational & Environmental Medicine, Hanyang University

<sup>\*\*</sup>Department of Environmental Health Science, Soonchunyang University

(Received March 9, 2006/Accepted March 20, 2006)

### ABSTRACT

Recently, indoor air quality (IAQ) in workplace, residential environments and schools has been concerned of people, scientists and related the public, and has recognized the health effects related to indoor air pollution. Therefore, this study was performed to investigate the characteristics of IAQ in 55 kindergartens, elementary school, middle schools, and high schools from June, 2004 to May, 2005 in Korea. We measured indoor air pollutants(PM<sub>10</sub>, CO<sub>2</sub>, HCHO, total bacteria colony(TBC), CO, radon, TVOCs, asbestos, and O<sub>3</sub>), and physical factors(noise, temperature, relative humidity, and illumination) with necessary of management for IAQ in school. We classified into 5 kinds of the school by period since building completion, <1 year, 1-3 years, 3-5 years, and 5-10 years. The concentration of pollutants and the level of physical factors compared with standards and guidelines of IAQ on the Ministry of Environment, the Ministry of Health and Welfare, and the Ministry of Education and Human Resources Development. The major results obtained from this study were as follows. Temperature, relative humidity and illumination among the physical factors did not exceed the standards, but noise exceeded it. Asbestos and O<sub>3</sub> did not detect in surveyed classrooms. CO, TBC, TVOCs, and HCHO in kindergartens, TBC in elementary schools, TBC, TVOCs and HCHO in middle schools, and HCHO in high schools detected the standards. This study is conducted as a part of efforts to provide a foundational data for further relative researches on management of IAQ of school. Therefore, we suggest that country plan for management of IAQ in school should be established through long-term and continuous investigation for assessment on IAQ in school and health risk assessment for students.

**Keywords:** kindergarten, elementary school, middle school, high school, indoor air quality(IAQ), physical factors, indoor air pollution(IAP)

### I. 서 론

실내공기질에 대한 문제의 발생 배경을 보면, 1970년대 이전 거주지역 및 비산업지역의 실내공기질에 관한 문제는 점차적으로 증가하였으나, 그 관심수준은 매우 미약한 실정이었다(Stolwijk, 1992). 그러나 1970년대 이후 각종 산업분야에서 에너지 저감 효율을 높이기 위

한 노력의 일환으로 열효율 증대를 위한 건물의 밀폐화와 에너지 저감 장치를 설치하는 건물의 증가로 인하여, 이들 건물의 실내공기질이 악화되면서 실내공기질의 관리 및 건강위해성에 대한 관심이 가지게 되었다(NAS, 1993). 또한 다양한 산업기술의 산물인 새로운 건축자재에서 의외의 오염물질 방출과, 경제수준의 향상으로 인한 다양한 생활용품 사용의 증가로 인한 새로운 오염물질이 방출 역시 실내공기질의 악화를 초래하게 되었고 이에 대한 실내공기질의 관리 및 건강위해성의 중요성이 강조되었다(김, 1997, 김, 1989). 실내 공기오염은 주택, 학교, 사무실, 공공건물, 병원, 지하시

<sup>†</sup>Corresponding author : Department of Environmental Health, Korea University  
Tel: 82-2-940-2863, Fax: 82-2-943-5304  
E-mail : sohn1956@korea.ac.kr

설물, 교통수단 등 다양한 실내공간의 공기가 오염된 상태를 말하며 매우 복합적인 원인들에 의해서 야기될 수 있는데 그 영향은 실내 거주자들의 생명을 위협할 정도는 아닐지라도 장기적으로 볼 때 건강에 나쁜 영향을 미치고 있음에 틀림없다(Lee et al., 2000). 특히 실내공기질은 일상생활 중 대부분의 시간이 여러 형태의 실내공간에서 이루어지기 때문에 우리에게 중요한 의미를 지니고 있으며, 국제적으로는 물론 국내에서도 실내공간에서의 공기질 및 인체영향에 대한 중요성이 새로운 환경문제로 대두되고 있다(이 등, 2002, 김, 1989).

우리나라는 전통적으로 교육열과 전체적인 교육수준은 매우 높으나 이를 뒷받침 할만한 교육제도나 교육여건은 상대적으로 열악한 수준이며, 특히 학교 실내공기질 관리는 매우 미흡한 상태이다. 이것은 근본적으로 우리나라의 교육정책과 교육행정의 문제점이기는 하지만 환경위생분야에 있어서도 학교 환경관리에 대한 체계적인 연구와 투자 및 개선에 관한 노력과 관심이 적었던 것이 사실이다(백, 1991). 전국적으로 우리나라에는 약 11,000여개의 초, 중, 고등학교가 있으며, 이곳에 재학 중인 학생만도 약 850만명에 이르고 있다(서울시교육청, 2003). 이들 학생들은 신체와 정신의 성장발육이 왕성한 시기에 있으며, 특히 학생들은 몸과 마음이 계속 발육상태에 있고 질병에 대한 저항력이 불충분한 연령층이기 때문에 보건학적으로 중요한 인구 집단이다(정과 이, 2000; 남과 정, 1997). 또한 이들 학생들은 많은 시간을 학교내에서 생활하고 있으므로 이들이 생활하는 공간인 학교 교실의 실내공기질을 쾌적하고 안전하게 만들어 주고 유지 및 관리하는 일은 매우 중요하며 또한 당연히 이루어져야 한다(교육인적자원부, 2000). 그러나 우리나라의 경우 학교 유해 환경문제에 대한 영향과 대책에 관한 연구는 매우 미약한 수준이며, 특히 교실의 실내공기오염에 관한 조사연구는 간헐적으로 수행된 몇몇의 연구에 불과한 실정이다(김 등, 2003; 김과 백, 2002; 남 등, 2002).

이에 본 연구에서는 전국에 위치한 유치원 및 초, 중, 고등학교 교실 등의 실내공기질의 실태를 조사함으로써 향후 교실의 건축물에서부터 실내공기오염의 발생억제 및 공기질의 개선을 위한 방안을 마련할 수 있는 기초자료의 확보하고자 한다.

## II. 연구내용 및 방법

### 1. 연구 대상 및 기간

본 연구는 2004년 6월부터 2005년 3월까지 9개월에 걸쳐 전국에 위치한 유치원과 초, 중, 고등학교 55개교를 대상으로 교실과 과학실 및 특별실 3개 지점을 선정하여 여름, 가을 및 겨울에 걸쳐 각 대상 시설내 물리적 환경(온열환경(온도, 습도), 조도, 소음)의 수준과 환경부의 다중이용시설등의 실내공기질관리법에서 제시하고 있는 공기 중의 유지 및 권고기준 오염물질 10개 중 이산화질소를 제외한 9개 오염물질(미세먼지, 이산화탄소, 포름알데히드, 총부유세균, 일산화탄소, 이산화탄소, 라돈, 총휘발성유기화합물질, 석면, 오존)의 농도를 Table 1에 제시한 것과 같이 학년별(유치원, 초등학교, 중학교, 고등학교) 및 건축경과 년도(1년 이내, 1년 이상 3년 이내, 3년 이상 5년 이내, 5년 이상 10년 이내)로 구분하였다.

### 2. 측정 및 분석방법

각 시설내의 물리적 환경의 수준은 보건복지부의 공중이용시설위생관리기준에 관한 공정시험법(보건복지부, 1990)에 근거하여 조사하였으며, 10개 공기오염물질의 농도 조사는 환경부의 실내공기질 공정시험법(환경부, 2004)에 근거하여 포집 및 분석을 하였다.

측정 및 포집은 교실내 중앙의 1.2~1.5 m 높이에서 수행하였다. 주요 오염물질별 측정·분석방법을 살펴보면, 미세먼지는 Mini-volume Air Sampler(PAS 201, Air-Metrics)를 이용하여 8시간 여과 포집 후 중량분석을 하였으며, 이산화탄소와 일산화탄소는 직독식으로

Table 1. Classification on surveyed schools by grade of school and year of building construction

|                   | Number of School |           |           |            | Total |
|-------------------|------------------|-----------|-----------|------------|-------|
|                   | < 1 year         | 1-3 years | 3-5 years | 5-10 years |       |
| Kindergarten      | 1                | 1         | 1         | 2          | 5     |
| Elementary school | 7                | 6         | 3         | 4          | 20    |
| Middle school     | 6                | 3         | 3         | 3          | 15    |
| High school       | 7                | 3         | 2         | 3          | 15    |
| Total             | 21               | 13        | 9         | 12         | 55    |

측정할 수 있는 IAQ 모니터(BABUC A; Italy)를 이용하여 측정하였다.

포름알데히드는 포집 펌프에 오존스큐리버를 장착한 2,4-DNPH 카트리지를(Waters, USA)를 연결하여 유량 0.5 l/min으로 30분간 흡인한 후 HPLC(Waters 2487, USA)로 분석하였으며, 휘발성유기화합물은 포집 펌프에 Tenax tube(Supelco, USA)를 연결하여 유량 0.1 l/min으로 30분간 흡인한 후 자동열탈착장치가 부착된 GC-MS(Agilent 6890, USA)를 이용하여 분석하였다.

총부유세균은 충돌법으로 MAS Impactor(MERK, USA)를 이용하였고, Sampler에 한천배지를 장착하여 100 Lpm으로 10분간 1000 l의 공기 중 시료를 포집한 후 37°C에서 24시간을 Incubator에서 배양한 후 집락수를 세어 공기 중 단위 용량당 집락수(CFU)를 계산하였으며, 라돈은 연속모니터링측정기(RAD7, USA)를 이용하여 측정하였다.

통계분석방법은 ANOVA의 Duncan 분석을 사용하여 대상군의 통계적 유의성을 보았다.

### III. 결 과

#### 1. 교사 내 물리적 환경

Table 2는 유치원과 초, 중, 고등학교 및 교실용도 즉 교실, 과학실 및 특별활동실 간의 물리적 환경 수준을 조사 비교한 결과이다. 온도의 경우 유치원, 초등학교, 중학교에서 평균 24°C를, 고등학교에서 평균 23°C를 특별활동실과 과학실에서는 각각 24°C, 23°C를 나

타낸 것으로 조사되어 학년별 및 교실용도 간의 실내 온도에는 큰 차이가 없었으며 모두 교육인적자원부의 학교보건법(교육인적자원부, 2002)에서 정하고 있는 온도의 기준인 18~28°C를 만족하고 있었다.

습도의 경우 초등학교의 평균 습도가 60%로 다른 학년에 비해 가장 낮았으며, 유치원에서의 평균 습도가 67%로 가장 높았으나 통계적으로는 유의한 차이가 없었다. 교실용도간의 습도의 차이는 특별활동실에서의 평균 습도가 60%로 가장 낮았으며, 교실에서의 평균 습도가 63%로 가장 높았으나 이 역시 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 학년 간 및 교실용도간의 습도 조사 결과 모두 교육인적자원부 학교보건법에서 제시하고 있는 습도 기준인 30~80%를 만족하고 있었다.

학년간의 조도를 비교한 결과 고등학교에서 평균 조도가 891 Lux로 가장 높은 반면 초등학교에서의 평균 조도는 841 Lux로 가장 낮았으며, 교실용도간의 조도는 과학실에서 911 Lux로 가장 높은 평균 조도를, 특별실에서 가장 낮은 평균 조도인 827 Lux를 나타냈다. 학년간 조도의 차이는 통계적으로 유의하지 않았으나 교실용도간 조도의 차이는 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 또한 이들 교실 용도간의 어떠한 차이가 있는가를 검정하기 위해 사후검정을 수행한 결과 과학실과 특별활동실의 조도량 간에 차이가 있었다. 본 연구에서 조사된 조도량은 교육인적자원부의 학교보건법에서 제시하는 기준인 300 Lux 이상을 모두 만족하고 있었다.

소음의 학년간 차이를 조사한 결과 유치원에서 가장 높은 평균 소음인 62 dB(A)를, 고등학교에서 가장 낮은

**Table 2.** Levels of physical factor by grade in surveyed schools

|                    | Mean ± Standard deviation |                     |                     |                     | p-Value |
|--------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------|
|                    | Kindergarten              | Elementary school   | Middle school       | High school         |         |
| Temperature (°C)   | 24 ± 3                    | 24 ± 5              | 24 ± 5              | 23 ± 5              | 0.91    |
| Humidity (%)       | 67 ± 13                   | 60 ± 15             | 62 ± 13             | 61 ± 15             | 0.09    |
| Illumination (Lux) | 869 ± 252                 | 841 ± 260           | 887 ± 307           | 891 ± 275           | 0.36    |
| Noise (dB(A))      | 62 ± 10 <sup>a</sup>      | 58 ± 8 <sup>b</sup> | 58 ± 8 <sup>b</sup> | 55 ± 6 <sup>c</sup> | 0.00    |

a, b, c, and d are the Duncan's constant which resulted from the analysis of homogeneity

**Table 3.** Levels of physical factors by sampling site in surveyed schools

|                    | Mean ± Standard deviation |                        |                        | p-Value |
|--------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|---------|
|                    | Classroom                 | Science room           | Special activity room  |         |
| Temperature (°C)   | 24 ± 4                    | 23 ± 5                 | 24 ± 5                 | 0.25    |
| Humidity (%)       | 63 ± 14                   | 61 ± 14                | 60 ± 15                | 0.25    |
| Illumination (Lux) | 871 ± 284 <sup>ab</sup>   | 911 ± 276 <sup>a</sup> | 827 ± 260 <sup>b</sup> | 0.04    |
| Noise (dB(A))      | 59 ± 8 <sup>a</sup>       | 56 ± 6 <sup>b</sup>    | 57 ± 9 <sup>b</sup>    | 0.00    |

a, b, c, and d are the Duncan's constant which resulted from the analysis of homogeneity

평균 소음인 55 dB(A)를 나타냈으며, 이들 학년간 소음의 차이는 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 사후검정결과 고등학교에서 가장 낮은 소음레벨을, 초등학교와 중학교에서 비슷한 소음레벨을, 유치원에서 가장 높은 소음을 나타내고 있었다. 교실용도간의 평균 소음은 교실, 특별실, 과학실의 순으로 각각 59 dB(A), 57 dB(A), 56 dB(A)로 이 또한 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, 사후검정결과 교실의 소음이 과학실과 특별실에 비해 높았다. 본 연구에서 조사된 소음은 대부분이 교육인적자원부의 학교보건법에서 정하는 기준에 가깝거나 초과하였다.

**2. 교사 내 실내공기질**

Table 4는 환경부의 다중이용시설 등의 실내공기질관리법에서 제시하는 유지 및 권고 기준 실내공기오염물질 10개 오염물질 중 이산화질소를 제외한 9개 오염물질의 학년간 교실내 농도분포 조사 결과를 나타낸 것으로 석면과 오존의 경우 전체 55개의 조사대상시설에서 모두 검출되지 않아 본 연구 결과에는 제시하지 않았다.

본 연구에서 조사된 학년별 일산화탄소의 평균 농도는 중학교, 초등학교, 고등학교 및 유치원의 순으로 각각 0.88 ppm, 0.69 ppm, 0.61 ppm, 0.49 ppm으로 조사되었으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 또한 보건복지부의 공중위생관리법에서 제공하고 있는 일산화탄소의 기준인 25 ppm, 교육인적자원부의 학교보건법 및 환경부의 다중이용시설 등의 실내공기질관리법에서 제시하고 있는 기준인 10 ppm은 초과하지 않았다.

이산화탄소의 학년별 평균 농도는 유치원 1,009 ppm, 중학교 903 ppm, 고등학교 895 ppm, 초등학교 794 ppm의 순으로 통계적으로 유의한 차이가 있었으며 유치원에서 조사된 평균농도는 교육인적자원부의 학교보

건법, 보건복지부의 공중위생관리법 및 환경부의 다중이용시설 등의 실내공기질관리법에서 제시하고 있는 이산화탄소의 기준치인 1,000 ppm을 초과하고 있었다.

대표적 실내공기오염물질로 알려진 라돈의 경우 미국 EPA에서 권장하고 있는 물질이며, 교육인적자원부의 학교보건법 및 환경부의 다중이용시설 등의 실내공기질관리법에서 정하고 있는 기준치인 4 pCi/L를 모든 측정 장소에서 초과하지 않았으며, 유치원 교사 내 공기 중 평균 라돈농도는 1.3 pCi/L로 초등학교, 중학교 및 고등학교 교사 내 공기중 평균 라돈농도인 1.4 pCi/L에 비해 통계적으로 유의한 낮은 농도를 나타냈다.

미세먼지의 학년별 평균 농도는 유치원이 83 µg/m<sup>3</sup>, 중학교가 79 µg/m<sup>3</sup>, 고등학교가 77 µg/m<sup>3</sup>, 초등학교가 71 µg/m<sup>3</sup>의 순으로 높은 농도를 나타냈으나 통계적으로는 유의한 차이를 보이지 않았으며, 교육인적자원부 학교보건법 100 µg/m<sup>3</sup>, 보건복지부 공중위생관리법 및 환경부의 다중이용시설 등의 실내공기질관리법에서 제시하고 있는 기준치인 150 µg/m<sup>3</sup>는 초과하지 않았다.

총부유세균의 평균 농도는 유치원, 초등학교, 중학교 및 고등학교의 순으로 각각 1,320 CFU/m<sup>3</sup>, 959 CFU/m<sup>3</sup>, 856 CFU/m<sup>3</sup>, 745 CFU/m<sup>3</sup>로 유치원에서 가장 높은 농도를 나타냈으며, 이는 초등학교, 중학교 및 고등학교에서의 총부유세균의 농도와 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 또한 유치원, 초등학교 및 중학교에서 조사된 평균 총부유세균의 농도는 교육인적부의 학교보건법에서 제시하는 기준치인 800 CFU/m<sup>3</sup>를 초과하였다.

학년별 휘발성유기화합물질의 평균농도 중 교육인적부의 학교보건법에서 제시하는 기준치인 400 µg/m<sup>3</sup>을 초과하는 곳은 유치원과 중학교로 각각의 평균농도는 549 µg/m<sup>3</sup>, 610 µg/m<sup>3</sup>이었으며, 초등학교와 고등학교에서의 총휘발성유기화합물질의 평균 농도는 각각 499 µg/m<sup>3</sup> 및 497 µg/m<sup>3</sup>로 기준치에 상응하는 농도를

**Table 4.** Concentrations of indoor air pollutants by grade in surveyed schools

|                                       | Mean ± Standard deviation  |                         |                        |                        | p-Value |
|---------------------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|---------|
|                                       | Kindergarten               | Elementary school       | Middle school          | High school            |         |
| CO (ppm)                              | 0.49 ± 0.45                | 0.69 ± 0.85             | 0.88 ± 1.03            | 0.61 ± 0.98            | 0.27    |
| CO <sub>2</sub> (ppm)                 | 1,009 ± 417 <sup>ab</sup>  | 794 ± 362 <sup>bc</sup> | 903 ± 447 <sup>b</sup> | 895 ± 571 <sup>b</sup> | 0.03    |
| Rn( pCi/L)                            | 1.3 ± 0.2 <sup>a</sup>     | 1.4 ± 0.2 <sup>b</sup>  | 1.4 ± 0.2 <sup>b</sup> | 1.4 ± 0.2 <sup>b</sup> | 0.03    |
| PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) | 83 ± 47                    | 71 ± 39                 | 79 ± 46                | 77 ± 40                | 0.20    |
| TBC (CFU/m <sup>3</sup> )             | 1,320 ± 1,113 <sup>a</sup> | 959 ± 810 <sup>b</sup>  | 856 ± 785 <sup>b</sup> | 745 ± 505 <sup>b</sup> | 0.00    |
| TVOC (µg/m <sup>3</sup> )             | 549 ± 231 <sup>ab</sup>    | 499 ± 236 <sup>a</sup>  | 610 ± 226 <sup>b</sup> | 497 ± 204 <sup>a</sup> | 0.00    |
| HCHO (ppm)                            | 0.16 ± 0.17                | 0.12 ± 0.14             | 0.13 ± 0.17            | 0.11 ± 0.17            | 0.59    |

a, b, c, and d are the Duncan's constant which resulted from the analysis of homogeneity. TBC is the abbreviation for total bacteria counter.

**Table 5.** Concentrations of indoor air pollutants by sampling site in surveyed schools

|   | Mean $\pm$ Standard deviation |                            |                            | p-Value |
|---|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------|
|   | Classroom                     | Science room               | Special activity room      |         |
| CO (ppm)                                    | 0.75 $\pm$ 0.98               | 0.73 $\pm$ 0.95            | 0.66 $\pm$ 0.86            | 0.80    |
| CO <sub>2</sub> (ppm)                       | 1,074 $\pm$ 511 <sup>a</sup>  | 673 $\pm$ 289 <sup>b</sup> | 790 $\pm$ 397 <sup>c</sup> | 0.00    |
| Rn (pCi/L)                                  | 1.4 $\pm$ 0.2                 | 1.4 $\pm$ 0.2              | 1.4 $\pm$ 0.2              | 0.20    |
| PM <sub>10</sub> ( $\mu$ g/m <sup>3</sup> ) | 82 $\pm$ 47 <sup>a</sup>      | 71 $\pm$ 35 <sup>b</sup>   | 72 $\pm$ 40 <sup>ab</sup>  | 0.02    |
| TBC (CFU/m <sup>3</sup> )                   | 1,237 $\pm$ 947 <sup>a</sup>  | 676 $\pm$ 533 <sup>b</sup> | 707 $\pm$ 566 <sup>b</sup> | 0.00    |
| TVOC ( $\mu$ g/m <sup>3</sup> )             | 551 $\pm$ 228                 | 500 $\pm$ 203              | 544 $\pm$ 254              | 0.12    |
| HCHO (ppm)                                  | 0.11 $\pm$ 0.15               | 0.13 $\pm$ 0.17            | 0.13 $\pm$ 0.16            | 0.61    |

a, b, c, and d are the Duncan's constant which resulted from the analysis of homogeneity. TBC is the abbreviation for total bacteria counter.

나타냈다. 또한 포름알데히드의 경우는 유치원, 중학교, 초등학교 및 고등학교의 순으로 평균 농도가 각각 0.16 ppm, 0.13 ppm, 0.12 ppm, 0.11 ppm으로 조사되었으나 통계적으로는 유의한 차이를 보이지 않았으며, 이들 평균농도는 교육인적부의 학교보건법에서 제시하는 기준치인 0.08 ppm을 모두 초과하고 있는 것으로 나타났다.

Table 5는 교실용도에 따른 실내공기중의 오염물질의 농도분포를 나타낸 것으로 일산화탄소의 경우 교실에서 가장 높은 평균농도인 0.75 ppm을 나타냈으며, 특별실에서는 0.66 ppm으로 가장 낮은 평균농도를 나타냈다. 또한 보건복지부 공중위생관리법에서 제시하고 있는 기준치인 25 ppm, 교육인적부의 학교보건법에서 제시하는 기준치 및 환경부의 다중이용시설 등의 실내공기질관리법에서 제시하고 있는 기준치인 10 ppm을 모두 초과하지 않았다.

이산화탄소의 평균 농도는 교실, 특별실 및 과학실의 순으로 각각 1,074 ppm, 790 ppm, 673 ppm이었으며 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 이중 교실에서의 평균 농도는 교육인적자원부의 학교보건법, 보건복지부의 공중위생법 및 환경부의 다중이용시설 등의 실내공기질관리법에서 제시하고 있는 기준치인 1,000 ppm을 초과하였다.

라돈의 평균 농도는 교실, 과학실 및 특별실 모두 1.4 pCi/L로 조사되어 미국환경보호청에서 제시하고 있는 권고치, 교육인적부의 학교보건법에서 제시하는 기준치 및 환경부의 다중이용시설 등의 실내공기질관리법에서 제시하고 있는 기준치인 4 pCi/L를 초과하지 않았다.

미세먼지의 평균농도는 교실, 특별실 및 과학실의 순으로 각각 82  $\mu$ g/m<sup>3</sup>, 72  $\mu$ g/m<sup>3</sup>, 71  $\mu$ g/m<sup>3</sup>로 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, 교육인적자원부의 학교보건법

100  $\mu$ g/m<sup>3</sup>, 보건복지부의 공중위생관리법 및 환경부의 다중이용시설 등의 실내공기질관리법에서 제시하고 있는 미세먼지의 기준인 150  $\mu$ g/m<sup>3</sup>를 초과하지 않았다.

교실에서의 총부유세균의 평균 농도는 1,237 CFU/m<sup>3</sup>로 과학실의 평균농도인 676 CFU/m<sup>3</sup>과 특별실의 평균농도인 707 CFU/m<sup>3</sup>에 비해 높은 농도를 나타냈으며, 이들 교실용도간의 총부유세균의 농도차는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 조사되었다. 또한 교실에서의 총부유세균의 평균농도는 교육인적부의 학교보건법에서 제시하는 기준치 및 환경부의 다중이용시설 등의 실내공기질관리법에서 제시하고 있는 총부유세균의 기준인 800 CFU/m<sup>3</sup>를 초과하였다.

총휘발성유기화합물 및 포름알데히드의 교실, 과학실 및 특별실에서의 평균 농도는 교육인적부의 학교보건법에서 제시하는 기준치인 400  $\mu$ g/m<sup>3</sup>과 포름알데히드의 기준인 0.08 ppm을 초과하였으며, 교실, 과학실 및 특별실간의 총휘발성유기화합물과 포름알데히드의 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

### 3. 교실 내 공기오염물질의 영향인자와의 관계

Table 6은 교실 내 공기오염물질의 계절에 따른 변화를 조사하기 위해 여름철, 가을철 및 겨울철에 조사된 교실 내 오염물질의 평균농도를 제시한 것으로 일산화탄소의 경우 여름철의 평균 농도가 1.23 ppm으로 가을철 및 겨울철의 평균농도인 0.40 ppm과 0.22 ppm에 비해 높은 농도를 나타냈다. 이산화탄소는 겨울철의 평균농도가 1,173 ppm으로 여름철과 가을철의 평균농도에 비해 높은 농도를 나타냈으며, 라돈은 여름철의 평균농도는 1.5 pCi/L, 가을철과 겨울철의 평균농도는 각각 1.4 pCi/L로 여름철이 가을철과 겨울철에 비해 높았다. 미세먼지는 여름철의 평균농도가 가을철 및 겨울철의 평균농도에 비해 낮은 농도를 나타냈으며, 총부유세균

**Table 6.** Concentrations of indoor air pollutants in surveyed classrooms by season

|                                       | Mean ± Standard deviation |                            |                          | p-Value |
|---------------------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|---------|
|                                       | Summer                    | Fall                       | Winter                   |         |
| CO (ppm)                              | 1.23 ± 1.23 <sup>a</sup>  | 0.40 ± 0.22 <sup>b</sup>   | 0.22 ± 0.13 <sup>b</sup> | 0.00    |
| CO <sub>2</sub> (ppm)                 | 1,115 ± 559 <sup>ab</sup> | 932 ± 384 <sup>a</sup>     | 1,173 ± 547 <sup>b</sup> | 0.03    |
| Rn (pCi/L)                            | 1.5 ± 0.1 <sup>a</sup>    | 1.4 ± 0.2 <sup>b</sup>     | 1.4 ± 0.2 <sup>b</sup>   | 0.00    |
| PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) | 62 ± 29 <sup>a</sup>      | 95 ± 58 <sup>b</sup>       | 90 ± 43 <sup>b</sup>     | 0.00    |
| TBC (CFU/m <sup>3</sup> )             | 1,407 ± 968 <sup>a</sup>  | 1,368 ± 1,176 <sup>a</sup> | 936 ± 514 <sup>b</sup>   | 0.01    |
| TVOC (µg/m <sup>3</sup> )             | 582 ± 253                 | 555 ± 223                  | 517 ± 204                | 0.30    |
| HCHO (ppm)                            | 0.12 ± 0.11               | 0.11 ± 0.16                | 0.11 ± 0.18              | 0.85    |

a, b, c, and d are the Duncan's constant which resulted from the analysis of homogeneity. TBC is the abbreviation for total bacteria counter.

**Table 7.** Concentration of indoor air pollutants in surveyed classrooms by period since building completion

|                                       | Mean ± Standard deviation |             |             |             | p-Value |
|---------------------------------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|---------|
|                                       | < 1 year                  | 1-3 years   | 3-5 years   | 5-10 years  |         |
| CO (ppm)                              | 1.03 ± 1.33               | 0.78 ± 0.97 | 0.53 ± 0.59 | 0.75 ± 0.98 | 0.20    |
| CO <sub>2</sub> (ppm)                 | 1,022 ± 491               | 1,085 ± 582 | 1,102 ± 526 | 1,113 ± 463 | 0.81    |
| Rn (pCi/L)                            | 1.4 ± 0.2                 | 1.5 ± 0.2   | 1.4 ± 0.2   | 1.4 ± 0.2   | 0.31    |
| PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) | 85 ± 42                   | 83 ± 46     | 82 ± 46     | 79 ± 58     | 0.94    |
| TBC (CFU/m <sup>3</sup> )             | 1,296 ± 1,159             | 1,194 ± 715 | 1,229 ± 821 | 1,198 ± 937 | 0.95    |
| TVOC (µg/m <sup>3</sup> )             | 611 ± 232                 | 573 ± 278   | 494 ± 174   | 493 ± 188   | 0.02    |
| HCHO (ppm)                            | 0.16 ± 0.22               | 0.12 ± 0.13 | 0.07 ± 0.04 | 0.07 ± 0.07 | 0.01    |

은 여름철과 가을철이 겨울철에 비해 높은 평균농도를 나타냈다. 총휘발성유기화합물의 여름철, 가을철 및 겨울철의 평균농도는 각각 582 µg/m<sup>3</sup>, 555 µg/m<sup>3</sup>, 517 µg/m<sup>3</sup>로 모두 교육인적부의 학교보건법에서 제시하는 기준치인 400 µg/m<sup>3</sup>를 초과하였다. 또한 포름알데히드의 여름, 가을 및 겨울의 평균농도는 각각 0.12 ppm, 0.11 ppm, 0.11 ppm이었다.

Table 7은 건물의 건축 완공 후의 경과 연도 즉 건물의 노후화에 따른 실내공기오염물질의 농도를 비교한 결과를 나타낸 것으로 이산화탄소의 경우 건축 완공 이후 1년 미만의 교실이 다른 교실에 비해 가장 높은 평균농도인 1.03 ppm의 농도를 나타냈으나 건축 완공 후의 경과연도와 실내 일산화탄소 농도 간에는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 조사되었다. 이산화탄소는 일산화탄소와는 달리 건축 완공 후의 경과 연도가 가장 큰 5년 이상 10년 미만의 교실에서 가장 높은 평균농도인 1,113 ppm을 나타냈으나 이 역시 건축 완공 후의 경과연도와 실내농도 간에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

라돈은 건축 완공 후의 경과연도가 1년 이상 3년 미만인 교실에서 가장 높은 평균농도인 1.5 pCi/L을 나타

냈으며, 미세먼지와 총부유세균의 경우는 건물의 완공 후의 경과 연도가 가장 짧은 1년 미만의 교실에서 각각의 평균농도가 85 µg/m<sup>3</sup>, 1,296 CFU/m<sup>3</sup>로 높았으나 라돈, 미세먼지 및 총부유세균 모두 건축 완공 경과 연도와 오염물질 농도간의 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

휘발성유기화합물과 포름알데히드의 경우 건축 완공 연도가 가장 짧은 1년 미만의 교실에서 가장 높은 평균농도인 611 µg/m<sup>3</sup>와 0.16 ppm의 농도를 보였으며, 또한 건축 완공 후의 경과 연도가 커질수록 즉 건축물이 노후화 될수록 실내공기중의 농도가 감소하였다.

Fig. 1은 오염물질들의 교실 내외 교실 외 즉 외부공기 중의 농도분포를 비교하기위해 나타낸 것으로 일산화탄소의 경우 교실 내외의 공기 중의 농도변화에 비해 실외 공기 중의 농도변화가 더 컸으며 실내외 농도비는 1.0이었다. 반면 이산화탄소는 실내공기 중의 농도변화가 실외공기 중의 농도변화에 비해 컸으며 실내외 농도비는 2.7이었다. 미세먼지 역시 이산화탄소와 같이 실내공기중의 농도변화가 실외공기중에 비해 높았으며 실내외의 농도비 또한 2.4로 이산화탄소와 비슷한 실내외 농도비를 나타냈다. 부유세균은 실내공기중의 농도분포

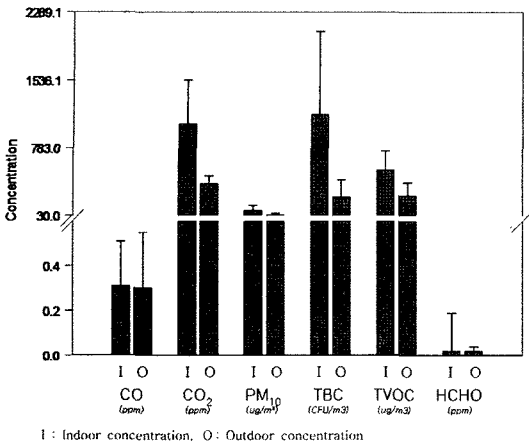


Fig. 1. Comparison of indoor concentration with outdoor concentration for air pollutants

가 실외공기중의 농도분포에 비해 월등히 큰 것으로 나타났으며, 실내외 농도비 역시 4.9로 매우 높은 값을 나타냈다. 총휘발성유기화합물도 실내공기 중의 농도변화가 실외공기중의 농도변화에 비해 컸으며, 실내외 농도비는 2.1이었다. 포름알데히드는 총휘발성유기화합물과 같이 실내공기중의 농도변화가 실외공기중의 농도변화에 비해 큰 것으로 나타났으며, 실내외 농도비는 5.5로 본 연구의 대상오염물질 중 가장 높은 값을 나타냈다.

#### IV. 고 찰

이 연구는 교육인적자원부의 지원을 통해 수행된 연구로 연구 설계에 있어 연구기간이 한정되어 있어 춘계기간에 연구대상 학교의 교실내 환경 실태조사를 수행하지 못함으로써 춘계기간의 교실내 공기오염의 수준을 평가하지 못하였다는 결점이 있다. 그러나 기존 일부 지역 및 단기간에 국한되어 수행되어져 오던 학교 환경에 관한 연구와는 달리 전국에 위치한 유치원과 초, 중, 고등학교를 대상으로 수행되었다는데 그 의미를 지닐 수 있으며, 연구대상 교사의 범위 즉 샘플의 수가 기존 연구에 비해 많은 수의 교사를 대상으로 수행되어졌다는 점을 고려할 때 이 연구를 통해 산출된 결과는 향후 국내 학교 환경에 대한 연구에 있어 중요한 기초 자료로 활용되어질 것으로 기대된다. 또한 향후 본 연구의 수행을 통해 산출된 결과를 바탕으로 교사 내 실내공기오염물질의 발생원 추정 및 재학생들의 건강 위해성평가를 수행할 계획에 있으며 이들 결과의 산출 역시 관련 연구에 있어 중요한 기초 자료로 활용

되어질 수 있을 것으로 여겨진다.

본 연구의 연구대상 학교시설에서 수행된 물리적 환경 실태조사 결과를 살펴보면, 평균온열환경 즉 평균 온도와 평균 습도의 경우 교육인적자원부의 학교보건법에서 정하고 있는 기준에 적합하였으며, 교실용도별, 학년별로 온열환경에는 큰 차이가 없었다. 그러나 전체 조사 자료 중 1개 교실(34°C, 98%), 1개 과학실(30°C, 86%) 및 1개 컴퓨터실(31°C, 85%)이 기준에 적합하지 않았다. 온열환경은 학생들에게 쾌적감 및 불쾌감 등의 감각적 영향을 초래하여 학업 능력에 영향을 미칠 수 있음을 고려할 때 교실내 온열환경의 조절은 매우 중요하다 할 수 있다. 그러나 학교의 특성상 학생들이 밀집하여 생활하고 있는 교실, 과학실 및 컴퓨터실 등의 온열환경을 조절하기는 매우 어려운 실정이며, 또한 일반 실내공기오염물질에 대한 고려에 비해 온열환경에 대한 고려가 미진함을 고려할 때 향후 이에 대한 적극적인 대책 마련 및 관계자들이 인식변화가 시급히 이루어져야 할 것으로 사료된다.

소음의 경우 연구대상 학교 대부분이 교육인적자원부의 학교보건법에서 정하는 기준에 가깝거나 초과하였다. 소음의 높은 학교의 특징을 살펴보면 대부분이 신설학교보다는 건설이 완공된 이후 3년 이상 지난 학교에서 소음이 높았으며, 또한 도심지에 위치한 학교에서의 소음이 높았다. 이는 완공된지 3년 이상 경과된 학교의 경우 대부분이 최근 건설된 학교와는 달리 창호가 이중으로 되어 있지 않아 외부 소음의 유입으로 인한 소음의 증가가 이루어진 것으로 여겨지며 또한 도심지에 위치한 학교의 경우 주변 자동차 등에서 발생되는 생활소음에 의한 학교 내 소음의 증가가 이루어진 것으로 여겨진다. 소음 역시 온열환경과 같이 대표적인 감각공해로 학교의 궁극적인 목적을 고려할 때 온열환경을 고려한 이중 창호의 설치 및 학교 주변의 방음벽 설치 등 적극적인 대책 마련 및 관리가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

일산화탄소는 호흡을 통해 인체 내로 유입되어 혈액 중 헤모글로빈과의 결합하여 일산화탄소-헤모글로빈이 되어 혈액의 산소 운반 기능을 저해하며 신체조직의 질식 상태를 유발함으로써 여러 건강장해를 유발시키는 적은 농도로도 인체에 치명적 영향을 주는 가스상 오염물질로 대부분이 연소하는 과정에서 산소의 공급이 부족할 경우 불완전 연소가 되어 주로 발생하는 것으로 알려져 있으며, 특히 실내에서는 취사, 난방으로 인한 연소과정 및 흡연에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다(손, 2004). 본 연구에서 조사된 교실 내 일산화탄소의 농도는 환경부 및 보건복지부에서 정하는 기

준을 초과하지 않는 것으로 조사되었으며, 실내의 농도비가 1.0으로 실내와 실외의 농도가 거의 비슷한 수준인 것으로 나타났다. 학교라는 환경과 일산화탄소의 발생원의 특성 등을 고려할 때 교실 내 일산화탄소의 농도는 대부분이 외부공기에 의한 영향인 것으로 여겨진다.

이산화탄소의 실내 주발생원은 각종 난방시설 및 인간의 호흡활동으로서 저농도의 이산화탄소에서는 인체에 미치는 영향이 비교적 적은 것으로 알려져 있다(신 등, 1990). 또한 이산화탄소의 농도는 실내 체적, 실내 인원, 난방여부 및 환기장치 등에 의해 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Richard & Peter, 1983). 본 연구에서의 이산화탄소의 실내의 농도비는 2.7로 외부 공기 중의 이산화탄소 농도에 비해 교실내의 이산화탄소 농도가 무척 높은 것으로 조사되었다. 이는 이산화탄소의 물리적 특성 및 학교환경의 특수성을 고려할 때 교실내 학생들의 호흡에 의한 실내공기중의 이산화탄소의 증가가 주원인으로 여겨진다. 또한 겨울철의 교실내의 이산화탄소 농도가 여름철과 추계의 교실내 이산화탄소의 농도에 비해 높은 것으로 조사되어 창문 등의 밀폐를 통한 환기량의 감소 또한 교실내 이산화탄소 증가의 원인으로 여겨진다. 연구 수행결과 교실내 이산화탄소의 농도가 교육인적자원부, 환경부 및 보건복지부에서 정하는 기준치를 초과하고 있는 것으로 조사되어 신선한 공기로의 교환을 수행할 수 있는 방안 등이 수립되어야 할 것으로 나타났으며 나아가 교실 체적 등을 고려한 학생수의 조절, 기계적 환기 및 공기정화시설의 도입 등 근본적 대책방안이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

라돈의 경우 모든 조사대상 교실에서 조사된 농도가 환경부에서 정하고 있는 기준보다 낮은 것으로 조사되었으나 라돈의 경우 토양에서 발생하는 자연방사선 물질로 주로 우라늄 지역에 위치한 실내에서 높은 농도를 나타내고 있는 것으로 조사 보고(이 등, 2002)되고 있음을 고려할 때 국내의 경우 충북의 우라늄 벨트 지역에 위치한 학교를 대상으로 보다 정밀한 조사를 수행하고 그 결과를 바탕으로 적절한 대책마련이 수립되어야 할 것이다.

미세먼지의 경우 모든 조사대상 교실에서 교육인적자원부, 환경부 및 보건복지부에서 정하고 있는 기준치를 초과하지 않는 것으로 조사되었으나 실내의 농도비를 조사한 결과 약 2.4로 실내에서 발생하는 미세먼지의 양이 교실 외부에서 발생하는 미세먼지의 양에 비해 높은 것으로 조사되었다. 이는 학생들의 움직임 등에 의한 바닥에 퇴적되어 있는 먼지의 재비산과 선생님의 판

서과정에 발생하는 분필가루 및 학생들의 체육활동 및 등교시 외부로부터의 교실내로의 유입 등에 기인한 결과이다. 이러한 학교환경을 고려할 때 본 연구 조사에서는 그 농도가 기준치에 비해 낮았으나 언제나 기준치를 초과할 가능성이 매우 높을 것으로 사료된다. 이에 미세먼지에 대한 관리가 적극적으로 이루어져야 할 것이다.

총부유세균의 경우 실내의 농도비는 4.9로 이는 실외에 비해 실내에 부유세균의 발생원이 존재하고 있음을 나타내는 결과로 밀집된 학생들의 활동과 기타 학용품 및 교실내 생활용품 및 학생들의 의복 등에서 기인된 것으로 여겨진다. 또한 유치원이 초, 중, 고등학교에 비해 높은 부유세균농도를 보인 이유로는 유치원에 설치되어 있는 카펫트와 아이들의 완구 등에서 기인된 부유세균에 의한 것으로 사료된다. 총부유세균의 계절적 농도비교 결과는 여름철이 높은 것으로 조사되었는데 이는 고온, 다습한 여름철 기후조건과 단위면적당 학생 밀도에 기인한 결과로 판단된다.

총휘발성유기화합물 및 포름알데히드의 경우 건축 완공 이후 경과연도가 1년 미만의 교실에서 가장 높은 농도를 나타냈으며 건축 완공 이후의 연도가 증가할수록 즉 건물이 노후화 될수록 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 이전의 여러 보고 결과와 같이 결과로 신축 학교 건설에 사용된 건축자재 및 새 가구 등에서 방출된 휘발성유기화합물질에 기인한 것으로 판단된다. 또한 본 연구결과에서는 5년 이상 10년 미만의 교실에서도 높은 농도를 나타냈는데 이는 건물의 노후화에 따른 중개축의 기인한 결과라 할 수 있다. 이 두 오염물질의 실내의 농도비는 각각 2.1과 5.5로 주로 실내에서 발생하는 것으로 조사되었으며, 앞에 제시한 것과 같이 이들 오염물질의 교실 내 발생은 건축자재 및 가구 등에서 주로 발생되고 있음을 보여주는 결과라 할 수 있다. 또한 포름알데히드의 경우는 실내의 농도비가 본 연구의 대상오염물질 중 가장 높은 5.5로 교실내 포름알데히드의 발생이 매우 실외에 비해 매우 높은 것으로 판단되며, 주요 발생원으로는 앞에서 제시한 바와 같이 건축자재와 가구 및 학용품등에서의 배출 뿐 만 아니라 교실 내 학생들 의복에서의 배출도 고려해야 할 것이다.

## V. 결 론

이 연구는 2004년 6월부터 2005년 3월까지 전국에 위치한 유치원과 초, 중, 고등학교 55개교를 대상으로 학교 교실내의 물리적 환경 즉, 온열환경(온도, 습도),



조도 및 소음과 9개의 오염물질(미세먼지, 이산화탄소, 포름알데히드, 총부유세균, 일산화탄소, 이산화탄소, 라돈, 총휘발성유기화합물질, 석면, 오존)에 대한 실태를 파악하기 위해 수행된 조사 연구로 연구의 수행을 통해 산출된 결과를 요약하여 제시하면 다음과 같다.

첫째, 학교 교실내 물리적 환경 조사 결과 온도, 습도 및 조도는 교육인적자원부의 학교보건법에서 제시하고 있는 기준치를 모두 만족하였으나 소음의 경우 기준치에 근접하거나 초과하여 이에 대한 적극적 관리가 요구되어진다.

둘째, 석면과 오존의 경우 전체 연구대상시설에서 검출되지 않아 이들 오염물질에 대한 학교 교실내 공기 오염은 없는 것으로 나타났다.

셋째, 조사대상 실내공기 오염물질의 평균농도 중 교육인적자원부의 학교보건법, 보건복지부의 공중위생관리법 및 환경부의 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법에서 제시하고 있는 기준값을 초과하는 것으로 조사된 오염물질은 일산화탄소의 경우 유치원에서, 총부유세균은 유치원, 초등학교 및 중학교에서 초과하였으며, 휘발성유기화합물질의 경우 유치원과 중학교에서 초과하였으며, 초등학교와 고등학교의 경우 기준치에 근사한 농도를 나타냈다. 포름알데히드는 유치원, 중학교, 초등학교 및 고등학교 모두에서 기준치를 초과하였다.

따라서 본 연구는 교실의 건축에서부터 실내공기오염의 억제 및 공기질의 개선을 위한 향후 관련 연구의 수행에 있어 기초자료를 제공하기 위한 일환으로 수행된 실태조사 연구로 기존의 단기간 일부지역에서 간헐적으로 수행되어져 왔던 학교환경 관련 연구에 비해 연구대상지역, 연구대상시설 및 연구대상 오염물질 등 그 연구 범위가 넓게 수행되어졌다는데 그 의미를 찾을 수 있으며, 이를 토대로 보다 더 효율적으로 학교 교실내 실내공기질을 평가하기 위해서는 학교 교실내 실내공기질에 대한 건강위해성평가의 연구 및 오염물질 저감에 관한 연구 등의 수행을 통한 국내 실정에 적합한 관리방안의 도출을 위해 향후 장기적이며, 체계적인 연구의 수행이 이루어져야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 2004년 서울특별시 교육청의 「학교 교실내 환경위생 및 식품위생 실태조사」 연구과제의 연구비에 의하여 지원되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Stolwijk, J. A. : Risk assessment of acute health and comfort effects of indoor air pollution. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **641**, 56-62, 1992.
2. National Academy of Sciences(NAS), Human exposure assessment for airborne pollutants, Washington DC. 1993.
3. 김성신 : 신축소규모 아파트의 겨울철 실내공기환경. 한국생활환경학회 춘계학술지. 54-55, 1997.
4. 김미경 : 실내 포름알데히드 농도에 관한 연구조사. 한국환경위생학회지, **15**(2), 1-9, 1989.
5. Lee, S. C. and M. Chang, L. Y. : Indoor air and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong, *Chemosphere*. 109-113, 2000.
6. 교육인적자원부, 학교보건법 시행규칙, 2005.
7. 이주상, 원정일, 이철민, 김윤신 : 노래방과 컴퓨터 게임방 내의 실내공기오염에 관한 연구. 대한위생학회지, **17**(3), 67-74, 2002.
8. 김윤신 : 실내공기오염. 대한의학학회지, **32**(12), 1279-1285, 1989.
9. 백남원 : 학교환경. 한국학교보건학회지, **4**(2), 31-41, 1991.
10. 서울시교육청. 쾌적학교실환경만들기, 2003.
11. 정영숙, 이정렬 : 학교보건, 수문사. 23-28. 2000.
12. 남철현, 정기혜 : 중·고등학교 학생들의 환경보건에 대한 지식 태도 조사. 한국환경위생학회지, **23**(3), 7-26, 1997.
13. 교육인적자원부. 학교보건 및 교내 환경위생 개선방안에 관한 연구보고서. 2000.
14. 김윤신, 이철민, 문정숙, 김상욱 : 서울·경기지역 초·중·고등학교 교실의 실내공기오염에 관한 연구. 한국학교보건학회지, **16**(1), 81-90, 2003.
15. 김순애, 백남원 : 도시 일부지역에서의 실내 라돈농도에 관한 연구. 한국환경위생학회지, **28**(2), 703-712, 2002.
16. 남보현, 황인조, 김동술 : 분산주성분 분석을 이용한 실내환경 중 PM-10 오염의 패턴분류. 한국대기환경학회지, **18**(1), 25-37, 2002.
17. 보건복지부, 공중위생법 공중이용시설 위생관리기준, 1990.
18. 환경부, 실내공기질공정시험방법, 환경부 고시 제2004-80호(2004.6), 2004.
19. 손종렬 : 실내공기와 건강. 한국실내산소연구회, 2004.
20. 신동천, 이효민, 김종만, 정 용 : 일부지역의 실내공기오염도와 건강에 미치는 영향에 관한 연구. 한국대기보건학회지, **6**(1), 73-84, 1990.
21. Richard, A.W. and Peter, A.S. : Indoor air pollution, A Wiley-Interscience Publication, 1983.
22. 이철민, 김윤신, 박원석, Takao Iida : 주요 5개 도시의 실내의 라돈농도 조사연구. 대한위생학회지, **17**(3), 75-82, 2002.