

서울·경기지역 초·중·고등학교 교실의 실내공기오염에 관한 연구

김윤신·이철민·문정숙·김상욱*

한양대학교 환경 및 산업의학연구소

*한양대학교 대학원 보건관리학과

A Study on the Indoor Air Pollution in the Classrooms of Primary, Middle and High Schools in Seoul and Gyeonggi-Do

Cheol Min Lee · Yoon Shin Kim · Jeong Suk Moon · Sang Uk Kim*

Institute of Environmental and Industrial Medicine, Hanyang University

* *Dept. of Health Management, Graduate School Hanyang University*

ABSTRACT

This study was conducted to contribute to the basic data for decisions on environment policy improvement in health promotion for students in elementary, middle and high schools. This study was carried out to investigate the extent of indoor air pollution in elementary, middle and high schools in residential, traffic congestional and industrial areas. The concentrations of major indoor air pollutants(carbon monoxide, carbon dioxide, respiratory particulate, radon) and thermocircumstance (temperature, relative humidity, intensity of illumination) indices were observed from June to August 2000.

As results of the survey, the mean values of thermocircumstance in school were $26.94 \pm 1.15^\circ\text{C}$ of temperature, $68.88 \pm 5.31\%$ of humidity and 268.26 ± 164.60 Lux of intensity of illumination. The mean concentrations of carbon monoxide, carbon dioxide, respiratory particulate were 8.36 ± 0.29 ppm, 547.66 ± 175.58 ppm, $36.23 \pm 48.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. These values were lower than those of the indoor environmental standard on the first clause of Article 45 of public utilization service notified public hygiene of the Ministry of Health and Social Affairs. The mean concentration of radon was 20.07 ± 17.95 Bq/m³. Which was below the U.S. EPA radon action level.

Key Words: air pollution, thermocircumstance, radon

1. 서 론

1. 연구의 필요성

실내환경에 대한 관심은 1970년대 이후 산업구조의 대형화를 통해 에너지 소비가 급증하여 환경오염이 가중되면서 본격적으로 대두되었다고 할 수 있다. 실내환경 문제의 대표적인 실내공기질에 대한

문제의 발생배경을 보면 1970년대 이후 각종 산업분야에서 에너지 절감 및 효율을 높이기 위한 노력의 일환으로 건물의 열 효율을 위한 밀폐화와 에너지 절감장치를 설치하는 건물의 증가로 인하여 이들 건물의 실내공기질이 악화되면서 발생되었다. NAS(1981). 또한 다양한 산업기술의 산물인 새로운 건축자재에서 의외의 오염물질이 방출되고, 경제수준

의 향상으로 인한 다양한 생활용품 사용의 증가로 새로운 오염물질이 방출되면서 실내공기질이 오염되었고, 이는 건물 내 거주하는 사람들의 건강에 영향을 미치게 되었다(김성신,1997; 전준민,1996; 김미경,1989; APCA,1986). 그럼에도 불구하고 산업화와 경제화에 초점을 맞춘 국가정책에 따라 실내환경의 중요성은 인식되지 못하였고, 1970년대 초 선진 각국에서 빌딩증후군(Sick Building Syndrome)이라하는 새로운 증상이 보고 되면서부터 본격적으로 건강위해성과 관련하여 관심을 갖게 되었다(Molbare, L.,1982; Lende, R.,1980).

실내공기질과 관련된 최근의 연구에서 실내공기의 성분 중 1 ppb와 1 ppm 사이의 농도를 가진 성분이 250여 가지 이상이나 된다는 것은 실내공기를 구성하고 있는 요소가 그 만큼 다양하고 복잡하게 구성되어 있음을 의미한다. 김윤신(1989). 그 예로 미국의 환경보호청(U.S. EPA)은 대표적인 실내공기오염물질의 근원을 실외, 빌딩시설, 건축자재의 성분, 실내에서 인간의 활동의 결과에 의해서 발생되며, 각 실내공기오염물질의 근원에서 발생하는 실내오염물질의 종류를 제시한 바 있다(EPA(1996).

우리나라는 전통적으로 교육열과 전체적인 교육수준은 매우 높으나 이를 뒷받침 할만한 교육제도나 교육여건은 상대적으로 열악한 수준이며, 특히 학교 환경위생 관리는 매우 미흡한 상태이다. 이것은 근본적으로 우리나라의 교육정책과 교육행정상의 문제점이기는 하지만 환경위생분야에 있어서도 학교 환경관리에 대한 체계적인 연구와 투자 및 개선에 관한 노력과 관심이 적었던 것이 사실이다(백남원,1991).

우리나라 전체 인구의 약 27%를 차지하는 초·중학생들은 신체와 정신의 성장발육이 왕성한 시기에 있으며, 특히 학생들은 몸과 마음이 계속 발육상태에 있고 질병에 대한 저항력이 불충분한 연령층이기 때문에 보건학적으로 중요한 인구집단이다(정영숙,2000; 남철현,1997). 또한 초등학교부터 고등학교에 이르기까지 많은 시간을 학교내에서 생활하고 있으므로 이들이 생활하는 공간인 학교의 환경을 쾌적하고 안전하게 만들어 주고 유지, 관리하는 일은 매우 중요하며 또한 당연히 이루어져야 한다. 교육인적자원부(2000)

더구나 학교는 여러 방면으로 지역사회의 중심체 역할을 하기 때문에 학교에서의 보건교육과 서비스는 그 지역사회 주민뿐만 아니라 국민의 건강생활에도 커다란 영향을 미친다고 볼 수 있다. 또한 아동, 청소년들이 하루 중 거의 3분의 1이상을 생활하는 학교시설의 경우 여러 가지 양상의 문제점을 가지고 있으나 우리나라의 경우 교실내 유해 환경문제에 대한 영향과 대책에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않으며, 학교 실내공기오염으로 인한 학생들의 건강위해성에 대한 연구 또한 아직 미흡한 상태로 성장기의 학생들에게 학교내 환경은 매우 중요한 사항이나, 이러한 쾌적한 학교환경을 유지하기 위한 연구가 이루어지고 있지 않은 실정이다.

이에 본 연구는 향후 교실의 건축에서부터 실내공기오염의 억제 및 공기질의 개선을 위한 방안을 마련할 수 있는 기초자료의 확보 및 활용을 위해 서울·경기지역 초·중·고등학교 교실내 온열환경 및 실내공기오염현황과 학교가 위치한 지역적 특성 및 시간대별 교실내 실내공기오염물질의 분포를 조사·제시하였다.

II. 연구내용 및 방법

1. 연구대상 및 기간

본 연구는 주거지역, 교통혼잡지역 및 공단지역에 위치한 학교 교실의 실내공기오염의 특성을 파악하기 위하여 서울의 주거지역과 교통혼잡지역에 위치하고 있는 초·중·고등학교 5개교, 경기도 공단지역에 위치하고 있는 초·중·고등학교 3개교를 선정하여 2000년 6월부터 8월까지 두 달 동안 총 8개교의 교실 내 온열환경 및 실내공기오염도를 측정하였다.

표 1은 연구대상지역별 각 연구대상시설의 건물특성과 환경조건을 나타낸 것으로 한 학급의 학생수들은 공단지역 초등학교 및 중학교(각, 48명, 45명)를 제외하고 35명 이상 40명 미만으로 조사되었으며, 교실 바닥은 대부분 나무나 콘크리트로 되어 있었으나 공단지역에 위치한 중학교 교실의 바닥이 고무로 되어 있었다. 또한 모든 조사대상 교실의 환기방법은 자연환기법을 이용하고 있는 것으로 조사되었다.

Table 1. Characteristics of sampling sites in selected for the measurement by regional groups

Region	School	Classroom persons	Materials of the flat	Method of ventilate	Measurement floor	Classroom area(m ²)
Residence	Elementary	38	Wood	Natural	3	7.50×8.70
	Middle	37	Concrete	Natural	1	7.44×8.80
	High	35	Wood	Natural	2	7.44×8.80
traffic congestion	Elementary	35	Wood	Natural	3	7.44×8.80
	Middle	37	Concrete	Natural	2	7.44×8.80
Industrial complex	Elementary	48	Wood	Natural	3	7.44×8.80
	Middle	45	Rubber	Natural	3	7.80×8.67
	High	35	Wood	Natural	3	7.04×8.80

2. 측정대상항목

본 연구의 측정대상항목은 교실 내 환경위생항목인 온도, 습도, 조도, 호흡성분진(PM10), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂) 6가지 항목과 대표적 실내공기오염물질인 라돈(²²²Rn)을 측정대상항목으로 선정하였다.

온도, 습도, 조도, 일산화탄소 및 이산화탄소의 측정은 Indoor Air Monitor(BABUC/A)를 교실중앙에 호흡기의 위치와 비슷한 바닥으로부터 약 1.5m 높이에 설치하여 24시간 동안 10분 간격으로 연속 측정하였다. 이 측정장비는 PT100 백금 Sensor가 설치되어 있어 전기식으로 온도가 측정되어지며 습도는 전기식 저항을 이용하여 측정되어진다. 또한 조도는 Photo Diode Sensor를 이용하여 측정된다.

일산화탄소의 측정은 정전기 전해법으로 가스 투과성 격막을 통해서 전해조 중의 전해질에 확산 흡수된 일산화탄소를 정전위전해법에 의해서 산화시키고, 그 때에 생기는 전해 전류를 이용하여, 공기 중에 포함된 일산화탄소의 농도를 연속적으로 측정하였으며, 또한 이산화탄소는 비분산 적외선법을 이용하여 측정하였다. 비분산 적외선법은 서로 다른 원자로 구성된 분자들이 가지고 있는 각각의 고유의 적외선 흡수 스펙트럼을 이용하여 적외선 흡수량의 변화를 선택성 검출기로 측정해서 공기 중 포함되어 있는 가스상 오염물질의 농도를 연속적으로 측정할

수 있는 방법이다.

미세분진 측정은 Aerosol Dust Monitor(Model : GT-331, SHIBATA)를 이용하여 Indoor Air Monitor와 같은 위치에서 5분 간격으로 연속 측정하였다. GT-331의 원리는 광산란법으로 이는 대기 중에 부유하고 있는 입자상물질에 빛을 조사하면 입자상 물질에 의하여 빛이 산란하게 되며 물리적 성질이 동일한 입자상물질에 빛을 조사하면 산란광의 양은 질량농도에 비례한다는 원리로 산란광의 양을 측정하고 그 값으로부터 입자상물질의 농도를 구하는 방법이다.

라돈의 측정은 RAD7(Durridge. Co.)를 이용하여 Indoor Air Monitor와 같은 위치에서 1시간 간격으로 연속 측정하였다. RAD7은 섬광셀이나 이온실을 이용하여 알파입자를 감지하는 방법과는 달리 반도체이용하여 알파입자를 감지할 수 있는 장치로 감지기내의 반도체를 이용하여 알파입자를 직접 전기적 부호로 전환시켜 이 전기적 부호를 통해 라돈농도를 연속적으로 측정할 수 있다.

3. 통계처리

모든 측정치는 평균, 표준편차를 제시하였고 모든 자료의 검증은 SPSS(Statistical package for the social science) 통계 package를 사용하여 검증하였으며, 통계치의 유의 수준은 0.05를 채택하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 온열환경

실내공기질의 오염으로 인한 종합적인 작용으로 ‘빌딩증후군’을 들 수 있는데 이것은 온열환경에 인한 영향 때문이다. 일반적으로 고온환경은 체열의 방사를 촉진시키고, 적절치 못한 습도는 인간에게 불쾌감을 주며, 난습과 저온환경은 체열의 방사를 제한하며, 고온환경에 오래 폭로되면 정신 신경반응으로 초조감의 증대, 권태감, 의욕저하, 불안증대, 집중력의 상실을 가져온다. 또한 습도저하는 인체 점막건조와 정전기 발생의 간접적 영향이 있으며, 구강이 건조한 상태에서는 흡인한 미생물 등의 분진을 체외로 배출하는 역할을 하는 섬모활동이 저하되어 감기 등에 대한 방어기능이 저하되는 수가 있다. 이와 같이 실내 온열환경은 거주자들의 정신적, 육체적 건강에 큰 영향을 미치고 있다고 할 수 있으며, 특히 학교환경은 육체적으로는 아직 성장기에 있는 학생들이 모여 정신적, 심리적 및 육체적 활동이 이루어지고 있는 곳으로 교실 내 적절한 온열환경의 유지는 매우 중요하다고 사료된다.

표 2는 본 연구의 연구대상 교실 내의 온열환경(온도, 습도, 조도)에 대한 측정 결과를 나타낸 것이다. 온도의 경우 거주지역 초등학교에서 29.17 ± 0.57 °C로 가장 높은 교실내 온도를, 거주지역 중학교에서 26.18 ± 0.61 °C로 가장 낮은 교실내 온도를 나타냈다. 또한 전체 연구대상 교실의 평균 온도는 26.94 ± 1.15 °C로 조사되었다. 또한 보건복지부 공중위생법의 실내공기 환경위생 관리기준(보건복지부, 1990)에서 제시하고 있는 실내 온도기준($17 \sim 28$ °C)에 가장 높은 온도를 보인 거주지역 초등학교 교실 내 온도만을 제외하고는 모두 적합한 것으로 조사되었다. 습도는 공업지역에 위치한 초등학교 교실에서 $74.17 \pm 3.04\%$ 로 가장 높게 조사되었으며, 가장 높은 온도를 보인 거주지역 초등학교 교실에서 $59.11 \pm 3.43\%$ 로 가장 낮은 습도를 나타냈다. 전체 연구대상 교실의 평균 습도는 $68.88 \pm 5.31\%$ 로 조사되어 공중위생법에서 제시하고 있는 실내 습도기준인 40-70%를 초

과하지 않는 것으로 나타났으나, 교통혼잡지역의 초등학교($72.01 \pm 2.73\%$)와 공업지역의 초등학교($74.17 \pm 3.04\%$) 및 고등학교($71.83 \pm 2.99\%$)가 기준을 초과하는 것으로 조사되었다. 조도의 경우 전체 연구대상 교실의 평균 조도는 268.26 ± 164.60 Lux로 공중위생법에서 제시하고 있는 기준인 100 Lux 이상을 만족하고 있는 것으로 조사되었으나, 영국의 CIBS(Chartered Institution of Building Services)에서 제시하고 있는 교육시설 교실의 조도기준인 300 Lux보다는 낮았으며, 또한 국제조명학회에서의 강의실의 조도 기준인 300 Lux 및 미국 조명공학회에서 제시하고 있는 학습과 필기를 하는 실내 조도기준인 750 Lux에 비해 낮은 조도를 나타내었다.

그림 1은 지역적 구분에 따른 교실내 온열환경의 분포 및 평균의 차이가 있는가를 검증한 결과를 나타낸 것이다.

온도의 경우 거주지역에 위치한 학교들의 교실내 온도의 범위($23.45 \sim 31.28$ °C)가 다른 지역에 위치한 학교들의 교실내 온도의 범위보다 넓게 조사되었으며, 평균온도 또한 26.00 ± 0.85 °C를 보인 교통혼잡지역 학교의 교실온도와 26.93 ± 1.32 °C를 보인 공단지역 학교의 교실온도보다 높게 조사되었다. 습도는 공단지역에 위치하고 있는 학교의 교실에서 가장 높은 습도($72.04 \sim 4.16\%$)를 나타냈으며, 가장 높은 온도를 보였던 주거지역에 위치하고 있는 학교의 교실에서 가장 낮은 습도($63.75 \sim 6.40\%$)를 나타냈다. 또한 교통혼잡지에 위치한 학교 교실에서의 습도는 $70.75 \sim 4.10\%$ 로 조사되었다. 조도의 경우 주거지역, 교통혼잡지역 그리고 공단지역에 위치한 학교의 교실내 평균조도는 각각 243.91 ± 126.67 Lux, 273.23 ± 141.20 Lux, 280.15 ± 191.17 Lux로 조사되었다. 또한 지역적 구분에 따른 교실 내 온열환경간의 차이가 있는가의 검증 결과 각 온열환경(온도, 습도, 조도)간에 유의한 차이가 있는 것으로 조사되었다. 이는 지역적 특성에 따른 교실내의 환기 시간대의 차이와 교실내의 온열환경에 적절한 기준치가 없어 각 학교간에 교실내 온열환경 관리방법의 차에 의해 산출된 결과로 여겨진다.

Table 2. The mean values of thermocircumstance measurements for the schools

Region	School	Temperature(°C)	Relative humidity(%)	Intensity of illumination(Lux)
Residence	Elementary	29.17 ± 0.57	59.11 ± 3.43	327.37 ± 85.24
	Middle	26.18 ± 0.61	69.81 ± 1.21	142.47 ± 31.09
	High	26.59 ± 1.39	64.38 ± 5.07	275.93 ± 140.35
Traffic congestion	Elementary	27.25 ± 0.78	72.01 ± 2.73	323.28 ± 168.43
	Middle	27.02 ± 1.20	63.51 ± 4.70	216.12 ± 65.84
Industrial complex	Elementary	26.46 ± 0.91	74.17 ± 3.04	215.22 ± 76.47
	Middle	27.51 ± 0.56	68.54 ± 1.82	264.99 ± 157.86
	High	27.02 ± 1.17	71.83 ± 2.99	304.47 ± 216.65
Mean±Standard deviation		26.94 ± 1.15	68.88 ± 5.31	268.26 ± 164.60

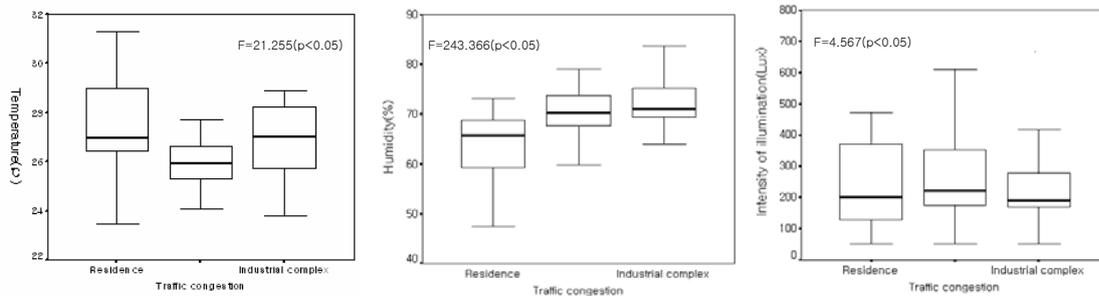


Figure 1. The distribution of thermocircumstance measurements for the schools by regional groups

2. 교실 내 공기오염 실태

교실에서의 실내오염원은 실외 대기 중 분진의 실내유입, 분필의 사용, 실내에서의 각종 활동, 건축 자재 및 난방기구의 사용으로 인한 불완전연소 등에 기인한다고 볼 수 있다. 이에 본 연구에서는 여러 실내공기오염물질 중 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 호흡성분진(PM₁₀) 및 라돈(²²²Rn)만을 대상으로 오염물질로 선정하여 측정하였으며, 그 결과는 표 3과 같다.

산소에 비해 헤모글로빈과 결합력이 약 250 - 300 배정도 높아 호흡을 통해 인체 내로 유입되어 일산화탄소-헤모글로빈(CO-Hb)를 형성함으로써 혈액의

산소 운반기능을 저해하며 신체조직의 질식 상태를 유발하는 것으로 알려진 일산화탄소(서명식, 1989)의 경우 전체 연구대상 교실에서 조사된 일산화탄소의 평균농도는 7.51 ± 0.34 ppm으로 보건복지부 공중위생법의 공중이용시설의 위생관리에 관한 법령에서의 일산화탄소의 실내공기환경기준인 10 ppm을 초과하지 않는 것으로 조사되었으며, 8.36 ± 0.29 ppm으로 가장 높은 평균농도를 나타낸 거주지역의 초등학교 교실내 일산화탄소의 농도 또한 기준치를 초과하지 않는 것으로 조사되었다. 이와 같은 결과는 일산화탄소의 주 발생원인으로 알려진 불완전연소과정이 학교 교실 내에서 이루어지지 않고 있으며, 또한

Table 3. The mean concentrations of indoor air pollutant measurements for the schools

Region	School	CO(ppm)	CO ₂ (ppm)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Rn(Bq/m ³)
Residence	Elementary	8.36 ± 0.29	552.25 ± 74.88	46.57 ± 60.07	17.61 ± 10.93
	Middle	7.32 ± 0.16	697.69 ± 251.25	33.46 ± 52.09	22.51 ± 14.98
	High	7.35 ± 0.16	471.74 ± 50.42	30.04 ± 23.10	19.81 ± 13.03
Traffic congestion	Elementary	7.70 ± 0.40	477.54 ± 55.69	22.06 ± 25.83	7.26 ± 3.40
	Middle	7.64 ± 0.29	464.14 ± 56.24	19.34 ± 28.71	13.46 ± 8.05
Industrial complex	Elementary	7.27 ± 0.22	475.44 ± 104.30	38.00 ± 38.72	6.24 ± 4.03
	Middle	7.47 ± 0.24	516.50 ± 150.10	47.92 ± 63.60	40.17 ± 23.03
	High	7.61 ± 0.18	722.89 ± 199.56	91.89 ± 47.06	37.77 ± 21.74
Mean±Standard deviation		7.51 ± 0.34	547.66 ± 175.58	36.23 ± 48.39	20.07 ± 17.95

교실내 환기가 잘 이루어지고 있기 때문에 낮은 일산화탄소의 농도를 나타낸 것으로 여겨진다.

실내공기오염의 지표물질로 알려진 이산화탄소의 경우 전체 평균농도는 547.66 ± 175.58 ppm으로 조사되었으며, 가장 높은 평균농도를 보인 교실은 공업지역 고등학교 교실로 722.89 ± 199.56 ppm으로 조사되었다. 이산화탄소 또한 일산화탄소와 같이 보건복지부 공중위생법의 공중이용시설의 위생관리에 관한 법령에서 정하고 있는 실내공기환경기준인 1,000 ppm에 비해 모든 교실에서 낮은 농도를 나타냈다. 이는 교실내 환기가 잘 이루어지고 있음을 나타낸다고 할 수 있다.

호흡성분진의 경우 이산화탄소와 같이 공업지역 고등학교 교실에서 91.89 ± 47.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 평균농도를 나타냈으며, 전체 평균농도는 36.23 ± 48.39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되어 공중위생법에서 제시하고 있는 기준인 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하지 않는 것으로 나타났다. 교실내 분진은 주요 발생원으로는 분필의 분진을 들 수 있으며 분필의 분진 중에는 5 μm 이하의 미세분진의 경우 전체량의 약 1/3이나 되고, 교실내 공기 중에는 매 평방미터당 평균 약 7만개나 되는 것으로 조사 보고 되었으며, 이렇게 발생된 분진은 휴식시간이나 청소시간의 실내에서의 각종 활동에 의해 실내바닥의 먼지가 공기 중으로 비산되어 인체 건강에 영향을 주는 것으로 알려져 있다(김윤

신, 1991).

라돈은 자연 환경 중에 존재하는 천연 방사성핵종 중의 하나로서 지각의 암석이나 토양 또는 건축 자재 중으로 방출되는 무색, 무취의 불활성기체로 실내공기오염물질의 대표적 물질로 알려져 있다. 그러나 아직 국내에서는 라돈에 대한 규제 기준이 없는 실정이나 미국을 비롯한 선진외국에서는 실내공기중의 라돈에 관한 권고치 및 기준치를 제시하고 있으며, 또한 실내공기중의 라돈을 제어하기 위한 노력을 기울이고 있다. 특히 미국의 경우 학교환경내의 라돈에 대한 규제 및 제어를 위해 Radon in School (EPA, 1994) 및 Radon Measurement in Schools (EPA, 1993)의 출판물을 출판함으로써 학교환경내의 라돈저감화방법과 가이드를 제시하고 있는 실정이다. 본 연구에서 조사된 교실 내 평균라돈 농도는 20.07 ± 17.95 Bq/m³였으며, 공업지역 중학교 교실에서 가장 높은 평균농도 40.17 ± 23.03 Bq/m³를 나타냈으나 이는 미국 EPA의 조치준위(action level)인 150 Bq/m³(4 pCi/L)(UNSCEAR, 2000)에 비해 매우 낮은 농도값이다.

3. 지역구분에 따른 교실내 공기오염의 분포

그림 2는 지역적 구분에 따른 각 교실 내 오염물질들의 분포 및 평균농도의 차이가 있는가를 검증한 결과를 나타낸 것이다.

지역적 구분에 따른 교실내 일산화탄소의 농도 중 가장 높은 평균농도(7.67 ± 0.35 ppm)를 나타낸 지역은 교통혼잡지역으로 주거지역 및 공업지역에 위치한 교실내 평균농도(각, 7.45 ± 0.37 ppm, 7.45 ± 0.26 ppm)에 비해 높은 농도를 나타냈으며, 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다($p < 0.05$). 또한 Tukey B 법을 이용한 동질성 검정 결과 교통혼잡지역의 농도가 두 지역의 농도와 유의한 차이가 있는 것으로 조사되었다($p < 0.05$). 이는 교실내 주요 일산화탄소의 발생원이 없음을 감안할 때, 교통혼잡지역에 위치한 교실내 일산화탄소농도가 높은 이유는 다른 지역에 비해 교통량이 많은 지역으로 자동차 배기가스에 의해 발생된 일산화탄소가 교실 내로 유입되어 나타난 결과로 여겨지며, 이는 교실 외 공기질이 교실내 공기질에 영향을 미치고 있음을 시사하고 있다.

이산화탄소의 경우는 일산화탄소와는 반대로 교통혼잡지역에 위치한 교실 내 평균농도(470.97 ± 56.31 ppm)가 주거지역 및 공단지역에 위치한 교실 내 평균농도(각, 579.18 ± 201.67 ppm, 578.62 ± 193.16 ppm)보다 낮은 평균농도값 나타냈다. 또한 지역적 특성에 따른 교실내 이산화탄소농도간의 차이를 통계적으로 검증한 결과 유의한 차이가 있는 것으로 조사되었으며($p < 0.05$), 동질성 검정 결과 교통혼잡지역의 농도가 두 지역의 농도와 유의한 차이가 있는 것으로 조사되었다($p < 0.05$). 이산화탄소의 경우 실내공기오염의 지표 즉, 환기상태의 지표 물질로 위에 제시한 일산화탄소의 결과와 교실내 환기가 자연환기에 의존하고 있음을 감안하면, 교통혼잡지역에 위치한 교실 내 환기상태가 다른 지역에 비해 좋은 상태에 있어 교통혼잡지역에 위치한 교실내 이산화탄소농도가 다른 지역에 위치한 교실 내

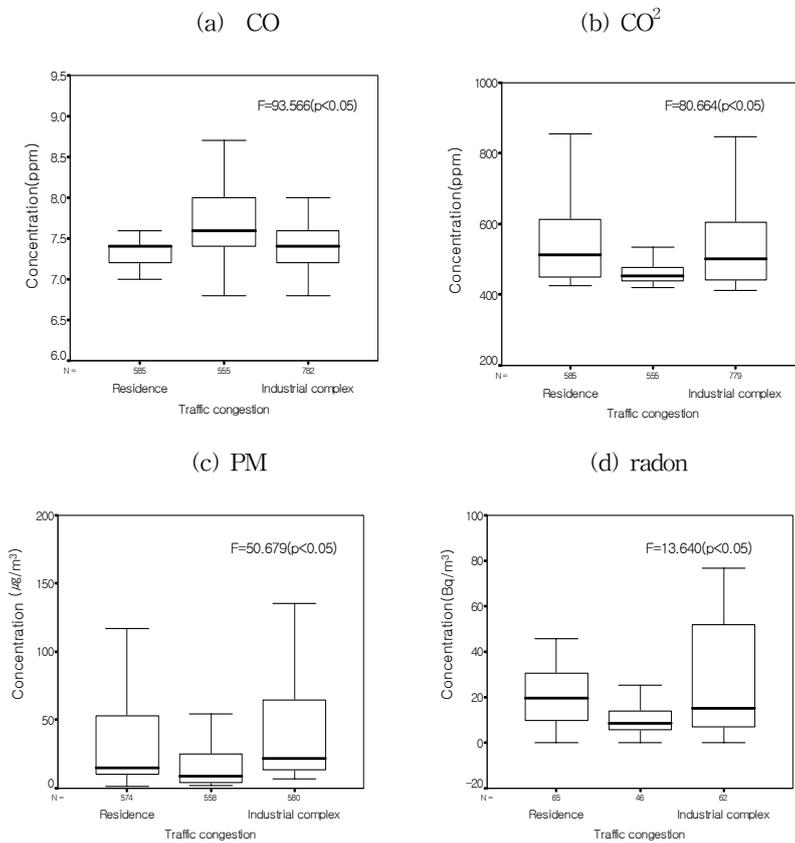


Figure 2. The distribution of indoor air pollutant measurements for the schools by regional groups ; (a) CO, (b) CO₂, (c) PM10 (b) radon

이산화탄소농도에 비해 낮은 값을 나타낸 것으로 여겨진다.

호흡성분진의 경우 공업지역에 위치한 학교의 교실 내 평균농도($48.37 \pm 54.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$)가 주거지역 및 교통혼잡지역에 위치한 학교의 교실 내 평균농도(각, $39.06 \pm 53.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $20.71 \pm 27.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 높은 농도값을 나타냈으며, 지역적 특성에 따른 교실 내 호흡성분진의 농도간에 차이는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 조사되었다($p < 0.05$). 또한 주거지역, 교통혼잡지역 및 공단지역에 위치한 학교 교실내의 호흡성분진의 농도 범위는 각각 $1.29 \sim 694.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.72 \sim 204.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $6.70 \sim 326.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 최대농도와 최소농도간의 차이가 최소 약 48배에서 최대 약 539배로 큰 차이를 나타냈다. 이는 교실내 호흡성분진의 경우 학생들이 실내에서 생활하는 시간대와 방과 후 시간대의 실내 공기중의 농도가 큰 차이를 나타내고 있음을 시사하고 있으며, 또한 이러한 결과를 통해 교실내 호흡성분진의 농도는 수업시간에 발생하는 분필의 분진 및 휴식시간이나 청소시간에 학생들의 활동에 의한 제비산 분진에 큰 영향을 받고 있는 것으로 사료된다.

라돈의 경우 공업지역에 위치한 학교의 교실 내 평균농도($27.40 \pm 23.90 \text{Bq}/\text{m}^3$)가 주거 및 교통혼잡지역에 위치한 학교의 교실 내 평균농도(각, $19.94 \pm 13.01 \text{Bq}/\text{m}^3$, $10.36 \pm 6.87 \text{Bq}/\text{m}^3$)보다 높은 농도를 나타냈으며, 지역적 특성에 따른 교실 내 라돈의 평균농도간에 유의한 차이가 있는 것으로 조사되었다($p < 0.05$). 그러나 이 결과는 라돈의 주요 발생원은 토양으로 토양으로부터 방출된 라돈이 건물의 균열된 틈을 통해 실내로 유입, 축적됨으로써 실내공기를 오염시키고 있음을 고려할 때 학교 주변 환경 즉 주거지역, 교통혼잡지역 및 공업지역의 특성에 의한 차이라기보다는 학교가 위치한 토양층의 라듐함량의 차이 및 건물의 노후화의 차이에 의해 산출된 결과로 사료된다.

4. 시간대별 교실 내 공기오염의 분포

표 4는 오전(07:00 - 11:59), 오후(12:00 - 17:59), 저녁(18:00 - 23:55) 및 심야(00:00 - 06:59)로 하루 시간을 구분한 후 초등학교, 중학교 및 고등학교 교실 내 시간대별 오염물질의 분포 및 평균농도간의 차이

가 있는가를 검증한 결과를 나타낸 것이다.

일산화탄소의 경우 초등학교는 오후, 중학교는 저녁, 고등학교는 오전에 각각 $7.89 \pm 0.48 \text{ppm}$, $7.51 \pm 0.26 \text{ppm}$, $7.60 \pm 0.19 \text{ppm}$ 으로 가장 높은 농도를 나타냈으며, 각 시간대별 평균농도간에 차이가 있는 것으로 조사되었다($p < 0.05$). 또한 동질성 검정 결과 초등학교의 경우 각 시간대별 평균농도간에 차이가 있는 것으로 나타났으며, 중학교와 고등학교의 경우 오전대의 일산화탄소의 평균농도와 오후, 저녁 및 심야대의 일산화탄소의 평균농도간에 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$).

이산화탄소의 경우 초등학교, 중학교 및 고등학교 모두 오전이 각각 $578.89 \pm 108.60 \text{ppm}$, $789.21 \pm 303.02 \text{ppm}$, $683.11 \pm 172.83 \text{ppm}$ 으로 가장 높은 농도를 나타냈다. 또한 각 시간대별 이산화탄소의 평균농도간에 차이가 있는 것으로 조사되었으며($p < 0.05$), 동질성 검정 결과 초등학교, 중학교 및 고등학교 모두 오전과 오후 및 저녁과 심야시간대의 이산화탄소의 평균농도간에 차이가 있는 것으로 조사되어 학생들이 학교에 등교하여 교실에서 활동하는 시간대와 방과 후 교실 내 학생들이 없는 시간대의 이산화탄소의 농도간에 차이가 있는 것으로 조사되었다($p < 0.05$). 이는 이산화탄소의 경우 실내 거주자들이 존재에 따라 차이가 있음을 시사하고 있다. 또한 오전이 오후에 비해 높은 농도를 나타내고 있는 것으로 조사되었다($p < 0.05$). 이는 오전이 오후에 비해 학생들의 활동량의 증가에 따른 호흡수의 증가 및 환기의 여부에 영향을 받아 나타난 결과로 사료된다.

호흡성분진의 경우 초등학교는 오후, 중학교와 고등학교는 오전에 각각 $69.07 \pm 67.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $82.43 \pm 71.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $72.15 \pm 63.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 농도를 나타냈으며, 시간대별 평균농도간에 차이가 있는 것으로 조사되었다($p < 0.05$). 또한 초등학교 및 중학교의 시간대별 호흡성분진의 평균농도간의 동질성 검정 결과 오전과 오후 및 저녁과 심야 시간대의 평균농도간에 차이가 있는 것으로 조사되어($p < 0.05$) 이산화탄소의 결과와 유사한 결과를 나타냈다. 이는 교실내 호흡성분진 농도분포의 특성상 학생들의 활동량 및 분필가루 등에 영향을 받고 있음을 고려할 때 이산화탄소와 마찬가지로 교실 내 학생들의 존재

Table 4. The mean concentrations of indoor air pollutant measurements for the schools by time zone

School	Time	CO(ppm)	CO ₂ (ppm)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Rn(Bq/m ³)
Elementary	07:00 - 11:59	7.50 ± 0.56	578.89 ± 108.60	62.67 ± 41.75	8.36 ± 4.41
	12:00 - 17:59	7.89 ± 0.48	461.52 ± 31.73	69.07 ± 67.85	5.86 ± 3.90
	18:00 - 23:55	7.70 ± 0.32	444.69 ± 15.34	16.18 ± 6.06	10.60 ± 7.68
	00:00 - 06:59	7.34 ± 0.23	438.35 ± 12.30	10.54 ± 5.92	15.34 ± 10.84
	F(p-value)	47.269(p<0.05)	200.630(p<0.05)	139.086(p<0.05)	4.361(p<0.05)
Middle	07:00 - 11:59	7.42 ± 0.28	789.21 ± 303.02	82.43 ± 71.04	18.69 ± 19.50
	12:00 - 17:59	7.49 ± 0.34	550.34 ± 145.34	56.23 ± 48.67	7.50 ± 4.60
	18:00 - 23:55	7.51 ± 0.26	503.38 ± 80.61	11.05 ± 6.32	24.37 ± 13.91
	00:00 - 06:59	7.49 ± 0.24	468.17 ± 38.35	5.45 ± 3.59	40.00 ± 17.95
	F(p-value)	3.487(p<0.05)	147.227(p<0.05)	169.829(p<0.05)	10.379(p<0.05)
High	07:00 - 11:59	7.60 ± 0.19	683.11 ± 172.83	54.71 ± 38.78	15.78 ± 13.82
	12:00 - 17:59	7.39 ± 0.15	535.69 ± 64.90	72.15 ± 63.06	6.15 ± 3.79
	18:00 - 23:55	7.40 ± 0.13	443.38 ± 8.70	N.A.	18.65 ± 14.44
	00:00 - 06:59	7.35 ± 0.16	471.91 ± 80.53	N.A.	34.09 ± 21.13
	F(p-value)	94.442(p<0.05)	110.528(p<0.05)		6.573(p<0.05)

N.A. : Not Available

및 활동성 등이 교실내 호흡성분진의 농도에 영향을 미치고 있는 것으로 여겨진다.

라돈의 경우 다른 오염물질과 달리 초등학교, 중학교 및 고등학교 모두 심야시간대에 각각 $15.34 \pm 10.84 \text{Bq}/\text{m}^3$, $40.00 \pm 17.95 \text{Bq}/\text{m}^3$, $34.09 \pm 21.13 \text{Bq}/\text{m}^3$ 로 가장 높은 평균농도를 나타냈으며, 각 시간대별 평균농도간에 차이가 있는 것으로 조사되었다 ($p < 0.05$). 또한 동질성 검정 결과 심야시간대 라돈 농도와 오전, 오후 및 저녁시간대의 라돈농도간에 차이가 있는 것으로 조사되었다 ($p < 0.05$). 라돈은 다른 실내공기오염물질과는 달리 토양에서 배출되는 자연방사능 물질로 건물의 균열된 틈을 통해 실내로 유입, 축적됨으로써 실내 공기질에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 즉 교실 특성상 토양에서 배출 유입된 라돈이 환기가 이루어지지 않는 심야시간대에 실내 공기 중에 축적됨으로써 그 농도가 증가되어 심야시간대의 라돈농도가 다른 시간대(오전, 오후 및 저녁)의 라돈농도에 비해 높게 조사된 것으로 생각된다.

IV. 결 론

본 연구는 향후 교실의 건축에서부터 실내공기오염의 억제 및 공기질의 개선을 위한 방안을 마련할 수 있는 기초자료의 확보 및 활용을 위해 2000년 6월부터 8월까지 주거지역, 교통혼잡지역 및 공단지역에 위치한 초·중·고등학교 총 8개교의 교실 내 온열환경 및 실내공기오염도를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 교실내 온열환경조사 결과 평균온도는 $26.94 \pm 1.15^\circ\text{C}$, 평균습도는 $68.88 \pm 5.31\%$ 그리고 평균조도는 $268.26 \pm 164.60 \text{Lux}$ 로 조사되었으며, 보건복지부 공중위생법에 제시된 실내환경기준과 비교하였을 때 이들 모두 기준치 이하의 값으로 나타났다.

2. 교실내 일산화탄소, 이산화탄소 및 호흡성분진의 평균농도는 각각 $7.51 \pm 0.34 \text{ppm}$, $547.66 \pm 175.58 \text{ppm}$, $36.23 \pm 48.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 보건복지부 공중위생법에 제시된 실내환경기준에 비해 모두 낮은 값을 나타냈으며, 라돈 또한 평균농도가 $20.07 \pm 17.95 \text{Bq}/\text{m}^3$ 로

미국 EPA에서 권장하는 조치준위에 비해 낮은 값으로 나타났다.

3. 지역구분에 따른 교실내 오염물질의 분포조사 결과 일산화탄소의 경우 교통혼잡지역(7.67 ± 0.35 ppm), 이산화탄소의 경우 주거지역(579.18 ± 201.67 ppm), 호흡성분진 및 라돈의 경우 공업지역(각 $48.37 \pm 54.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $27.40 \pm 23.90 \text{ Bq}/\text{m}^3$) 에서 가장 높은 평균농도를 나타냈으며, 지역구분에 따른 각 오염물질의 평균농도 간에 차이가 있는가에 대한 분산분석결과 유의한 차이가 있는 것으로 조사되었다.

4. 시간대별 교실 내 오염물질의 분포조사 결과 일산화탄소는 초등학교는 오후, 중학교는 저녁, 고등학교는 오전에 가장 높은 농도를 나타냈으며, 이산화탄소는 초·중·고 모두 오전에 가장 높은 농도를 나타냈다. 또한 호흡성분진은 초등학교는 오후, 중학교와 고등학교는 오전에 가장 높은 농도를 나타냈으며, 라돈은 초·중·고 모두 심야시간에 가장 높은 농도가 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2000년 교육인적자원부 정책연구과제 연구비에 의하여 지원되었으며, 이에 감사드립니다

참 고 문 헌

1. 교육인적자원부. 학교보건 및 교내 환경위생 개선 방안에 관한 연구보고서. 2000
2. 남철현, 정기혜. 중·고등학교 학생들의 환경보건에 대한 지식 태도 조사. 한국환경위생학회지, 1997;23(3), 7-26
3. 김성신. 신축소규모 아파트의 겨울철 실내공기환경. 한국생활환경학회 춘계학술지. 1997;54-55
4. 김윤신. 실내공기오염. 대한의학학회지. 1989; 32(1): 1279 - 1285
5. 전준민. 서울시 일부 백화점의 실내공기질에 관한 조사연구. 환경과 산업의학. 1996; 5(1): 49-58
6. 정영숙, 이정렬. 학교보건. 수문사. 2000:23-28
7. 김윤신. 학교의 실내환경관리. 한국학교보건학회지, 1991;4(2), 1-6
8. 김미경. 실내 포름알데히드 농도에 관한 연구조사. 한국환경위생학회지 1989;15(2):1-9
9. 백남원. 학교환경. 한국학교보건학회지. 1991;4(2), 31-41
10. 보건복지부. 공중위생법 공중이용시설 위생관리 기준. 1990
11. 서명석. 공중보건학. 동화기술. 1989
12. 한국위생관리협회. 서울시 일부 사무용건물의 실내공기질에 관한 조사연구. 94보고서, 1994
13. APCA : Indoor Radon, Air Pollution Control Association. Pittsburgh, PA., 1986
14. Lende, R. Health Aspects Related to Indoor Air Pollution. Inter. J. Epidemiology, 1980;9(3), 195
15. Molbare, L. : Indoor air pollution due to organic gases and vapors of solvents in building materials. Environ. Int., 1982
16. NAS : Indoor Pollutants, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1981
17. United States Environmental Protection Agency : IAQ Tools for Schools Kit-IAQ Coordinator's Guide : Understanding IAQ Problems, 1996
18. United States Environmental Protection Agency..Radon in School..Second Edition, 1994; EPA-402-F-94-009
19. United States Environmental Protection Agency. Radon Measurement in School. 1993; U.S. EPA, 402-R-92-014
20. UNSCEAR. Source Effects and Risk of Ionizing Radiation. United Nations. New York. 2000