

## 서울지역 공공청사 민원실의 겨울철 실내공기질에 관한 연구

### Study on Indoor Air Pollutants of Public Service Centers in Winter, Seoul

전재식 · 김미형<sup>1)</sup> · 이주열<sup>1)</sup> · 전명진 · 류인철 · 박덕신<sup>2)</sup> · 최한영<sup>3),\*</sup>

서울특별시보건환경연구원 대기부, <sup>1)</sup>에니텍 기술연구소

<sup>2)</sup>한국철도기술연구원 도시철도공기질연구단, <sup>3)</sup>울지대학교 보건환경과학부

(2011년 6월 27일 접수, 2011년 7월 29일 수정, 2011년 9월 14일 채택)

Jea-Sik Jeon, Mi-Hyung Kim<sup>1)</sup>, Ju-Yeol Lee<sup>1)</sup>, Myung-Jin Jeon,  
In-Cheol Ryu, Duck-Shin Park<sup>2)</sup> and Han-Young Choi<sup>3),\*</sup>

*Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health & Environment*

<sup>1)</sup>*R&D Team, Anytech*

<sup>2)</sup>*Railroad Air Quality Research Corps, Korea Railroad Research Institute*

<sup>3)</sup>*Department of Environmental Health, Eulji University*

(Received 27 June 2011, revised 29 July 2011, accepted 14 September 2011)

### Abstract

This study evaluated the indoor air quality of 26 government offices located in Seoul. The pollutant samples were taken from Jan. 13th to Jan. 29th and Feb. 20th to Feb. 23rd, 2010 in the offices. The target indoor pollutants for this study were PM<sub>10</sub>, formaldehyde, carbon monoxide, carbon dioxide, total bacteria counts, total volatile organic compounds, radon, nitrogen dioxide, ozone, and asbestos which were controlled by the indoor air quality law for the multiple-use facilities management. The results of this study showed that some pollutants of the 38.5% offices exceeded the standards of the air quality guideline. The correlation analysis of the same pollutants between indoor and outdoor represented that NO<sub>2</sub> ( $r=0.629$ ,  $p<0.05$ ) and O<sub>3</sub> ( $r=0.459$ ,  $p<0.01$ ) were significant, however, PM<sub>10</sub> and CO were not. The correlation analysis between different pollutants showed that CO and TVOC (total volatile organic compounds:  $r=0.724$ ;  $p<0.01$ ), CO and NO<sub>2</sub> ( $r=0.674$ ;  $p<0.01$ ), HCHO and humidity ( $r=0.605$ ;  $p<0.01$ ), CO<sub>2</sub> and TVOC ( $r=0.534$ ;  $p<0.01$ ), TBC (total bacteria counts) and Asbestos ( $r=0.520$ ;  $p<0.01$ ) were significant. The energy-saving system of government buildings in winter caused under-ventilated and poor air quality. This study suggests that the concentrations of radon and CO<sub>2</sub> should be used as an indicator for monitoring indoor air quality and maintaining effective ventilations.

**Key words** : Seoul, Government offices, Indoor pollutants, Radon, Winter

---

\*Corresponding author.

Tel : +82-(0)31-740-7143, E-mail : choihan@eulji.ac.kr

## 1. 서 론

서울의 대표적인 공공청사는 서울시청을 비롯한 25개 구청이 있다. 청사의 내방객은 주로 민원실을 방문하는 고객으로 일부 구청의 경우 일평균 최대 3,500명 이상의 시민이 이용하고 있다. 최근 자치구에서는 시민서비스 향상과 편익증대를 위하여 청사신축과 부분적인 리모델링이 대부분 완료되었거나 한창 진행 중에 있다. 청사 민원실은 불특정 다수인이 내방하는 이유로 시민고객과 상시 근무자들의 호흡기질환 등 건강에 대한 위해성을 고려하여야 하며 오염으로부터 예방과 쾌적한 환경 조성을 위하여 실내공기 오염물질 특성을 파악하는 것은 매우 중요하다(Kim, 1999).

실내공기 오염물질에 관한 연구는 주로 지하역사, 지하상가, 터미널, 보육시설, 실내주차장 등 다중이용시설의 실내공간에 관한 연구가 대부분으로 이루어져 왔으며, 업무시설 등 공중이용시설의 사례 연구는 매우 미흡한 실정이다(Baek *et al.*, 2006). 더욱이 다중이용시설은 2005년 제정된 실내공기질관리법에 의해 미세먼지(PM<sub>10</sub>), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 폼알데하이드(formaldehyde: HCHO), 총부유세균(total bacteria counts: TBC), 일산화탄소(CO)는 유지기준에 의하여 관리되고 있으며, 이산화질소(NO<sub>2</sub>), 라돈(radon), 총휘발성유기화합물(TVOC), 석면(asbestos), 오존(O<sub>3</sub>)은 권고기준에 의하여 10종류의 오염물질이 관리되고 있으나, 공중이용시설의 경우 공중위생관리법에서 규제하는 오염물질 항목은 미세먼지 등 4개 항목에 불과하다(Lee *et al.*, 2011; Korean Ministry of Environment, 2008; Son *et al.*, 2008).

실내공기오염과 업무능력 간의 상관관계에 대한 연구에서 오염물질의 농도증가가 업무능력의 저하를 가져온다는 것이 잘 알려져 있으며 겨울철에는 난방효과의 증대를 위해 다른 계절에 비해 환기가 잘 이루어지지 않게 되어 실내공기의 오염이 더욱 심해질 수 있다(Lee *et al.*, 2010; Shin *et al.*, 2009). 따라서 겨울철 실내공기오염을 관리하기 위해서는 오염발생원을 정확히 분석하고 그 오염원을 제거하거나 대체하여 쾌적한 실내공기를 유지하여야 한다(Baek and Park, 2004; Baek and Kim, 1998). 겨울철 실내공기를 오염시키는 발생원은 난방기구, 가습기, 방향제, 의류 등이 있으며 건축자재로 합판, 단열재 등이 있고, 외

기로부터 유입되는 오염물질, 인간활동으로 발생하는 오염물질 등이 있다(Kim, 2000; Na *et al.*, 2000). 이와 같은 겨울철 실내에서 발생하는 실내오염물질 중 생활용품에서 발생하는 대표적인 물질로는 이산화질소, 일산화탄소, 미생물성 물질이 있고 건축자재에서 발생하는 폼알데하이드, 휘발성유기화합물, 석면, 라돈이 있으며 흡연으로 발생하는 담배연기 등을 들 수 있다(Lee *et al.*, 2008).

2009년 환경부의 다중이용시설 실내공기질 점검 결과, 지하역사, 보육시설 등 총 9,213개 다중이용시설 중 81개 시설이 실내공기질 유지기준을 초과, 자가측정 의무 미이행 등 법령을 위반한 것으로 나타났다. 또한 전체 다중이용시설의 16%인 1,514개 시설에 대한 오염도 검사를 실시한 결과 52개 시설이 실내공기질 유지기준을 초과하였으며 초과시설의 대부분은 보육시설과 의료기관이며 총부유세균에 의한 오염이 심각한 것으로 분석되었다. 미세먼지는 평균 55.3 µg/m<sup>3</sup>, 폼알데하이드는 평균 24.9 µg/m<sup>3</sup>, 이산화탄소는 평균 536.4 ppm, 총부유세균은 평균 405.0 CFU/m<sup>3</sup>으로 나타났다. 조사결과, 미세먼지는 특히 실내주차장(68.0 µg/m<sup>3</sup>), 지하역사(61.2 µg/m<sup>3</sup>), 버스터미널(60.9 µg/m<sup>3</sup>)에서 높았으며, 폼알데하이드는 미술관(284.1 µg/m<sup>3</sup>), 박물관(46.7 µg/m<sup>3</sup>)에서 높은 것으로 나타났고, 총부유세균은 보육시설(488.6 CFU/m<sup>3</sup>)에서 높게 나타났다. 상기 연구에서는 개보수하는 다중이용시설이나 신축되는 건물실내를 대상으로 측정하지 않았으나, 이들 개보수 또는 신축건물에서는 폼알데하이드와 휘발성유기화합물이 다량 배출될 것으로 추정된다. 이와 같이 다중이용시설은 각 용도별 취약한 오염물질의 특성을 파악하고 관리하여야 하며 건축물 실내공기질 관리에 있어서 특히 유의하여야 할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 그동안 조사 및 보고가 거의 이루어지지 않았던 서울지역 관공서를 대표할 수 있는 시청과 각 구청 민원실의 실내공기질 수준과 특성을 파악함으로써 공중이용시설의 실내공기질 관리를 위한 정책 수립에 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 2. 연구방법

실험분석을 위한 샘플 측정지점은 서울시청에 소재하는 다산플라자(중구 서소문 별관)와 25개 각 구

청의 민원실이다. 그림 1은 시료채취를 수행한 서울 지역의 26개 공공청사(A~Z)의 위치를 나타내었다. 측정기간은 2010년 1월 13일부터 1월 29일까지와 2월 20일 토요일부터 2월 23일 화요일까지 측정하였다. 측정대상 오염물질은 다중이용시설 등의 실내공기질관리법에서 기준항목으로 제시하고 있는 미세먼지, 폼알데하이드, 일산화탄소, 이산화탄소, 총부유세균, 총휘발성유기화합물, 라돈, 이산화질소, 오존, 석면을 대상으로 측정하였다. 위와 같이 10개 항목의 오염물질 농도, 온도, 그리고 습도는 1월 13일부터 1월 29일까지 각 구청의 민원실에서 직접 측정하였다. 조사기간 동안 일부 청사에 대해서는 민원실 출입구와 인접 외기에서도 전체 항목을 동시에 측정하여 실내

공기질과 비교 자료로 이용되었다. 또한, 그림 1에 함께 나타낸 대기측정소의 TMS자료는 실외오염물질의 농도 값으로 본 연구에서 실내오염물질 측정 농도와의 비교분석을 위해 수집되어 사용되었다. 2월 20일 토요일부터 2월 23일 화요일까지 측정 대상항목은 본 연구에서 모니터링 연계방식을 위한 기초실험으로서 이산화탄소와 라돈의 농도를 측정하였으며 주말과 주중의 자료 비교를 위하여 활용되었다.

시료채취 지점은 분리 민원실의 경우 2개 민원실을 선정하였으며 통합 민원실은 동일 공간의 대표지점인 2개 지점에서 시료를 채취하여 분석한 후 결과의 평균값을 사용하였다(Baek *et al.*, 2002). 시료채취 및 분석방법은 실내공기질관리법 공정시험기준(Korean Ministry of Environment, 2008)에 준하여 수행하였다. 시험방법 및 분석기기정보는 표 1에 정리된 바와 같다. 본 연구에서는 측정된 데이터와 수집된 TMS 자료를 사용하여 오염물질의 내부농도와 외부농도 간의 상관관계의 분석과 민원실 내 측정오염물질들 사이의 상관관계를 분석하였다. 상관분석은 t-test에 의하여 검증하였으며, 이때 통계패키지로는 SPSS를 분석도구로 이용하였다.



Fig. 1. Locations of public buildings in Seoul.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 실내공기 관리 현황

표 2는 26개 청사 민원실의 현황과 특성을 보여주고 있다. 일평균 방문객수가 1,000명 이상인 민원실은 10개였으며 이 중 3개 민원실의 일평균 방문객수는 3,000명 이상이었다. 건축연도는 1970년대 10개,

Table 1. Experimental methods and analyzers used.

Pollutants	Experimental method	Unit	Analyzer
PM <sub>10</sub>	Air sampling method	µg/m <sup>3</sup>	MINIVOL-TAS, Airmetrics Co., USA
HCHO	HPLC	µg/m <sup>3</sup>	HPLC, Finnigans urveyor, Thermo, USA
CO	NDIR	ppm	EC9830 series CO, Ecotech, AU
CO <sub>2</sub>	NDIR	ppm	EC9820 series CO <sub>2</sub> , Ecotech, AU
TBC <sup>†</sup>	MFC	CFU/m <sup>3</sup>	Colony count, MAS-100 eco, Switzerland
TVOC	TD-GC/MS	µg/m <sup>3</sup>	GCMS-QP2010, SHIMAZU, JP
Radon	Continuous monitoring	Bq/m <sup>3</sup>	RAD-7, Durrige Co., USA
NO <sub>2</sub>	Chemiluminescence method	ppm	EC9841 series NO <sub>x</sub> , Ecotech, AU
O <sub>3</sub>	UV photometric method	ppm	EC9810 series O <sub>3</sub> , Ecotech, AU
Asbestos	PCM, TEM	fiber/cc	BX-51, Olympus Co., USA Tecnai G2 Spirit, 120 Kev, FEI Co., USA

<sup>†</sup> total bacteria counts

1980년대 6개, 1990년대 3개, 2000년대 7개 민원실이 해당하는 것으로 조사되었으며 2000년 이전 건축 청사 중 58%에 해당하는 11개의 청사 민원실은 2000년 이후 부분적인 리모델링이 시행된 것으로 나타났다. 26개 청사 민원실 중 15개 민원실은 자연환기 방

법으로 환기를 하고 있으며, 11개 민원실은 기계적 방법으로 환기를 하고 있는 것으로 조사되었다.

### 3.2 실내공기 오염물질 분포 현황

표 3에는 본 연구에서 측정한 공공청사 민원실의 실내공기질 분포를 오염물질별로 구분하여 나타내었다. 전체 민원실의 각 물질별 평균농도는 미세먼지 47.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 폼알데하이드 14.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 일산화탄소 0.78 ppm, 이산화탄소 850.0 ppm, 총부유세균 86.8 CFU/ $\text{m}^3$ , 총휘발성유기화합물 324.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 라돈 16.5 Bq/ $\text{m}^3$ , 이산화질소 0.036 ppm, 오존 0.006 ppm, 석면 0.005 fiber/cc로 나타났다. 그림 2에 나타난 바와 같이 미세먼지는 L구청에서 181.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되어 실내공기질관리법에서 제시하고 있는 유지기준 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하였고, 이산화탄소는 7개 구청에서 유지기준 1,000 ppm을 초과하였으며 최대 측정값은 C구청에서 1,195.8 ppm으로 조사되었다. 총휘발성유기화합물은 4개 구청에서 권고기준 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하였으며 최대 측정값은 C구청에서 747.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 이산화질소의 경우 최대 측정값은 M구청에서 0.056 ppm이었으며 2개 구청에서 권고기준 0.05 ppm을 초과하여 나타났다.

오염물질 분포 분석결과 오염물질 농도가 기준농도를 초과한 시설은 10개로 분석되어 전체 조사대상 시설 중 38.5%가 실내공기질이 적절하게 관리되지 못하고 있는 것으로 확인할 수 있었다. 이 중 3개 시설은 내방객 수가 일일 평균 1,000~3,400명으로 조사되었으며, 4개 시설은 2개 이상의 오염물질이 중복 초과되는 것으로 나타남으로써 청사 내방객과 민원

**Table 2. Characteristics of the studied public service centers.**

Center	Visitors/d (ave.)	Construction	Ventilation mode	Remodeling (partial)
A	3,400	1975	Natural	
B	650	1979	Mechanical	
C	500	1974	Natural	2009
D	833	1977	Natural	2009
E	230	2007	Natural	
F	2,000	1991	Natural	2003
G	300	1981	Natural	
H	400	2008	Mechanical	
I	500	1988	Natural	
J	140	2003	Mechanical	
K	1,500	2000	Mechanical	
L	350	1980	Natural	2004
M	1,000	2008	Mechanical	
N	350	1977	Natural	2005
O	3,500	1991	Mechanical	2006
P	450	2004	Mechanical	
Q	550	2008	Mechanical	
R	3,400	1989	Natural	2008
S	2,500	1982	Mechanical	
T	856	1992	Mechanical	2006
U	1,000	1976	Natural	
V	740	1978	Natural	
W	1,000	1981	Mechanical	2008
X	1,500	1979	Natural	2002
Y	450	1979	Natural	2009
Z	500	1979	Natural	

**Table 3. Distribution of concentrations of indoor air pollutants in public service centers.**

Pollutants	Standard	Unit	Concentration (N=26)					Exceed (%)
			Mean	S.D.	Max.	Median	Min.	
PM <sub>10</sub>	150	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	47.8	30.6	181.1	43.3	19.2	3.8
HCHO	100	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	14.7	4.9	24.5	13.9	4.3	-
CO	10	ppm	0.78	0.68	2.55	0.63	0.10	-
CO <sub>2</sub>	1000	ppm	850.0	155.2	1195.8	789.7	624.0	26.9
TBC <sup>†</sup>	800	CFU/ $\text{m}^3$	86.8	47.8	228.4	69.7	20.0	-
TVOC	500	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	324.5	149.3	747.7	275.5	178.7	15.4
Radon	148	Bq/ $\text{m}^3$	16.5	10.2	44.4	14.8	3.7	-
NO <sub>2</sub>	0.05	ppm	0.036	0.009	0.056	0.033	0.021	7.7
O <sub>3</sub>	0.06	ppm	0.006	0.003	0.010	0.007	0.001	-
Asbestos	0.01	fiber/cc	0.005	0.002	0.008	0.005	0.002	-

<sup>†</sup> total bacteria counts

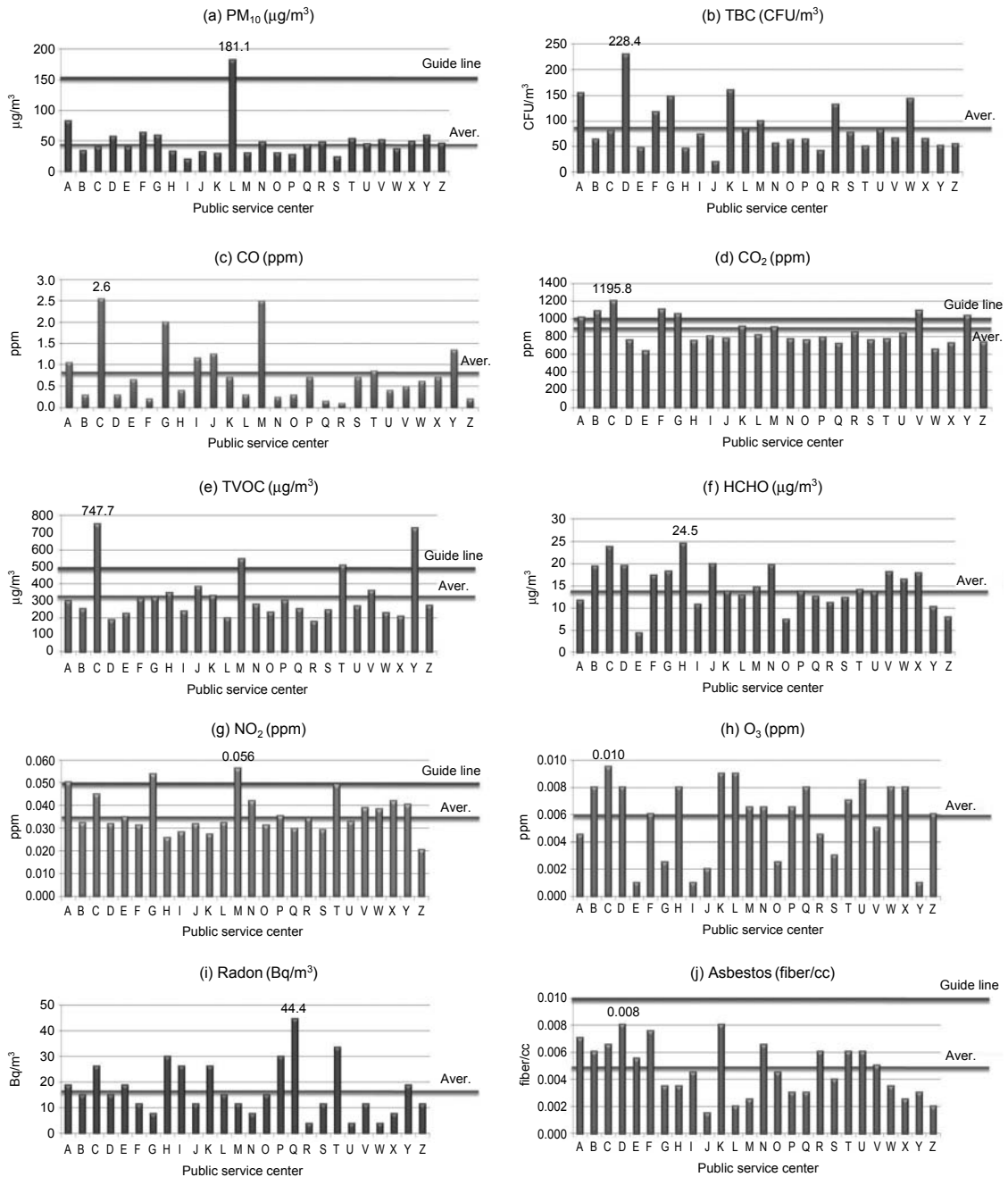


Fig. 2. Characteristics of indoor air pollutants sampled from the public service centers.

실 근무자들의 건강에 미치는 위해성이 우려되었으며 공공청사별 기준초과 물질의 특성을 고려하여 이를 예방하기 위한 실내공기질 관리가 시급한 것으로

판단되었다.

조사기간 동안 민원실 실내온도 범위는 13.0~22.6°C, 상대습도는 16.8~48.0%이었으며 외기 평균

온도는  $-2.9^{\circ}\text{C}$  ( $-13.2\sim 5.8^{\circ}\text{C}$ )로 관측되었다. 겨울철 민원실의 실내공간은 내부와 외기의 큰 온도차로 에너지효율의 측면에서 적정치 못한 환기방식이 일부 오염물질의 농도를 증가시킨 것으로 사료된다. 본 연구의 조사결과 공조시스템이 설치된 공공청사 민원실의 약 60%는 대부분 실내공기청정기와 창문 부착형 환풍기를 가동하거나 또는 창문개폐 등 자연식 환기에 의한 실내공기 정화에 의존하고 있는 것으로 파악되었다. 겨울철의 경우 건물의 단열과 에너지 절감을 위해 밀폐화가 증가되는 계절이므로 공조시스템을 이용하여 환기량을 조절해야하지만 건물의 유지비를 줄이기 위해 환기량을 감소시킴으로 공기의 유입량과 환기가 감소되어 실내공기는 더욱 오염되는 악순환이 계속될 수 있으므로 유의하여야 한다.

### 3.3 라돈의 시간별 변동 추이

라돈은 지구 대기에 자연적으로 존재하는 방사성

동위원소 중 가장 흔하며 공기 중에 포함되어 있다. 라돈 및 그 후대핵종이 폐안으로 유입되면  $\alpha$ 붕괴에 의해 발생한 방사선으로 인체에 위해를 유발하며 특히  $^{218}\text{Po}$  (폴로늄 218)과  $^{214}\text{Po}$  (폴로늄 214)의 붕괴과정에서 발생하는 방사선에 의해서 폐 조직에 손상을 입힌다. 라돈의 농도는 실외보다는 실내에서, 그리고 지하에서 더 높다 (Jeon and Kim, 2006). 본 연구에서는 겨울철 실내 라돈 농도의 시간별 변동 추이에 중점을 두어 연구를 진행하였다. 그림 2에 나타낸 바와 같이 라돈 농도가 타 민원실에 비해 상대적으로 높게 측정된 Q, C구청의 시간별 라돈 변동 추이를 그림 3에 나타내었다. 약 4일간의 실내 라돈농도 (a)와 1일간 실내 라돈농도와 실외 라돈농도 (b)의 연속측정 패턴을 알 수 있다. 위 측정결과에서 각 지점의 시간별 실내 라돈 농도는 환기의 지배를 받는 여름철 라돈의 전형적인 변동패턴을 보이지 않았다. 특히 Q구청

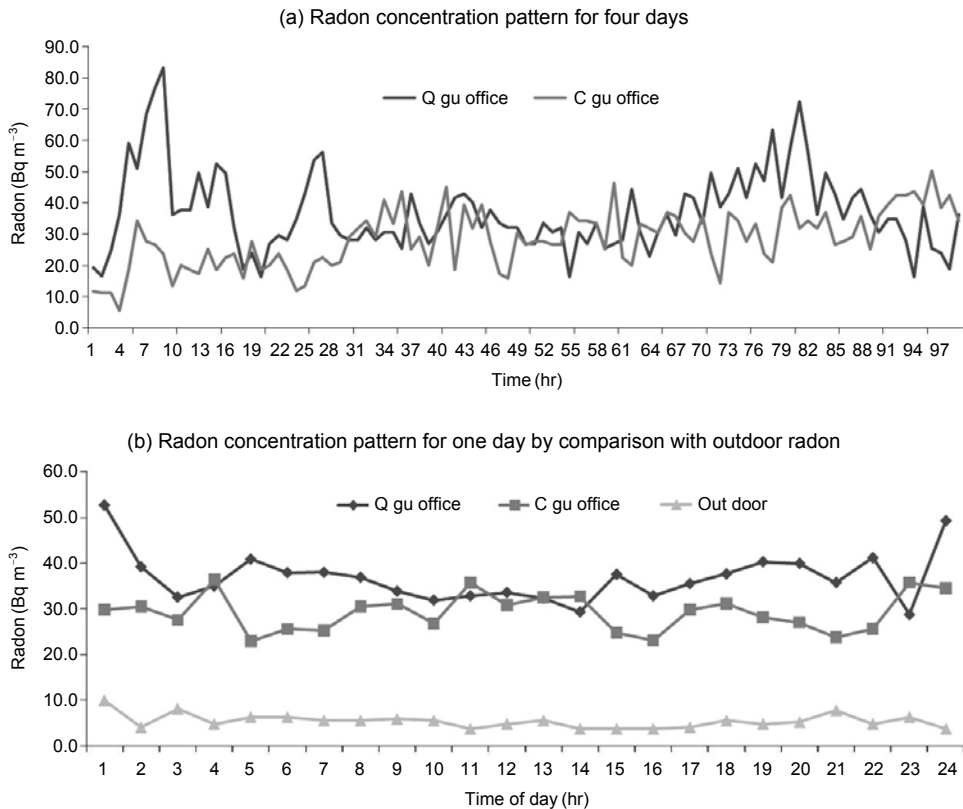


Fig. 3. Hourly variations of radon concentrations in public service centers.

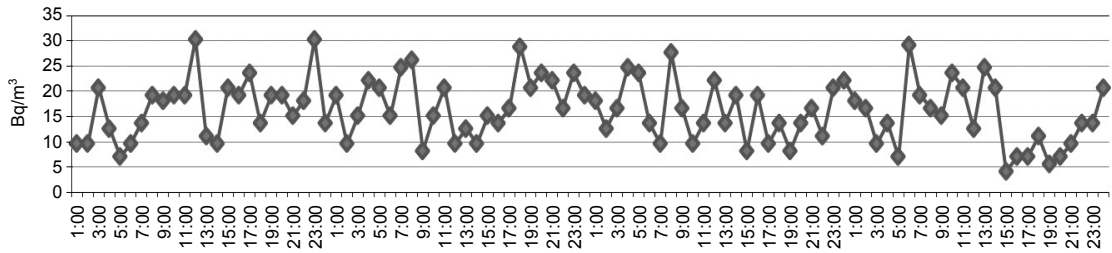


Fig. 4. Time series analysis of radon concentration from weekends to weekdays.

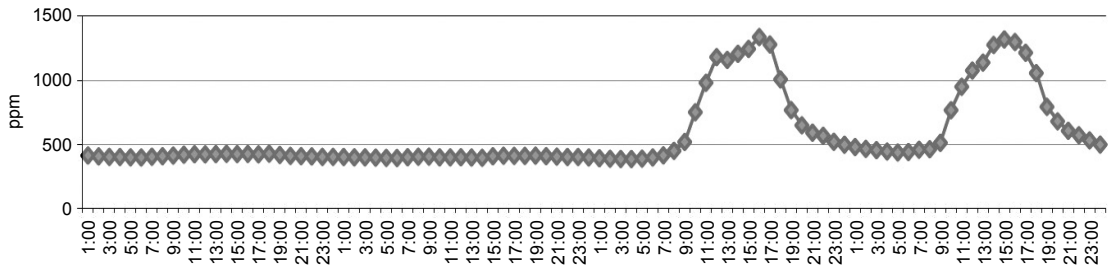


Fig. 5. Time series analysis of CO<sub>2</sub> concentration from weekends to weekdays.

의 실내에서 측정된 라돈 농도는 실외 라돈 농도에 비해 3~5배 높은 것으로 측정되었음을 알 수 있다. 여름철 라돈의 농도를 측정된 Jeon *et al.* (2008)의 연구에 의하면 창문개폐 등 자연환기에 의존하는 여름철 사무실 라돈의 시간별 변동 추이는 오전 6시에 가장 높은 농도를 보이며 출근시간인 오전 7시부터 9시까지 라돈 농도가 급격히 감소하여 이후 일정한 농도를 유지하다가 퇴근시간인 오후 6시부터 서서히 농도가 증가하는 경향을 나타내며, 비 근무시간대의 라돈 농도가 근무시간대보다 2.5배 높은 것으로 조사되었으며 지하역사 등 지하시설의 경우에도 환기 시간대에 라돈 농도가 낮은 것으로 나타났다.

이와 같이 환기에 의존하는 여름철 라돈 패턴과 겨울철 실외 라돈 농도에 비해 월등하게 높은 실내 라돈 농도의 패턴으로 미루어 이는 겨울철 민원실의 환기방법이 여름철과는 차별화된 운영에 기인한 때문인 것으로 추정되며, 따라서 겨울철 라돈 농도를 모니터링하여 환기량 유지를 통한 민원실 공기질 관리방안의 제안을 고려할 수 있다.

본 연구에서 측정된 주말과 주중의 라돈농도의 시계열분석결과는 그림 4와 같다. 실험은 A청사를 대

상으로 2010년 2월 20일(토)부터 2월 23일(화)까지 측정되었으며 일평균 농도는 토요일 16.8 Bq/m<sup>3</sup>, 일요일 17.9 Bq/m<sup>3</sup>, 월요일 16.0 Bq/m<sup>3</sup>, 화요일 14.5 Bq/m<sup>3</sup>로 분석되어 주중 발생하는 라돈 농도가 주말보다 다소 낮은 것으로 분석되었다. 겨울철 실내 라돈의 높은 농도 패턴을 고려할 때 겨울철 라돈 농도가 높은 청사에서는 특히 환기 개선방안 등의 대책이 필요할 것으로 판단된다.

### 3.4 이산화탄소의 시간별 변동 추이

그림 5의 그래프는 2010년 2월 20일(토)부터 2월 23일(화)까지 민원실 A에서 측정된 이산화탄소 측정농도를 나타낸 것으로 주말(토, 일)과 평일(월, 화)의 4일간 연속측정한 시계열 분석결과이다. 토요일과 일요일 이틀간 약 400 ppm을 유지하던 농도는 측정 3일째인 월요일 오전 9시부터 증가하기 시작하여 13시까지 급속히 증가하였으며 이후 서서히 연속적으로 증가하여 16시 1,300 ppm으로 가장 높은 측정량을 보였다. 이후 21시까지 감소하여 500 ppm 이하로 유지하였으나 4일째인 화요일 오전 9시부터 다시 증가하여 전날과 유사한 분포도를 보였다. 이는 민원실

방문 내방객의 수에 의해 의존적인 것으로 나타나서 민원실 내 이산화탄소농도의 주요 오염원은 내방객에 의한 호흡인 것을 알 수 있다. 일평균 농도는 토요일 413.3 ppm, 일요일 402.4 ppm, 월요일 728.6 ppm, 화요일 748.2 ppm으로 나타났다. 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법 시행규칙 별표 2(2008 개정)에 의하면 이산화탄소 유지기준 1,000 ppm 이하로 제시하고 있으며, 미국 냉난방 공조협회의는 비행기 실내 또는 일반 사무실이나 공공건물의 실내 공기의 이산화탄소 농도를 1,000 ppm 이하로 유지해야 한다는 기준을 제시하고 있다. 본 연구의 조사 대상인 26개 공공청사 중 약 30%인 7개 청사에서 1,000 ppm을 초과하는 것으로 분석되었다. 26개 청사의 주말과 주중의 요일별 이산화탄소 측정 평균값을 보면 토요일 395 ppm, 일요일 380 ppm, 월요일 700 ppm 그리고 화요일 710 ppm의 분포를 보이고 있다.

### 3.5 실내 · 외 오염물질의 비교

조사 기간 동안 A 청사와 O 청사 민원실에서 측정된 각 오염물질의 실내농도와 각 민원실 인접 실외농도의 측정자료를 표 4에 정리하였다. 이산화탄소, 총휘발성유기화합물, 라돈, 총부유세균, 폼알데하이드, 석면의 농도수준은 실내가 실외보다 높게 나타난 반면 미세먼지, 일산화탄소, 이산화질소, 오존은 실외에서 더 높게 나타났다. A 청사는 전반적으로 오염물질 농도가 높은 그룹으로부터, O 청사는 전반적으로 오염물질 농도가 낮은 그룹에서 대표성을 가진 데이터로서 선택하였다.

본 연구대상인 26개 각 청사 인근에 위치하는 연구원 대기측정소의 외기 오염물질에 대한 항목별 평균 농도는 미세먼지 63.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 일산화탄소 0.82 ppm, 이산화질소 0.044 ppm, 오존 0.011 ppm으로 민원실 실내공기질 수준(표 3)보다 높게 나타남을 확인 하였다. 표 5에는 각 청사별 민원실에서 측정된 실내 오염물질과 실외 TMS 측정자료 간의 상관관계를 나타내었는데 이산화질소의 상관계수( $r=0.629$ )가 유의수준 0.05에서 유의미한 차이를 보였으며, 오존의 상관계수( $r=0.459$ )가 유의수준 0.01에서 유의미한 차이를 보인 것으로 분석되었다. 따라서 질소산화물과 오존은 민원실의 공기질이 외기의 영향을 받고 있는 것으로 판단되며 미세먼지는 내부요인이 큰 것으로 사료된다.

**Table 4. Comparison between indoor and outdoor pollutants in public service centers.**

Pollutants	Concentration				Unit
	Public service center A		Public service center O		
	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	
CO <sub>2</sub>	1000	560	750	540	ppm
TVOC	300	75	230	78	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Radon	18	5.7	15	5.6	Bq/m <sup>3</sup>
TBC	150	17	65	27	CFU/m <sup>3</sup>
HCHO	11.8	6.1	7.5	6.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Asbestos	0.007	0.003	0.005	0.003	fiber/cc
PM <sub>10</sub>	80	93	27	40	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
CO	1.1	1.3	0.3	0.5	ppm
NO <sub>2</sub>	0.05	0.07	0.03	0.04	ppm
O <sub>3</sub>	0.005	0.007	0.003	0.009	ppm

**Table 5. Correlation between indoor and outdoor air pollutants.**

Variables	Indoor			
	PM <sub>10</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
Outdoor	PM <sub>10</sub>	0.110	-	-
	CO	-	0.656	-
	NO <sub>2</sub>	-	-	0.629*
	O <sub>3</sub>	-	-	-

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$

한편, 서울지역에 황사가 출현하여 외기의 미세먼지 농도가 132~140  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 높게 관측된 1월 25일에 D, K, F구청 민원실의 미세먼지 농도는 28.6~56.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되어 실내에 대한 외기의 영향이 크지 않았던 것으로 나타났다. 이는 겨울철 민원실의 원활치 못한 실내 환기에 기인한 것으로 판단된다.

### 3.6 실내오염물질 간의 상관관계

민원실 오염물질 간의 상관관계 분석결과는 표 6에 나타난 바와 같이 일산화탄소와 총휘발성유기화합물은 높은 상관관계( $r=0.724$ )를 보였으며 유의수준 0.01에서 유의미한 것으로 분석되었다. 일산화탄소와 이산화질소는  $r=0.674$  ( $p < 0.01$ ), 폼알데하이드와 습도는  $r=0.605$  ( $p < 0.01$ ), 이산화탄소와 휘발성유기화합물은  $r=0.534$  ( $p < 0.01$ ), 그리고 총부유세균과 석면은  $r=0.520$  ( $p < 0.01$ )으로 나타나서 유의미한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 폼알데하이드와 오존



**Table 6. Correlation of each pollutant in the public service centers.**

	PM <sub>10</sub>	HCHO	CO	CO <sub>2</sub>	TAB	TVOC	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	Asbestos	Radon	Tem.	Hum.
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	1.000											
HCHO (µg/m <sup>3</sup> )	-.058	1.000										
CO (ppm)	-.145	.210	1.000									
CO <sub>2</sub> (ppm)	.118	.356	.437*	1.000								
TAB (CFU/m <sup>3</sup> )	.146	.106	.027	.185	1.000							
TVOC (µg/m <sup>3</sup> )	-.107	.241	.724**	.534**	-.224	1.000						
NO <sub>2</sub> (ppm)	.108	.189	.674**	.361	.170	.458*	1.000					
O <sub>3</sub> (ppm)	.210	.492*	-.143	.066	.230	-.010	.004	1.000				
Asbestos (fiber/cc)	-.131	.160	-.112	.332	.520**	-.032	.065	.191	1.000			
Radon (Bq/m <sup>3</sup> )	-.108	-.021	.063	-.055	-.266	.263	-.132	.125	-.005	1.000		
Tem. (°C)	.227	.278	-.183	.249	-.058	.205	-.095	.290	.043	-.313	1.000	
Hum. (%)	.248	.605**	.469*	.422*	.188	.438*	.473*	.374	.078	.174	.013	1.000

N: 26, \*: p<0.05, \*\*: p<0.01

은 r=0.492 (p<0.05), 이산화질소와 습도는 r=0.473 (p<0.05), 일산화탄소와 습도는 0.469 (p<0.05), 휘발성유기화합물과 이산화질소는 r=0.458 (p<0.05), 휘발성유기화합물과 습도는 r=0.438 (p<0.05), 일산화탄소와 이산화탄소는 r=0.437 (p<0.05)로 유의미한 것으로 분석되었다.

본 연구결과 라돈은 실내의 모든 공간에 분포하는 방사능 물질로 민원실 실내의 콘크리트와 천정 석고보드에서 자연적으로 발생하고 있어 인위적 오염물질인 이산화탄소에 비해서 더 좋은 환기지표로 사용될 수 있으므로 두 물질을 효율적으로 연계한 실내 공기질 관리가 필요함을 알 수 있었다. 이산화탄소와 라돈이 서로 음의 상관관계를 보이는 것은 근무자 및 민원인의 왕래가 없는 휴일은 사람의 이동과 출입문으로부터의 최소한의 환기도 없으므로 이산화탄소 농도는 매우 낮은 반면 실내에서 자연적으로 생성된 라돈은 높은 농도를 보임에 연유하는 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 서울지역의 26개 공공청사 민원실을 대상으로 2010년 1월 13일부터 1월 29일까지와 2월 20일부터 2월 23일까지 겨울철 실내공기질을 시료채취 분석하였으며, 이때 측정대상 오염물질은 다중이용시설 등의 실내공기질관리법에서 기준항목으로 제시하고 있는 미세먼지, 폼알데하이드, 일산화

탄소, 이산화탄소, 총부유세균, 총휘발성유기화합물, 라돈, 이산화질소, 오존, 석면을 대상으로 측정하였다. 분석결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 서울지역 공공청사 민원실 38.5%가 겨울철 실내 공기질을 적정치 못하게 관리하는 것으로 나타났다. 기준초과 항목은 이산화탄소는 7개 청사, 총 휘발성유기화합물은 4개 청사, 이산화질소는 2개 청사, 미세먼지는 1개 청사에서 유지기준을 초과한 것으로 분석되었다. 이 중 4개 청사에서 2개 항목 이상 중복되어 초과한 것으로 나타났다.
- (2) 라돈농도는 환기가 우수할 경우 실외농도 수준과 밀접한 연관성을 알 수 있었으며 따라서 라돈 농도수준을 파악함으로써 실내 환기의 정도를 추정할 수 있었다.
- (3) 민원실 이산화탄소의 주 오염원은 내방객에 의한 호흡이었으며 특히 내방객의 수가 많은 공공청사일수록 이산화탄소 저감대책을 고려할 필요가 있음을 알 수 있다.
- (4) 청사와 인접한 외기와 민원실의 공기질 비교결과, 이산화탄소, 총휘발성유기화합물, 폼알데하이드, 총부유세균, 라돈, 석면은 민원실이 외기보다 더 높은 농도를 보였으며 미세먼지, 일산화탄소, 이산화질소, 오존은 외기에서 더 높게 나타났다.
- (5) 외기 주요 오염물질인 이산화질소, 오존은 민원실 실내의 동일 항목간 상관관계(이산화질소: r=0.629, p<0.05; 오존: r=0.459, p<0.01)를 나타냈으나 미세먼지, 일산화탄소 항목은 상관관계를 보

이지 않았다.

- (6) 민원실 오염물질 간의 상관분석 결과, 일산화탄소와 총휘발성유기화합물  $r=0.724$ ;  $p<0.01$ , 일산화탄소와 이산화질소  $r=0.674$ ;  $p<0.01$ , 폼알데하이드와 습도  $r=0.605$ ;  $p<0.01$ , 이산화탄소와 총휘발성유기화합물  $r=0.534$ ;  $p<0.01$ , 총부유세균과 석면  $r=0.520$ ;  $p<0.01$ 으로 나타나서 유의미한 것으로 분석되었다.
- (7) 본 연구의 분석결과 겨울철 민원실의 효율을 우선한 에너지 관리방안은 환기시간의 부족을 야기시켜 실내공기질 악화가 우려되고 있음을 알 수 있었다. 이산화탄소와 라돈의 모니터링을 연계한 실내공기질 감시와 효율적인 환기량 유지를 통한 공기질 관리 방안의 검토를 제안할 수 있으며 이에 관련한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 감사의 글

이 논문은 환경부 차세대에코이노베이션 기술개발 사업(E211-40002-0003-0)의 「로봇을 이용한 지하환경 덕트클리닝 및 통합관리시스템 개발」 연구비 지원으로 이루어진 결과이며, 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

- Baek, S.-O. and S.-K. Park (2004) Measurement of environment tobacco smoke in the air of offices in urban areas, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 20(6), 715-727. (in Korean with English abstract)
- Baek, S.-O. and Y.-S. Kim (1998) Characterization of air quality in various types of indoor environments in urban areas -Focusing on homes, offices, and restaurants-, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 14(4), 343-360. (in Korean with English abstract)
- Baek, S.-O., D.-G. Park, S.-Y. Park, and Y.-J. Lee (2006) Impact assessment of remodeling works on indoor air quality in a university library building, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 22(6), 876-887. (in Korean with English abstract)
- Baek, S.-O., J.-H. Park, and Y.-K. Seo (2002) Comparative evaluation of gravimetric measurement methods for suspended particles in indoor and outdoor air, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 18(4), 285-295. (in Korean with English abstract)
- Jeon, J.-S. and D.-C. Kim (2006) Distribution of  $^{222}\text{Rn}$  concentration in Seoul subway stations, *Journal of Korean Society of Environment Engineers*, 28(6), 588-595. (in Korean with English abstract)
- Jeon, J.-S., H.-C. Lee, J.-Y. Lee, K.-M. Han, J.-H. Kim, and M.-Y. Kim (2008) Temporal variations and distribution of indoor radon in building, *Proceeding of the 5th Korean Society for Indoor Environment Conference*, 342-345.
- Kim, Y.-S. (1999) Present and future perspectives of studies on indoor air quality, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 15(4), 371-383. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.-S. (2000) Management practice of wintertime indoor air pollution, *Environmental Preservation*, 325, 9-13.
- Korean Ministry of Environment (2008) Standard method, Indoor air quality law for management of multiple-use facilities.
- Lee, C.-H., B.-K. Lee, Y.-H. Kim, J.-H. Lee, and I.-B. Oh (2010) Comparison of indoor air quality between fall and winter at elementary schools in Ulsan, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment Conference*, 130-132. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.-H., B.-K. Lee, Y.-H. Kim, J.-H. Lee, and I.-B. Oh (2011) Analysis of indoor air pollutants from elementary school classrooms with different environment in Ulsan, Korea, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 27(1), 97-116. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.-C., K.-M. Han, J.-S. Jeon, J.-H. Kim, and M.-Y. Kim (2008) Distributions of indoor air quality in public facilities in Seoul during 2007, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment conference*.
- Na, K.-S., G.-N. Bae, and Y.-P. Kim (2000) Characteristics of aromatic hydrocarbons measured in an as-built building, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 16(5), 545-552. (in Korean with English abstract)
- Shin, M.-S., H.-S. Kim, J.-E. Hong, and D.-S. Jang (2009) A numerical study for improvement of indoor air quality of apartment house, *Journal of Korean Society*

- of Environment Engineers, 31(7), 521-530. (in Korean with English abstract)
- Son, J.-R., H.-C. Kwak, M.-K. Kang, B.-A. Lim, S.-H. Kim, E.-S. Kim, H.-S. Kim, J.-Y. Choi, D.-J. Lim, and J.-H. Heo (2008) The survey of indoor air quality in public facilities of child welfare facilities and old welfare facilities, Proceeding of the 47th meeting of KOSAE, Korean Society for Atmospheric Environment, 10, 507-509.