

## 지하에 위치한 방사선종양학과에서의 실내공기 질 평가

부산대학교 의과대학 방사선종양학교실\*, 예방의학교실†, 인제대학교 보건안전공학과‡

김원택\* · 권병현\* · 신용철‡ · 강동묵† · 기용간\* · 김동원\*

**목적:** 지하에 위치한 방사선치료 관련시설 내의 실내공기 질은 근무자뿐만 아니라 장기간 치료받는 환자들의 건강에도 중요하다. 저자들은 근무자들의 빌딩증후군 증상유무의 확인과 함께 실내공기 질과 관련된 여러 인자들을 측정, 분석하여 그 원인을 찾고 해결책을 제시하고자 하였다.

**대상 및 방법:** 근무자들을 대상으로 자각증상 및 근무환경 인식과 관련된 설문조사를 하였고, 예비조사를 바탕으로 실내공기 질과 관련된 항목들(온·습도, 미세먼지, 이산화탄소, 일산화탄소, 포름알데히드, 총휘발성유기화합물, 라돈)에 대해 근무자들이 주로 머무르는 지역들을 중심으로 일정기간 측정하였다. 아울러 환기(공조) 시스템의 효율 및 주변 환경에 대한 평가를 동시에 진행하였으며, 실외공기와의 비교평가를 위해 1층(실외)에서도 같은 항목들을 측정하였고, 측정 자료들은 국내외 환경관련 기관들의 권고 수치를 기준으로 각각 평가하였다.

**결과:** 설문조사에서 근무자들은 악취, 습도, 먼지 등에 대해 불만족을 보였으며, 근골격계 증상, 신경계 증상, 점막 자극 증상 등을 주로 호소하였다. 대부분의 실내공기 질 관련 항목들은 기준치를 넘지 않았으나 총휘발성유기화합물 수치가 기존 미국 사무실 측정 수치에 비해 3~4배 높게 나왔다. 환기 횟수나 환기량에서는 문제가 없었으나 실외공기 유입구와 실내공기 배출구의 위치 문제로 인해 오염된 공기의 유입 가능성이 있었다. 총휘발성유기화합물을 배출할 수 있는 현상액과 같은 화학물질의 관리에 주의가 필요했으며, 오염된 공기의 재유입 문제를 해결하기 위해 환기 시스템의 위치조정이 시급한 상황이었다.

**결론:** 저자들은 실내공기 질에 대한 평가에서 일부 화학물질 및 부적절한 환기 시스템으로 인해 근무자들이 주관적인 증상을 호소할 수 있음을 확인하였다. 지하 공간에서 장시간 거주하는 근무자들의 근무여건 개선과 함께 면역저하를 동반한 환자들의 건강관리를 위해 실내공기 질에 대한 평가는 반드시 필요하며, 그 자료를 바탕으로 향후 방사선종양학과의 설계나 기존 시설의 환경개선 등에 적극적으로 이용해야 하겠다.

핵심용어: 실내공기 질, 빌딩증후군, 방사선종양학과, 지하

### 서 론

암치료에 있어서 방사선치료의 역할은 갈수록 커지고 있으며, 이에 따라 방사선종양학과와 개설이 최근 들어 늘고 있는 추세이다. 그러나 방사선의 차폐 등과 관련된 공간적 문제와 함께 선형가속기의 기계적 특징 등을 고려하여 많은 수의 방사선종양학과가 지하에 위치하고 있는 것이 현실이다. 방사선종양학과를 방문하는 대부분의 사람들이 수술이나 항암화학요법으로 인한 면역저하 상태이거나 또는 격리가 필요한 환자들이고, 일반 환자들이라고 하더라도

대부분 고령화 및 흡연 등에 의해 심폐기능 저하를 보이는 경우가 많으므로 환자대기실, 복도, 시뮬레이션실, 상담실 등에서의 공기 질은 중요하다. 또한 이곳에서 근무하는 의료진은 외부 공기나 자연 채광으로부터 단절된 상태로 좁은 지역에서 장시간 근무하게 되므로, 공기질 악화로 피부나 점막 등의 건조감이나 과민증상, 신경계통의 증상이나 피로 등을 호소하게 되는 빌딩증후군(SBS, sick building syndrome)에 노출될 위험이 높다.<sup>1,4,7)</sup>

저자들이 관심을 가지고 조사한 곳은 4년 전에 준공된 건물의 지하 2층에 위치한 방사선치료 시설로, 최근 이곳 근무자들이 인후통, 두통, 피부건조, 결막충혈, 기침 등의 자각 증상을 호소하는 빈도가 증가하여 실내 공기 질 악화에 따른 빌딩증후군을 의심하였고, 예방의학교실 및 보건안전공학과 도움을 받아, 근무자를 대상으로 설문조사와 함께 실내환경과 관련된 물리-화학적 요인 및 실내환기 상

이 논문은 2005년 9월 12일 접수하여 2005년 11월 18일 채택되었음.  
책임저자: 권병현, 부산대학교 의과대학 방사선종양학교실  
Tel: 051)240-7383, Fax: 051)248-5747  
E-mail: amdctor@pusan.ac.kr

태 등을 측정-평가하였다.

암치료에 관련된 병원 근무자들 대부분은, 병원 자체의 간단한 실내환경 평가 자료만으로 쉽게 자신의 주변 환경 상태를 평가해 버리거나 또는 무관심하게 지나쳐 버리는 경우가 많다. 그러나 환경에 민감한 암환자를 다룬다는 점이나 지하에 장시간 긴장된 상태로 근무하게 된다는 점 등을 고려할 때, 다른 지역과는 달리 방사선종양학과 근무자들은 실내공기 질과 환기 문제에 있어서 적극적인 관심을 가질 필요가 있다. 한걸음 더 나아가 환경관련 기본지식을 습득하고, 관련 부서와의 협조로 실내환경을 객관적으로 평가-분석하여 향후 시설설계나 환경개선 시에 능동적으로 참여해야 할 것이다. 저자들의 이번 연구가 비록 종양 관련 임상 주제가 아닌 환경관련 내용이지만, 방사선종양학회 회원들의 적극적인 관심을 이끌어 내기 위한 이유 및 국내외에 관련 내용의 보고가 없는 상황에서 추후 실내공기 질 평가관련 자료로 삼기 위한 이유 등으로 조사결과들을 분석하여 발표하게 되었다.

## 대상 및 방법

### 1. 조사 대상지 및 예비조사

조사 대상지는 부산대학교병원 방사선종양학과로, 2001년 11월에 준공된 지상 9층, 지하 2층의 병원용 건물 지하 2층에 위치한 300여평 규모의 지역이었다. 이곳엔 지상 층과는 별도로 1대의 공조기가 컴퓨터 감시장치에 의해, 송풍량은 일정하게 유지하면서 송풍온도를 바꾸어 실온을 제어하는 일정풍량방식으로 운영되고 있었고, 방사선치료용 설비들을 위한 5대의 항온항습기가 별도로 가동되고 있는 상태였다. 조사팀과 의료진은 조사 5일 전에 미리 만나 서로 의견을 교환한 뒤, 현장조사 및 예비조사를 3일간 실시하고서 설문조사, 공기질 관련인자 측정, 실내환기 상태 조사 등을 하기로 하고 조사항목과 조사위치 등을 설정하였다. 객관적인 비교연구를 위해 지상 층에 위치한 임의의 한 임상과를 선택해 똑같은 조사를 하려고 하였으나, 연구기간의 제한 및 타 임상과들의 협조 부족으로, 이번 연구에서는 기본적 자료만을 얻는 것을 목표로 하여 방사선종양학과에서만 조사를 진행했다.

### 2. 설문조사

근무자들의 실내환경 인식정도, 자각증상 및 주관적 건강상태를 평가하기 위해 자기기입식 설문조사방식을 이용하였고, 설문지는 미국 산업안전보건연구원(NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health)에서 만든 실내

공기질과 작업환경 증상조사 설문지(IAQWESS, The Indoor Air Quality and Work Environment Systems Survey) 및 일리노이즈 대학교에서 개발한 설문지를 참고하여 작성하였다.

### 3. 실내환경 및 공기질 관련인자

실내공기 질에 영향을 주어 근무자들에게 임상증상을 야기할 수 있는 아래의 여러 인자들에 대해, 다수의 사람이 장시간 거주하는 치료계획실, 시뮬레이션실, 치료조정실, 환자대기실, 복도, 보조기구제작실, 의사실, 상담실, 의학물리사실 등의 위치에서 일정시간 주기적으로 측정하였으며, 야간에 근무자가 남아 있는 지역에서는 일부 관련인에 대해 야간측정을 추가하였다. 실외공기와의 비교평가를 위해 1층(실외)에서도 각 항목들에 대해 동시에 측정하였다.

#### 1) 온도 및 습도

온·습도를 실시간으로 평가할 수 있는 디지털 방식의 측정기기(IAQ-CALC, Model 8762, TSI, USA)를 사용하여 오전 9시 30분부터 매 1시간 간격으로 동일지점에서 3회 반복 측정하였으며, 지상에 설치된 외기 유입구 주변에서도 3회 반복 측정하였다. 국내 규정이 명확치 않은 관계로 ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers) 55-1992 자료를 참고하여 상대습도는 30~60%, 동계 온도는 20~23.5°C, 하계 온도는 23~26°C를 기준으로 하였다.

#### 2) 미세먼지

미세먼지 포집기(PM10 sampler, SKC, Korea) 및 개인시료 채취기를 이용하여 오전 9시 30분부터 8시간 동안 유량 2.0 L/min 정도로 채취하였고, 환경부의 다중이용시설 등의 실내공기 질 관리법 유지기준(100µg/m<sup>3</sup>)을 적용하였다.

#### 3) 일산화탄소 및 이산화탄소

온·습도의 측정에 사용된 디지털방식의 측정기기(IAQ-CALC, model 8762)로 오전 10시 15분부터 1시간 간격으로 동일지점에서 3회 반복 측정하였다. 환경부의 실내공기 질 관리법의 유지기준인 일산화탄소 10 ppm 이하, 이산화탄소 1000 ppm 이하를 적용하였다.

#### 4) 포름알데히드(Formaldehyde)

개인시료 채취기에 2,4-dinitrophenylhydrazine이 코팅된 실리카겔관을 장착하여 오전 9시 30분부터 17시 30분까지 유량 0.8 L/min 정도로 공기를 채취하였고, 채취물은 아세트니트릴을 사용하여 용매탈착 후 가스크로마토그래프-질소인 검출기(GC-NPD)를 이용하여 분석하였다. 평가기준은 환경부의 실내공기 질 관리법 유지기준인 120µg/m<sup>3</sup> (0.1 ppm)을 사용하였다.

5) 총휘발성유기화합물(TVOC, Total volatile organic compounds)

광음향학적 측정기인 Multigas monitor (Model 1312, Anova, USA)를 이용하여 여러 지점에서 동시에 약 1시간 동안 1분 간격으로 측정하였다. TVOC는 측정-분석 방법에 따라 농도가 다르게 측정될 수 있는데, 국제적으로 아직 공인된 방법이 제시되지 않은 상태여서 현재까지 명확한 평가기준은 없는 상태이다.

6) 라돈(Radon)

비교적 밀폐된 공간인 3치료실(창고로 사용 중)과 보조기구제작실(차폐물 등 제작)에서 반도체를 이용한 알파감지기(Rad7 Radon Detector)를 이용하여 5분 간격으로 30분~1시간 정도 측정하였다. 평가기준은 국내자료로 과학기술부고시 98-12호의 방사선량 등의 기준인 3 pCi/L를 이용하였고, 외국자료로 미국 환경보호청(EPA, Environmental Protection Agency) 기준으로 4.0 pCi/L, ASHRAE 기준으로 2.0 pCi/L를 참고하였다.

4. 실내환기

환경부에서는 병원의 경우 환기횟수를 0.7회/시간 이상 또는 이용인원당 환기량을 0.42 m<sup>3</sup>/min·인 이상으로 유지할 것을 권고하고 있다. 저자들은 환경부 기준과 함께, 사무실 환기와 관련하여 국제적으로 널리 사용되고 있는 ASHRAE 62-2001 (Ventilation for acceptable indoor air quality) 및 2003 ASHRAE handbook (HVAC Applications)으로도 평가를 실시하였다. 평가지역의 급기용 디퓨저(SA diffuser) 및 배기용 디퓨저(EA diffuser)에서 풍량 측정기(Model 8373, TSI, USA)를 이용하여 급·배기량을 측정하였고, 실내공조기(Air handling unit)의 운영실태 및 가동상태를 직접 파악하였으며, 외부 공기 유입구 주변의 오염원 유무 등도 파악하였다. 확인된 자료들을 분석하여 실내로 공급

되고 있는 공기 중 외부 신선공기 공급의 적정성을 평가하였고, 추적가스(SF<sub>6</sub>)를 이용하여 시간당 공기교환횟수(회/시간)를 구하여 실내환기 횟수의 적정성을 평가하였다.

결 과

1. 설문조사 결과

설문조사에 응답한 근무자는 19명으로 의사직 4명, 간호접수직 4명, 의학물리-치료설계직 4명, 치료관련직 7명이었다. 남성이 57.9%였으며, 20대 이하가 47.4%, 40대 이상이 36.9%, 30대가 15.8%였고, 현재흡연자는 26.3%, 과거흡연자는 15.8%, 비흡연자는 57.9%였다. 화학물질에 대한 주관적 민감도는 ‘민감한 편이다’라고 응답한 근로자가 57.9%로 가장 높았으며, ‘그저 그렇다’는 26.3%, ‘매우 민감한 편이다’는 15.8%로 확인되었다. 실내 환경조건에 대한 주관적 평가에서 전체 응답자 18명 중 70% 이상에서 악취나 불쾌감을 호소하였고 먼지도 많이 난다고 하였다. 과반수 이상이 사무실이 습하고 덥다고 느끼면서 환기가 잘 되지 않는다고 느끼고 있었다. 조명과 온도 조건은 보통이상의 긍정적인 평가를 했으며, 사무실 환경에 대한 전반적인 만족도에 대하여는 보통 정도의 평가를 하고 있었다(Table 1). 실내환경이 얼마나 좋은지 나쁜지에 대한 인식도 조사에서는 약 55.6%의 응답자가 환경상황을 나름대로 인식하고 있는 것으로 나타났고, 자각증상 경험유무에 대한 설문조사 결과, 근골격계, 신경계 증상과 점막자극 증상 등이 가장 높았다(Table 2). 자각증상의 주관적 작업관련성에 대해서는, ‘매우 관련이 있다’고 응답한 비율이 68.4%, ‘약간 관련이 있다’에 대한 응답율이 26.3%로, 전체 응답자의 약 90% 이상에서 자각증상이 현재의 작업환경과 관련이 있다고 생각하고 있었다.

Table 1. Subjective Rating on Conditions of Indoor Environment

Environmental conditions	Strongly disagree	Disagree	Neither	Agree	Strongly agree	Total (%)
There is a sense of the airflow	6 (33.3)	2 (11.1)	3 (16.7)	4 (22.2)	3 (16.7)	18 (100)
There are unpleasant odors	-	1 (5.6)	4 (22.2)	11 (61.1)	2 (11.1)	18 (100)
The environment is too dusty	-	-	5 (27.8)	6 (33.3)	7 (38.9)	18 (100)
The environment is too drafty	8 (44.4)	2 (11.1)	4 (22.2)	-	4 (22.2)	18 (100)
The environment is too crowded	1 (5.6)	6 (33.3)	7 (38.9)	3 (16.7)	1 (5.6)	18 (100)
The temperature is comfortable	4 (22.2)	4 (22.2)	5 (27.8)	2 (11.1)	3 (16.7)	18 (100)
The temperature is too warm	2 (11.1)	3 (16.7)	5 (27.8)	4 (22.2)	4 (22.2)	18 (100)
The humidity is comfortable	5 (27.8)	6 (33.3)	7 (38.9)	-	-	18 (100)
The lighting is acceptable	1 (5.6)	1 (5.6)	10 (55.6)	3 (16.7)	3 (16.7)	18 (100)
The environment is generally acceptable	6 (33.3)	7 (38.9)	4 (22.2)	1 (5.6)	-	18 (100)

2. 실내환경 및 공기질 관련인자 평가결과

1) 온도 및 습도

각 측정 지역의 온·습도의 평균분포는, 온도의 경우 25.0~26.3°C (실외평균 21.4°C)였으며, 상대습도는 39.9~43.1% (실외평균 37.8%)로 나타났다. ASHREA 55~1992 권고기준에 따르면 습도가 40% 전후일 때의 적정 실내온도는 겨울철 20~23.5°C 정도이고 여름철은 23~26°C 정도인데, 조사결과 온도는 여름철 기준과 거의 유사한 수준이었다. 조사시점이 늦은 봄(5월)으로 당일 평균 외부온도가 21.4°C였다는 것과 공조기의 외기공기 유입율이 70% 정도인 점을 고려했을 때, 지하 측정지역들의 온도는 외기에 많은 영향을 받고 있었다고 생각되었으며, 이는 외기온도와 근무자들의 의복상태 및 업무형태에 따라서 온도에 불

Table 2. Classification of Subjective Symptoms

Subjective symptoms	Experiences	Rate (%)
Fatigue or drowsiness	17	89.5
Headache	15	78.9
Dry, itching, or irritated eyes	14	73.7
Sore throat	17	89.5
Nasal obstruction or discharge	11	57.9
Cough	12	63.2
Shortness of breath or chest tightness	11	57.9
Cold sensation	11	57.9
Diarrhea	8	42.1
Stomachache or epigastric pain	8	42.1
Constipation	7	36.8
Nausea	9	47.4
Urticaria	10	52.6
Dry skin	15	18.9
Numbness in hands or feet	11	57.9
Pain or stiffness in neck, back, or shoulders	18	94.7

Table 3. Eight-hour Time Weighting Average Levels of Fine Particulate

Date	Area	Samples	Mean levels	Ranges
May 2 (day)	Planning room	2	40.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38.1~43.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Simulation room	2	36.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	35.3~38.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Nursing room	2	51.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	48.6~55.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Outdoor air	1	71.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
May 2 (night)	Physician room	1	16.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
	Planning room	1	17.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
	Passage	1	21.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
May 3 (day)	Physician room	2	40.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	37.1~52.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Control room 2	1	32.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
	Control room 1	1	58.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
	Passage	1	33.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-

만족을 느낄 수 있을 정도로 판단되었다. 상대습도의 경우 대부분 30~40%대 전후로 양호한 편이었다.

2) 미세먼지

호흡성분진으로 알려진 미세먼지의 대표적 발생원은 실내 거주자의 활동에 의한 재비산과 흡연 및 연소 등이며, 호흡을 통해 폐포에 도달하여 호흡기 질환을 일으킬 수 있다. 연소과정에서 발생한 경우에는 다른 여러 가지 유해물질을 포함하고 있을 경우가 많고, 방향족탄화수소나 중금속, 질소산화물 및 황산화물 등과 흡착되어 흡입될 수도 있는데, 특히 다환방향족탄화수소가 흡착된 미세먼지의 경우엔 발암과도 관계가 있는 것으로 알려져 있다.<sup>2)</sup> 평가대상 지역 및 실외에서 측정된 미세먼지의 측정치의 8시간 시간간중평균농도(8-hr TWA)의 평균 및 범위는 Table 3 및 Fig. 1과 같았으며, 국내 유지기준(100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )을 초과하는 곳은 없었다. 주간측정 평가결과 간호사실 및 상담실이 다른 지역보다 조금 높게 나왔는데, 미국 환경보호청(EPA)의

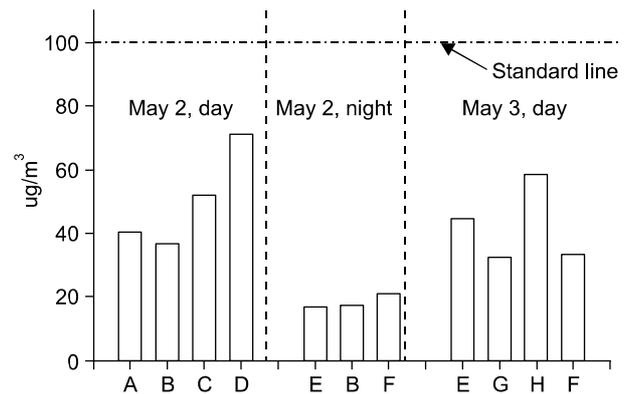


Fig. 1. Fine particulate levels in specific areas. A: planning room, B: simulation room, C: nursing room, D: outdoor area, E: physician room, F: hallway or passage, G: control room.

권고치인 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상이지만 자각증상을 유발할 수 있는 농도는 아니라고 판단되었고, 기존의 연구결과를 보더라도 낮 시간대의 미세먼지의 개인노출 정도가 50% 정도 높은 것으로 알려져 있다.<sup>3)</sup> 이는 환자와 근무자들의 잦은 이동 때문으로 생각되었다.

3) 일산화탄소 및 이산화탄소

실내공기 질 오염정도의 지표물질인 이산화탄소는 주로 난방기계의 연소나 밀집된 곳에서의 호흡활동 등에 의해 생성되고 축적될 수 있는데, 실내체적, 실내인원, 난방여부 및 환기장치 등에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 저자들의 측정결과를 살펴보면, 치료계획실, 시뮬레이션실, 치료조정실2, 접수실 외부(대기실), 치료조정실1, 복도, 보조기구제작실, 의학물리사실 등의 평균농도는 각각 600 ppm, 538 ppm, 548 ppm, 605 ppm, 567 ppm, 476 ppm, 514 ppm, 499 ppm이었고, 실외의 경우 383 ppm (375~390 ppm)으로 조사되었다. 시간경과에 따른 각 측정지역에서의 이산화탄소 농도변화는 Fig. 2에서 확인할 수 있었는데, 환경부 기준인 1,000 ppm (0.1%)을 초과하는 곳은 없었다. 전체 공간의 크기에 비해 상시 근무자의 수가 적고 5월 중이라 난방설비를 가동하지 않은 이유로 이산화탄소 농도가 적정수준 이하로 유지되었을 것으로 추정되었다. 미국 산업안전보건연구원(NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health) 및 산업안전보건청(OSHA, Occupational Safety and Health Administration)은 사무실 내의 이산화탄소 농도가 800 ppm을 초과하면 환기가 불충분하다고 생각

할 수 있고, 1,000 ppm을 초과하면 환기에 확실히 문제가 있는 것으로 판단토록 하고 있는데, 다른 공기오염물질에 비해 이산화탄소가 인체에 미치는 영향은 비교적 적은 편이나, 1,000 ppm (0.1%) 이상의 농도에서 장기간 근무하게 되는 경우, 심폐기능과 대뇌기능에 영향을 줄 수 있으며 4% 이상의 농도에서는 이명, 두통, 혈압상승, 경련 등의 증상이 발생할 수 있음을 고려할 때, 800 ppm 정도를 의미있는 경계수치로 이해할 수 있겠다.<sup>4)</sup> 이산화탄소의 경우 실내 모든 지역의 평균농도가 1 ppm 전후로 역시 환경부의 유지기준인 10 ppm 미만으로 유지되고 있었는데, 5 ppm 이상에서 신체 반사작용의 저하가 나타날 수 있고 200 ppm 이상의 농도에서 심한 두통을 포함한 임상증상이 발생할 수 있음을 참고할 때 적정수치라고 평가되었다.

4) 포름알데히드

포름알데히드의 발생원은 건축자재, 가구, 흡연, 난방기구의 사용 등이며, 특히 가구나 벽지용 접착제에 다량 함유되어 있다. 일정 농도 이상 노출된 경우에 눈, 코, 목 등의 점막에 자극을 주며, 장시간 노출 시에는 불쾌감, 재채기, 기침, 구토, 호흡곤란 등을 유발할 수 있는 공기오염물질이다. 평가대상 지역 및 실외에서 측정된 자료를 8시간 시간가중평균농도(8-hr TWA)로 환산했을 때, 모든 지역에서 환경부 유지기준인 0.1 ppm 이하였다. 대부분 지역의 평균농도가 0.03 ppm 내외로 차이가 없었으나, 보조기구제작실만 이보다 높은 0.046 ppm 정도로 측정되었는데, 이는 그 공간의 특성상 다른 지역에 비해 포름알데히드 발생원(스티로폼 등)이 많은 이유로 생각되었다. 의사실에서의 야간측정에서 주간에 비해 약 2배 가량 높은 수치를 보였는데, 이는 야간의 경우 공조기 비가동으로 인한 오염물질의 정체 때문으로 추정하였다.

5) 총휘발성유기화합물(TVOC)

총휘발성유기화합물은 건축자재, 페인트, 접착제, 화학약품, 커튼, 의복, 가구, 복사기, 방향제, 흡연 등에서 나오는 벤젠, 톨루엔, 각종 알데히드 등 지방족 및 방향족 탄화수소류 등으로 구성된 휘발성유기화합물을 모두 말하는 것으로, 불쾌감이나 두통을 유발할 수 있다. 조사 대상지역 중 의사실의 입구측, 중앙측, 구석부분의 평균농도는 각각 4.81, 4.71, 4.60 ppm이었고, 상담실, 대기실, 복도의 경우는 각각 3.10, 3.19, 3.26 ppm이었다. 의사실이 전반적으로 높게 측정된 이유는 개방된 다른 지역과 달리 밀폐된 공간에서 측정이 이루어진 이유라고 생각되었다. 정확한 비교는 어렵지만 저자들의 조사에 사용한 동일한 장비를 이용하여 뉴욕 소재 136개 빌딩(사무용)을 대상으로 측정된 결과(사무실내: 1.22 ppm, 실외: 0.99 ppm)와 비교평가해 볼 때,

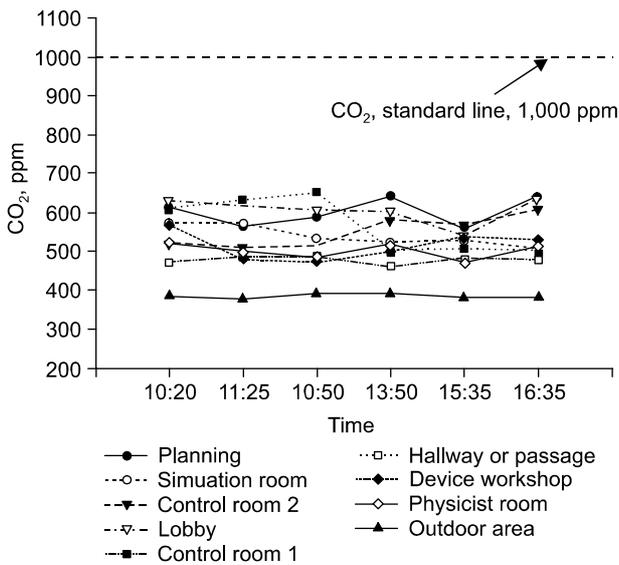


Fig. 2. Variations of CO<sub>2</sub> levels in specific areas in length of time.

3~4배 정도 높은 수준이었는데,<sup>5)</sup> 이는 병원의 경우 각종 시약 및 화학약품 등에서 발생하는 유기물들의 농도가 일반 사무실보다 높은 이유로 추정해 볼 수 있겠으나 방사선종양학과와 특성상 X-선 필름 현상액 및 소독용 화학약품 등이 그 원인이겠으나 객관적 인과관계는 파악하지 못했다.

6) 라돈

라돈은 반감기가 3.8일 정도로 알파선을 방출하는 우라늄의 6번째 붕괴생성물이며, 지각의 구성성분에 해당하는 점토, 모래, 암석, 광물질 및 이들을 재료로 하는 건축자재 등에 미량으로 함유되어 있는데, 라돈가스에 고농도로 장기간 노출되는 경우 폐암 발병율이 높은 것으로 알려져 있다. 특히 지하 근무지나 밀폐된 공간에서의 축적이 문제가 될 수 있는데, 최근 서울에 위치한 사무실내 라돈농도를 측정 한 연구에서 지하에서의 라돈농도가 지상에서보다 1.65배 높다는 결과를 발표하였다.<sup>6)</sup> 방사선종양학과 내에서 비교적 밀폐된 공간으로 생각되는 3치료실(창고로 사용)과 보조기구제작실에서의 라돈가스 측정에서 국내 기준치를 초과하는 곳은 없었다. 특별히 3치료실의 오후 2

시~3시의 라돈농도가 1.49±0.51 pCi/L로 가장 높았으나 미국 환경보호청 기준의 절반이하의 수치였다.

3. 실내환기 및 주변환경 평가결과

실내공조 설비의 환기성능 적정성을 평가하기 위해, 먼저 실내로 공급되는 공기(SA, supply air)가 근무지 내에서 충분히 혼합되어 적절한 공기순환이 되는 지를 평가하였다. 공조기가 가동되고 있는 상황에서, 다른 지역과 칸막이로 구획되어 독립적인 위치에 놓인 의사실 내의 2곳을 대상으로, 추적가스를 내부에 살포한 후 그 농도가 감소되는 정도를 평가하여 시간당 공기교환횟수를 측정하였다. 그 결과, 의사실 내 두 지점에서의 시간당 공기교환횟수는 9.4~9.8회로 ASHRAE에서 권고하고 있는 수준(6회/시간)에 적합하였다(Fig. 3). 의사실의 디퓨저의 수는 급기와 배기가 각각 5개로 정상적으로 가동되고 있었으며, 풍량측정기를 사용하여 실제 급·배기량을 측정하였다. 급기 및 배기의 평균 유량은 각각 2.3 m<sup>3</sup>/min, 1.8 m<sup>3</sup>/min로 다소 차이가 났다. 정확한 평가를 위해서는 환기시스템에 대한 각 디퓨저에서의 설계값과의 비교가 이루어져야 하지만, 건물 완공 이후 각 사무실의 재배치로 인해 처음 설계도면상과 실제 사무실 위치가 일치하지 않아 직접적인 비교평가는 불가능하였다. 공조기내 필터는 Pre filter와 Medium filter를 사용하고 있었으며, 모두 2회/년 주기로 교체하고 있었다. 또한 실내가습을 위해 공조기내 스팀분사 방식의 가습장치가 운영되고 있었다.

공조기의 외부공기 유입구 위치를 살펴본 결과, 바로 옆에 향온가습기의 실외기가 Fig. 4와 같이 배치되어 있었으며, 지상면과 일정 거리를 유지하지 못한 상태였다. 비록 외부에 Bird screen이 설치되어 있었지만 유입구의 위치상 오염된 공기가 공조기를 통해 실내로 들어올 가능성이 있었다. 또한 배기구가 외기 유입구 위치보다 더 낮은 지하 1층으로 내려가는 경사로에 위치한 관계로 배출되는 공기

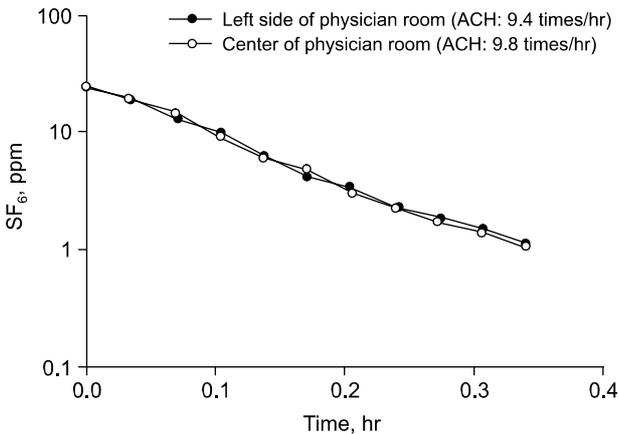


Fig. 3. Changes in SF6 levels at regular intervals.



Fig. 4. Positions of air inlets and outlets. A: position of air inlets, B: position of air outlets.

가 완전히 실외로 빠져나가지 못하고 오히려 다시 지하계단을 통해 근무지로 유입되는 상황이었다. 이와 같이 오염된 공기의 유입으로 인해 지하 근무자들이 더욱 더 불편감을 느끼고 있다고 판단되었으며, 유입구 및 배기구의 위치 재조정 등이 시급히 필요하다고 진단하였다.

근무지역 내에서 알코올과 표백제와 같은 소독관련 화학약품과 고정기구 제작용의 복합화학물질, 그리고 X-선 필름 현상액 등을 취급하고 있었으며, 이러한 화학물질이 공기중으로 증발되어 TVOC의 농도를 증가시킨 것으로 추정할 수 있었는데, 특히 X-ray 필름 현상실에는 현상액 보관통이 개방된 상태로 방치되어 있었고 현상액 폐액통도 특별히 관리되고 있지 않았다. 현상실에는 따로 환기설비가 갖추어져 있지 않아 여기에서 발생된 오염물질이 전 실내 공간으로 확산될 위험이 있었다. 공조실 내부환경을 살펴본 결과, 공조기 주위 바닥상태 및 주변관리는 양호한 편이었고, 가습장치 사용으로 인한 주변의 미생물 증식도 발견할 수 없었다. 조사대상 바로 위층, 즉 지하 1층에는 냉난방 공급설비 등이 있는 기계실과 정비사무실 등이 위치하고 있었고 복도를 통해 지하 2층과 직접 연결되어 있었는데, 전체 기계실 내부환경에서도 주목할 만한 문제점은 발견되지 않고 청결한 편이었다. 그러나 이 곳에서 페인트, 오일, 접착제, 복합화학물질 등을 취급하게 되는 경우 발생된 오염물질이 복도와 계단을 통해 지하 2층 공간으로 직접 유입될 위험이 있었다.

## 고안 및 결론

실내환경질(IEQ, Indoor Environmental Quality)은 공공보건으로 분야에서 중요한데, 빌딩증후군(sick building syndrome), 빌딩관련질병(building-related illness) 및 복합화학물질과민증(multiple chemical sensitivity) 등과 관련이 있다.<sup>4,7)</sup> 미국에서는 30% 이상의 사무실과, 천만 명이 넘는 근무자들이 실내환경과 관련된 문제에 노출되어 있으며, 생산력 저하, 소송, 질병치료 등에 매년 수십억 달러가 소요되고 있다.<sup>7)</sup> 실내환경 중에서도 거주자의 자각증상의 발생과 관련이 가장 큰 것이 바로 실내공기 질인데, 외기와 차단된 근무지역, 특히 지하공간에서의 실내공기 질의 평가 및 관리는 더욱 중요하다. 지하공간 중에서도 방사선종양학과는 정밀한 의료작업이 장시간 요구되고, 왕래하는 사람들이 대부분 암환자들인 점 등을 고려할 때 실내공기 질에 대한 평가가 반드시 필요한 곳이다. 그러나 과거의 자료들을 살펴보면, 지하 근무지만을 따로 분리해서 실내환경을 평가한 것이 없고, 병원과 같이 특수한 지역에서의 실내공기 질을

평가한 자료도 드문 상황이다. 최근 유럽에서 발표된 논문에서 병원 내의 실내공기 질(온습도 및 환기정도)과 빌딩증후군과의 관련성에 대해 보고하였으나 공기오염물질의 농도를 직접 측정하여 그 관계를 밝힌 것은 아니었다.<sup>1)</sup> 다만 병원이라는 특수 상황에서의 실내환경질에 대한 관심이 높아지고 있는 상황에서 일반 근무지와는 다른 기준을 나름대로 제시하려는 움직임이 일어나고 있으므로 앞으로 주의가 필요하다.<sup>8)</sup>

저자들의 이번 연구 결과에서, 근무자들이 주로 호소하는 불편사항은 악취와 습도, 먼지 등에 관한 것이었고, 신체증상으로는 주로 근골격계 증상을 포함한 점막자극 증상과 두통, 피부건조 등이었다. 실내공기 질과 관련된 원인들로는 생각해 볼 수 있는 것은, 습도, 미세먼지, 총휘발성유기화합물, 실내환기 등이지만, 측정결과 습도나 미세먼지 등에서 기준치를 넘지 않은 것을 고려할 때, 가장 큰 원인은 오염된 공기가 다시 실내로 유입되는 부적절한 환기 시스템과 미국 사무실 기준 농도보다 3~4배 높은 총휘발성유기화합물이라고 추정된다. 꼭 이러한 실제적인 원인들이 아니더라도 지하에 장시간 근무한다는 것 자체가 근무자들에게 주관적인 자각증상을 유발시킬 수도 있는데,<sup>9)</sup> 실제로 근무자 대상의 설문조사 내용들을 분석한 보고를 살펴보면, 오염환경에 노출될 위험이 높은 지역의 근무자들에서 호흡기관련 증상이나 신경 증상, 그리고 근골격계 증상을 호소하는 비율이 높았으며, 불안이나 강박증, 정신병증, 신체화 등의 정신과적 문제점도 상당수 보였다.<sup>10)</sup> Roh 등<sup>4)</sup>의 국내 연구보고에서도 실내공기 질과 관련있는 이산화탄소, 휘발성유기화합물, 포름알데히드, 미생물, 호흡성분진 등의 측정에서 지상과 지하의 사무실에서 유의한 차이가 없었음에도 불구하고, 근무자 대상 설문조사에서는 지하 근무자들의 자각증상 호소정도가 더 크게 나타났다. 그러므로 공기질과 관련된 특별한 요인을 객관적으로 발견할 수 없다고 하더라도 지하에 장시간 근무하는 경우에는 환기와 관련하여 주관적인 증상을 호소할 수도 있음을 알아야 하며, 앞으로 근무자들의 근무환경에 따른 건강관리에서 중요한 부분으로 고려해야겠다. 이번 연구는 설문의 대상을 지하공간에서 장시간 거주하는 근무자들만으로 하였으나, 추후 방사선치료를 받기 위해 내원하는 환자들을 대상으로도 좀 더 세분화된 설문조사를 할 예정이다. 내원 환자들은 근무자들에 비해 오염물질에 노출되는 시간이 비록 짧다고 하나 대부분 장기간의 항암치료나 수술로 인해 면역능력이 저하되어 있는 경우가 많고, 보통 6~8주 정도의 전체 치료기간이 요구되는 점을 고려한다면, 실내공기 질과 내원 환자의 자각증상과도 어느 정도의 인과관계가

성립되리라 추측되며, 이런 경우 측정항목에 감염과 관련되는 미생물(세균) 농도를 포함시키는 것이 필요하겠다. 암 치료 환자와 실내공기 질 관련 자료는 아직 명확한 것이 없으나, 최근 Buemi 등<sup>11)</sup>은 투석환자 및 신장질환자를 위한 중환자실에서 공기오염물질을 측정된 결과를 발표하였는데, 환자에게 치명적인 미생물은 발견되지 않았으나 미세분진이 일부지역에서 기준치보다 높게 나와 이에 대한 대처가 필요하다고 보고하였다.

이번 연구조사 지역의 온도 및 습도는 대체로 사무실 근무환경 기준에 적합하였으나 근무자들의 설문조사의 결과에서도 확인할 수 있듯이, 병원의 일반 근무조건에 맞추기보다 외기와 직접적 접촉이 없는 지하 환경임을 고려해서 조정이 필요할 것으로 생각된다. 특히 겨울철에는 날씨가 건조해지고 실내난방 및 환기횟수가 줄어드는 점 등의 이유로 습도가 떨어지게 되어 피부나 점막에서 건조감이나 과민반응 등을 보일 수 있는데 습도를 40~50% 정도로 올려주는 것만으로도 자각증상을 50% 정도 줄일 수 있으므로 계절에 따른 습도관리에 더욱 주의해야겠다.<sup>12)</sup>

미세먼지와 가스상 물질(이산화탄소, 일산화탄소, 포름알데히드)의 경우 기준치를 넘지 않았으나 실내공기 질과 관련이 아주 높은 물질들이므로 주기적인 측정이 필요하겠으며, 환자 및 근무자들의 이동이 많은 일부 근무지역과 일부 직원만이 남아서 정밀 작업을 하게 되는 저녁 시간대에는, 상기 물질들의 발생 및 정제 가능성 등을 고려하여 환기에 더욱더 주의가 필요하다. 실제로 미국에서 아동들의 활동이 많은 학교 교실을 대상으로 이산화탄소와 환기 정도를 평가한 결과, 많은 수의 학교에서 실제로 이산화탄소의 축적이 확인되었고 환기도 충분하지 않은 것으로 밝혀졌는데, 이로 인해 빌딩증후군으로 생각되는 점막자극 증상을 호소하는 학생들도 많아, 오염원의 발생에 따른 더욱 적극적인 환기가 필요하다고 하였다.<sup>13)</sup> 공기 중으로 비산되는 오염물질들은 해당지역의 면적과 거주자의 밀집정도, 그리고 실내환기 등에 따라 그 농도의 차이를 확인할 수 있는데, 학교나 병원 등 좁은 지역이면서도 인구 밀집도가 높은 곳에서는 특별히 실내환기에 주의해야 한다. 또한 여름철이나 겨울철은 여러 가지 원인들로 인한 실내공기 질이 다를 것으로 생각되는데, 특히 겨울철에는 난방을 하게 되고 에너지 절감을 위해 외기의 유입량을 줄이고 실내공기나 외기의 이동을 차단하기 때문에 여름철에 비해 실내공기 질이 더 나쁠 것으로 예상되므로 겨울철에서의 실내공기 질 평가도 동반되어야 하겠다. 이번 연구에서는 특히 총휘발성유기화합물(TVOC)의 농도가 일반 사무실 측정치에 비해 3~4배 높게 나왔는데, 비록 명확한 기준치

는 없으나 3 mg/m<sup>3</sup> 이상의 농도로 장기간 노출되는 경우 불쾌감을 느낄 정도의 두통이 발생할 수 있다는 보고가 있으므로,<sup>14)</sup> TVOC 증가의 원인이 될 수 있는 기존 화학물질들(관련 화학약품이나 현상액 등)의 철저한 관리와 함께 사용장소에서의 환기에 더욱 주의해야 하며, 가능성 있는 다른 원인에 대해서도 정밀한 조사가 필요하겠다. 다만, 휘발성유기화합물의 경우 건물의 연식이 늘어남에 따라 실내공기 중의 농도가 감소한다는 국내 보고가 있으므로,<sup>4)</sup> 주기적인 농도 측정으로 TVOC 수치 변화를 확인하는 것도 고려해야겠다.

실내공기 질 관련 요인은 아니지만, 근무자들의 자각증상을 유발할 수 있다고 생각되는 조도(조명의 밝기)와 전자파 등에 대해서도 각 근무지역에서 측정을 하였는데, 모든 지역에서 국내 기준을 만족하는 수준으로 평가되었다. 조도의 경우 평균적으로 381 Lux 정도를 보였는데, 자연채광이 부족한 지하공간이라는 점과 치료설계실 등의 정밀 작업을 필요로 하는 곳이 많다는 점 등을 감안한다면 일부 근무지역은 국제노동기구(ILO)에서 권고하고 있는 일반작업-사무실 기준(500~1,000 Lux)의 조도가 유지되게 해주는 것이 좋을 것으로 생각된다. 전자파의 경우, 전기장 및 자기장 모두에서 측정치가 국내외의 권고기준치 이하로 나타났다. 측정위치별 전기장 세기는 큰 차이가 없었으나, 치료실 선형가속기 주위에서의 자기장 세기는 110~186 mA/m로 다른 위치에서 보다 다소 높게 나왔는데, 이는 다른 측정위치의 전기판넬 및 전력선에서 발생하는 자기장보다 고에너지 선형가속기에서 발생하는 자기장 세기가 훨씬 높기 때문으로 해석되었다. 이 정도의 자기장이 인체에 미치는 영향은 미미하겠으나 불필요한 선형가속기 주변에서의 작업은 피하는 것이 좋겠다.

비록 일부 지역에서만 측정된 것이기는 하지만, 근무지역의 공기교환은 권고수준에 적합하였고 급·배기량도 양호한 수준이었다. 지하 1층에 설치되어 있는 공조시스템 및 주변 환경도 관리가 잘 되어 있어 특별한 문제는 없었으나, 공조기의 유입구 및 배기구의 위치와 향온습기의 실외기 위치가 부적절하였으며, 지하1층의 공기오염원이 복도와 계단을 통해 지하 2층으로 유입될 위험이 있었다. 미국 산업안전보건연구원(NIOSH)이나 환경보호청(EPA)에 따르면 외기공기 유입구는 오염물질 배기구나 외부 오염원으로부터 최소한 8 m 정도는 떨어져 위치하도록 권고하고 있으며, ASHRAE에서는 외기 유입구의 밑면이 지상으로부터 3.7 m (최소 1.8 m 이상) 정도의 높이에, 배기구 역시 지상으로부터 최소 3 m 이상의 위치에 있도록 하고 있다. 이 문제에 대해 향온습기의 실외기의 위치는 병원측

과 상의하여 조정을 하였으나, 공조기의 유입구 및 배기구 위치 조정은 비용 및 주변 여건 때문에 진행하지 못했다. 환기 시스템의 위치 조정은 건물이 준공된 후에는 재배치가 매우 어려우므로 방사선종양학과 관련 건물 설계단계에서부터 위치 선정에 주의를 기울일 필요가 있다. 이 부분에서는 특히 방사선종양학과 근무자들이 어느 정도 관련 지식을 가지고 보건환경관련 전문가의 협조를 얻어 설계나 리모델링 초기단계에서부터 병원측과 적극적으로 의견을 교환해야 할 것으로 생각된다.

지하 근무 환경의 개선을 위해 근무자 스스로도 외부환경과 자주 접하도록 하고 실내오염물질에 대해서는 노출을 최소화 하도록 노력할 필요가 있겠으나, 개개인의 근무조건과 건강상의 문제 등을 고려할 때 근무자 스스로가 노력하여 얻을 수 있는 부분은 적은 것으로 보고되고 있다. Lee 등<sup>15)</sup>은 유해오염물질의 흡입에 의한 건강상의 문제는 오염물질의 노출량, 노출빈도, 노출기간, 체중, 호흡량 및 평균수명 등에 의해 영향을 받을 수 있는데, 노출량을 제외한 나머지 요인들은 근무자의 개별인자의 성격이 강하므로 근무지역에서의 오염물질 흡입으로 인한 문제를 해결하는 데에 가장 중요한 것은 적극적인 오염물질의 제거나 개별적 환기를 통한 노출량의 능동적 감소라고 하면서 환기의 문제를 더욱 강조하였다.

저자들은 암환자들을 주로 치료하는 지하 시설의 실내 공기 질에 대한 평가를 실시하였고, 일부 화학물질 및 부적절한 환기 시스템으로 인해 근무자들이 주관적인 증상을 호소할 수 있음을 확인하였다. 객관적인 주장을 위해서 지상에 위치한 다른 임상과나 타 의료기관에서의 공기질 측정 및 근무자 대상 설문조사 등을 추가하는 것이 좋겠지만, 이번 연구 자료의 분석을 통해서도, 환기 및 채광이 부적절한 지하 공간에서 장기간 의료관련 정밀작업을 하는 근무자들의 근무여건 개선을 위해서나 면역저하를 동반한 환자들의 건강관리를 위해서 실내환경, 특히 실내공기 질에 대한 개별적 평가가 필요함을 알 수 있었다. 또한 방사선종양학과에 근무하는 의료인들은 이러한 평가내용에 대한 적절한 이해와 함께 실내환경 관련 기본지식의 습득을 통해 개개인의 건강관리에 유의하며, 향후 새 치료실의 설계나 기존 시설의 환경개선 등에도 적극적으로 관심을 가져야 할 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

1. Nordstrom K, Norback D, Akseleson R. Influence of indoor

air quality and personal factors on the sick building syndrome (SBS) in Swedish geriatric hospitals. *Occup Environ Med* 1995; 52:170-176

2. Sisovic E, Fugas M, Sega K. Assessment of human inhalation exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 1996;6:439-447

3. Clayton CA, Perritt RL, Pellizzari ED, et al. Particle total exposure assessment methodology (PTEAM) study: distributions of aerosol and elemental concentrations in personal, indoor and outdoor air samples in a Southern California community. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 1993;3:227-250

4. Roh YM, Lee CM, Kim SW, et al. A study on the characteristics of indoor air quality in office and subjective symptoms of office workers. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2004;14: 270-282

5. Springston JP, Esposito WA, Cleversey KW. Baseline indoor air quality measurement collected from 136 metropolitan New York region commercial office building between 1997-1999. *Am Ind Hyg Associ J* 2002;63:354-360

6. Kim YS, Lee CM, Kim HT, Iida T. A survey of indoor and outdoor radon concentrations by alpha track detector in Korea. *Kor J Env Hlth* 2002;28:71-76

7. Reynolds SJ, Black DW, Borin SS, et al. Indoor environmental quality in six commercial office building in the midwest United States. *App Occ Env Hyg* 2001;16:1065-1077

8. Benesova V, Bencko V, Hoskins J. International conference on indoor environment quality in hospitals. Prague 10-11 October 2002. *Cent Eur J Public Health* 2003;11:115-116

9. Boxer PA. Indoor air quality: a psychosocial perspective. *J Occup Med* 1990;32:425-428

10. Malkin R, Wilcox T, Sieber WK. The National Institute for Occupational Safety and Health indoor environmental evaluation experience, part two: symptom prevalence. *Appl Occup Environ Hyg* 1996;11:540-545

11. Buemi M, Floccari F, Netto M, et al. Environmental air pollution in an intensive care unit for nephrology and dialysis. *J Nephrol* 2000;13:433-436

12. Nordstrom K, Norback D, Akseleson R. Effect of air humidification on the sick building syndrome and perceived indoor air quality in hospitals: a four month longitudinal study. *Occup Environ Med* 1994;51:683-688

13. Daisey JM, Angell WJ, Apte MG. Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. *Indoor Air* 2003;13:53-64

14. Molhave L. Indoor climate, air pollution, and human comfort. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 1991;1:63-81

15. Lee CM, Kim YS, No YM, Kim JC, Jeon HJ, Lee SD. Health risk assessment of exposure to indoor air pollutants in office building. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2004;14: 251-263

---

**Abstract**

## **Evaluation of Indoor Air Quality in a Department of Radiation Oncology Located Underground**

Won Taek Kim, M.D.\* , Byung Hyun Kwon, M.D.\* , Yong Chul Shin, Ph.D.† ,  
Dong Mug Kang, M.D.† , Yong Kan Ki, M.D.\* and Dong Won Kim, M.D.\*

Departments of \*Radiation Oncology and † Preventive Medicine, College of Medicine,  
Pusan National University, ‡ Department of Occupational Health and Safety Engineering,  
Inje University, Busan, Korea

Purpose: Indoor air quality (IAQ) in the radiation treatment center which is generally located underground is important to the health of hospital workers and patients treated over a long period of time. This study was conducted to measure and analyze the factors related to IAQ and subjective symptoms of sick building syndrome, and to establish the causes influencing IAQ and find a solution to the problems.

Methods and Materials: Self administrated questionnaire was conducted to check the workers' symptoms and understanding of the work environment. Based on a preliminary investigation, the factors related to IAQ such as temperature, humidity, fine particulate, carbon dioxide, carbon monoxide, formaldehyde, total volatile organic compounds (TVOC), and radon gas were selected and measured for a certain period of time in specific sites where hospital workers stay long in a day. And we also evaluated the surrounding environment and the efficiency of the ventilating system simultaneously, and measured the same factors at the first floor (outdoor) to compare with outdoor air quality. All collected data were assessed by the recommended standard for IAQ of the domestic and international environmental organizations.

Results: Hospital workers were discontented with foul odors, humidity and particulate. They complained symptoms related to musculo-skeletal system, neurologic system, and mucosal-irritation. Most of the factors were not greater than the recommended standard, but the level of TVOC was third or fourth times as much as the measuring level of some offices in the United States. The frequency and the amount of the ventilating system were adequate, however, the problem arising in the position of outdoor-air inlets and indoor-air outlets involved a risk of the indraft of contaminated air. A careful attention was a requirement in handling and keeping chemical substances including a developing solution which has a risk of TVOC emissions, and repositioning the ventilating system was needed to solve the contaminated-air circulation immediately.

Conclusion: We verified that some IAQ-related factors and inadequate ventilating system could cause subjective symptoms in hospital workers. The evaluation of IAQ was surely needed to improve the underground working environments for hospital workers and patients. On the basis of these data, from now on, we should actively engage in designs of the department of radiation oncology or improvement in environments of the existing facilities.

---

Key Words: Indoor air quality, Sick building syndrome, Radiation oncology, Underground