

# 공동주택에서 취침 시 실내공기환경 평가에 관한 연구

## A Study on the Assessment of the IAQ during Nighttime

김 동 규\*      김 삼 열\*\*      김 세 환\*\*\*  
 Kim, Dong-Gyu      Kim, Sam-Uell      Kim, Se-Hwan

### Abstract

Effort has been performed for latest 20 years to improve resident's comfort and indoor environment in building. And interest and effort to improve indoor air environment among various indoor environment elements have continuously increased since 1990s, because it is examined scientifically that various contaminants generated indoor affect human body. Specially, indoor air contaminants generated from apartments are those exhausted from resident's indoor environment, closing materials and household. Indoor air environment in buildings is different according to pollution degree, existence availability of pollution source, ventilation amount, and meteorology. It is known that other contaminants more than about 900 kinds generate according to a kind of work or action in a room. Specially, nowadays buildings are well insulated and confidentiality-centered for environment protection and economical side. So indoor air contaminants are generated from indoor air pollution sources of unprepared ventilation, human body carbon dioxide emissions, and various building materials. when these are accumulated in long term human body, it is harmful to resident's health, but awareness for this is very insufficient. Because bedroom is space that people inhabit for a long time by unconscious state and indoor environment occupies important part for resident's health and quality of life at sleep, the actual condition of air quality is investigated, improvement countermeasure is considered, and ventilation amount is analyzed. In this study, putting case that the most longest stayed time is sleeping time when people inhabit in the apartment, the air quality according to volume of bedroom space at sleep was measured and analyzed, and the data acquired will be the basis for improvement on this.

키워드: 공기질, 부유분진, 포름알데히드, 라돈

Keywords: Air quality, Suspended Particulate, formaldehyde, radon

### 1. 연구의 배경 및 목적

건물에서의 쾌적한 실내 환경과 거주자의 쾌적감을 향상시키기 위한 노력은 최근 20여년 동안 이루어져 왔으며, 실내에서 발생하는 각종 오염물질이 인체에 미치는 영향이 과학적으로 규명되면서 실내 환경요소 중 건물의 실내공기환경 개선방안에 대한 관심과 노력이 1990년대 이후 지속적으로 증가하고 있다. 특히 많은 국민들이 하루 중 많은 시간을 보내고 있는 공동주택의 실내에서 발생하는 공기 오염물질은 거주자들의 실내환경과 마감재료 및 생활용품 등에서 배출되는 오염물질 등이 있다<sup>1,2,3)</sup>. 건물의 실내 공기환경은 오염도와 오염원의 존재여부

및 환기량과 기상상태에 따라 달라지며, 실내에서의 작업종류와 행위에 따라 상기된 물질 이외에도 약 900여종 이상의 다른 오염물질이 발생하는 것으로 알려지고 있다<sup>4)</sup>. 특히 오늘날의 건물은 에너지 절약과 경제적인 측면에서 단열과 기밀성을 위주로 시공되어 이로 인한 환기비와 인체 CO<sub>2</sub> 발생량 및 각종 건축재료 등의 실내공기 오염원에서 발생하는 오염물질 등으로 인해 실내공기오염을 유발한다. 이러한 오염물질들이 장기간 인체에 축적될 경우 거주자의 건강에 매우 유해하기 때문에, 이에 대한 관심이 증가하고 있다.

침실은 거주자가 주간에 의식이 있는 활동을 하는 것에 비해 무의식 상태로 장시간 수면을 하는 공간이고 수면 시 실내 환경은 거주자의 건강 및 삶의 질에 많은 영향을 끼치므로 침실내 공기질을 조사하여 실태를 파악하고, 환기량을 분석하여 필요 환기량의 확보여부도 진단함

\* 주저자, 부경대학교 기계공학부 계약교수

\*\* 동의대학교 건축설비공학과 부교수

\*\*\* 교신저자, 동의대학교 건축설비공학과 (ksh@deu.ac.kr)

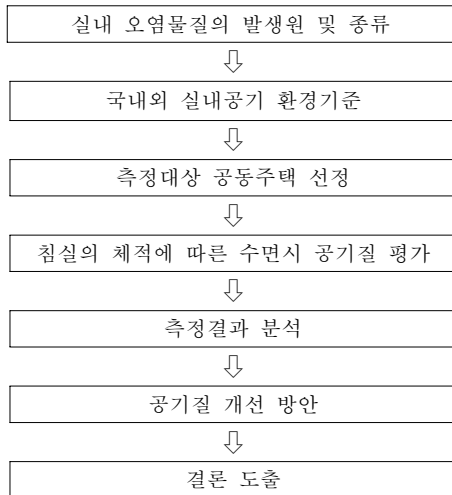


그림 1. 연구진행 방법

으로써 개선대책을 수립해야 한다. 이에 본 연구에서는 사람이 공동주택에 거주할 때 무의식의 상태에서 가장 오래 머무는 시간이 수면시간 이라고 가정하고 침실공간의 체적에 따른 수면 시 공기질을 측정 및 분석하여 문제점을 파악하고, 이에 따른 개선을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구의 내용 및 방법을 <그림 1>에 나타내었다. 실내 공기질이 거주자들의 건강에 미칠 수 있는 영향과 그것을 최소화하기 위하여 제시된 환경기준 등에 대한 실내 공기의 오염원의 종류 및 특성을 알아보았다. 또한 실내 공기 오염물질에 대한 국내외 기준 등을 조사 분석하였고, 조사 자료를 기초로 하여 공동주택 침실 공간에 대하여 수면 시 실내의 공기질을 측정하였다. 따라서 국내외 기준을 바탕으로 침실내 공기질 유해물질의 적정성을 진단하였고, 침실내 공기질 개선을 위한 해결방안을 제시하고자 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 공동주택의 실내공기 오염인자

실내공기오염은 온도, 습도, 기류, 복사열 등의 온열환경요소와 CO, CO<sub>2</sub>, 질소산화물 등의 가스성분 및 공기중에 떠다니는 부유분진, 각종 미생물 등의 오염물질요소가 복합적으로 작용하여 진행 된다<sup>5,6</sup>. 실내공기환경은 재실자들의 취향에 따라 형성되는데, 특정한 실내가구나 마감 재료는 오염원을 실내로 방출시키는 위험이 있으므로 실내에 가구를 들여놓거나 벽지를 바르는 등의 행위도 실내공기오염에 영향을 줄 수 있으며, 복사기, 팩스, 컴퓨터 등에서도 오염물질이 방출된다. 발생원에 따른 주요 실내오염물질을 정리하면 <표 1>과 같다<sup>5,6,7</sup>.

표 1. 발생원에 따른 주요 실내오염물질

발생원		실내오염물질
인체	호흡 채채기, 기침 피부 의류 화장품	CO <sub>2</sub> , 수증기, 냄새 세균입자 피부조각, 비듬, 암모니아 섬유, 세균, 곰팡이, 냄새 각종 미량물질
사람의 활동	흡연 보행 연소기기  사무기기	분진, 타르, 니코틴 모래먼지, 섬유류, 세균 CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , 매연, 냄새 암모니아, 오존,
유지관리	작업, 재료	모래먼지, 분진, 섬유세제, 용제, 곰팡이, 세균

2.2 국내·외 실내공기환경 기준

1) 국내 실내공기환경 기준

국내에서는 공기조화를 실시하는 건물의 실내공기 허용기준을 보건복지부와 건축법 시행규칙에서 규정하고 있고, 작업장 환경은 노동부에서 기준을 정하여 관리하고 있으며, 대기환경기준은 1978년에 정해진 환경보전법에서 규정하고 있다. 국내의 실내공기환경 기준이 보건복지부에서 정한 공중위생법과 건축법 시행규칙에 정해져 있으나, 단지 CO 10ppm, CO<sub>2</sub>는 1,000ppm, 부유분진 0.15mg/m<sup>3</sup> 등의 기준치만 설정되어 있으며, 지하 환경에 대한 가이드라인이 참고로 있을 뿐이다.

환기에 대한 기준은 각 국의 생활양식이나 시대에 따른 생활패턴의 변화, 그리고 사용기기, 대기오염 상태 등의 변화에 따라 달라지는데, 환기기준을 크게 두 가지로 나누면 성능기준(IAQ 기준)과 지시기준(환기량 기준)으로 구분할 수 있다. 성능기준은 목표로 하는 공기의 질을 규정하지만 그 공기의 질을 달성하는 방법에 대해서는 정하지 않고 있으며, 일반적으로 특정한 환경 내에서의 재실자의 건강 위해로부터 거주자를 보호하기 위해 만들어 졌다. 또한, 지시기준은 1인당 필요 환기량을 ft<sup>3</sup>/min(m<sup>3</sup>/h), l/sec, 또는 ACR(Air Change Rate)로 규정하고 있으며, 유지되어야 할 공기의 질에 대해서는 언급하지 않고 있다.

국내의 실내공기환경을 관리하는 부처는 환경부, 보건복지부, 노동부, 교육인적자원부, 건설교통부 등 대상 시설에 따라 관계부처별로 나뉘어 있다. 최근 환경부는 다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법에 의해 다중이용시설(17개 시설군) 및 신축공동주택의 실내공기환경을 관리하고 있으며, 보건복지부와 건축법 시행규칙에 공기조화를 실시하는 건물의 실내공기 허용기준을 규정하고 있고, 노동부는 작업장 환경 기준을 정하여 관리하고 있다. 국내의 실내공기환경 기준은 <표 2>와 같다.

표 2. 국내의 실내공기환경 (IAQ) 기준

항목	실내 환경기준(건축법 시행규칙/공중위생법)	지하생활공간 공기질 관리법(환경부, 1996)
온도(DBT)	17~28℃	-
습도(RH)	40~70%	-
기류속도	0.5m/s	-
부유분진 (TSP)	150 $\mu$ g/m <sup>3</sup>	150 $\mu$ g/m <sup>3</sup> (일평균)
일산화탄소 (CO)	10ppm	25ppm (8시간평균)
이산화탄소 (CO <sub>2</sub> )	1000ppm	1000ppm (1시간평균)
포름알데히드 (HCHO)	-	0.1ppm (일평균)
라돈(Radon)	-	4pCi/l

표 3. 실내 공기질 권고기준

측정항목	권고기준
포름알데히드	210 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하
벤젠	30 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하
톨루엔	1,000 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하
에틸벤젠	360 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하
자일렌	700 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하
스티렌	300 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하

실내 공기질 측정과 관련한 다중이용시설 관련법에 의하면 신축 공동주택의 시공자는 실내 공기질을 측정하여 그 결과를 주민입주 3일전까지 시장·군수·구청장에게 제출하여야 한다. 시공자에게 실내 공기질을 측정 및 공고하도록 한 것은 '새집증후군'이 특히 문제되는 공동주택의 신축 시 친환경 건축자재 사용, 환기설비 설치 등을 유도함으로써 쾌적한 실내 공기질을 자율적으로 확보하도록 하기 위한 것이다. 신축 공동주택의 실내 공기질 측정항목은 포름알데히드, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌 등 6개이고, 신축 공동주택의 쾌적한 공기질 유지를 위한 실내 공기질 권고기준은 다음의 <표 3> 과 같다.

2) 국외 실내공기환경 기준

미국의 주거환기기준은 ASHRAE와 HUD(Dept. of Housing & Urban Development)에서 다루고 있다. HUD의 최소성능기준(MPS, Minimum Property Standard)에서는 0.5회/h 정도의 환기량에 개폐가능한 창을 이용한

표 4. 주요 국가별 실내 환경 기준<sup>8,9,10,11)</sup>

오염 물질	실내 환경 기준
포름알데히드	0.1ppm (ASHRAE)
	0.08ppm (WHO Europe)
	0.1ppm (스웨덴: 신축주거)
일산화탄소	10ppm (일본건축법/빌딩위생관리법)
	20ppm (일본 학교 위생 기준)
	8.6ppm (WHO Europe 8시간평균)
	25ppm (WHO Europe 1시간평균)
	51ppm (WHO Europe 30분평균)
	86ppm (WHO Europe 15분평균)

이산화탄소	1000ppm (일본건축기준법) 920ppm (WHO Europe) 1000ppm (ASHRAE)
석면	-
라돈	4pCi/ml (EPA 주택) 2.7pCi/ml (WHO) 2.9pCi/ml (스웨덴 주택)
부유 분진	0.15mg/m <sup>3</sup> (일본 빌딩위생 관리법/건축법) 0.1~0.12mg/m <sup>3</sup> (WHO, 8시간평균)

환기를 기준으로 하고 있으며, 이 창의 크기는 바닥면적의 1/20 이상으로 규정하고 있다. 일본의 경우 기밀성능 기준을 철근 콘크리트 조, 조적조류 구조의 주택은 0.5회/h, 공업화공법의 주택은 0.7회/h, 그리고 목조를 비롯한 그 위의 주택에서는 1.5회/h로 제시하고 있다.

유럽에서는 노르웨이, 핀란드 등을 중심으로 WHO에서 주요 내용은 실내 공기질에 영향을 미치는 실내오염원의 제어를 위하여 건축자재와 설비기준을 정하고 있으며 건물내부에서 발생하는 각종 오염물질의 방출특성에 대한 정보를 건축가나 전문 관리자에게 제공하고 있다. 주요 국가별 실내 환경 기준은 <표 4>와 같다. 1987년에 제정한 "Air Quality Guideline for Europe"에 근거하여 각 나라별 실정에 맞는 기준을 설정하고 있다.

3. 현장 조사 및 분석

3.1 조사대상 건물 개요

침실 내 실내 공기질을 측정하기 위한 조사대상은 부산광역시 진구 가야3동에 위치한 B아파트로 2005년도에 입주한 신축 공동주택으로서 22m<sup>2</sup>와 33m<sup>2</sup>의 침실을 2인을 기준으로 23시부터 07시까지 총 9회를 측정하였으며 실내 공기질 측정시 공기의 유동을 최소화하기 위해 문 및 창은 개방하지 않았다. 측정 대상이 된 공동주택의 상세는 <표 5>와 같다.

표 5. 조사대상 건물 개요

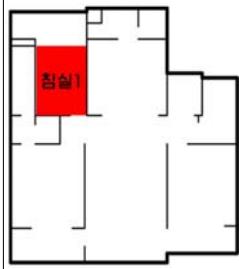
항목	측정 대상	
위치	부산광역시 진구 가야3동 B아파트	
구조	R.C조	
난방방식	개별난방 방식	
대상주호 층수	8층	
체적(m <sup>3</sup> )	22m <sup>2</sup>	33m <sup>2</sup>
평면도		

표 6. 조사내용별 측정 장소, 기간, 장비 및 환경인자

구분	내용
장소	a) 2인이 수면하는 침실 22m <sup>2</sup> b) 2인이 수면하는 침실 33m <sup>2</sup> c) 1인이 수면하는 침실 33m <sup>2</sup>
기간	2007. 03 ~ 2007. 04
측정 시간	23시~07시
측정 회수	1시간 간격, 총 9회
측정환경인자	온도, 습도, CO, CO <sub>2</sub> , 포름알데히드, 라돈, 부유분진 등
측정 장비	TSI-VELOCICALC PLUS : 온 · 습도 DUST TRAK 8520 : 부유분진 TSI 8731(Q-CHECK) : CO, CO <sub>2</sub> Z-300XP : 포름알데히드 RAD 7 : 라돈

### 3.2 조사 내용 및 측정 방법

측정 시 계절적 요인 및 공동주택이 도로변에 위치하고 있는 경우는 일반적으로 수면시간에 침실로 이동하여 수면에 들어간다. 따라서 본 연구에서는 침실 내 실내공기질 측정 시 침실의 환경을 인위적으로 조절하지 않은 상태에서 침실의 문과 창을 닫은 후 30분이 경과하고 난 뒤부터 측정을 시작하였다. 측정은 측정도중 침실 내 거주환경의 변화 등으로 인한 측정상의 오류로 인하여 총 7회의 측정이 이루어 졌으며, 측정과 관련된 상세한 내용은 <표 6>에 나타내었다.

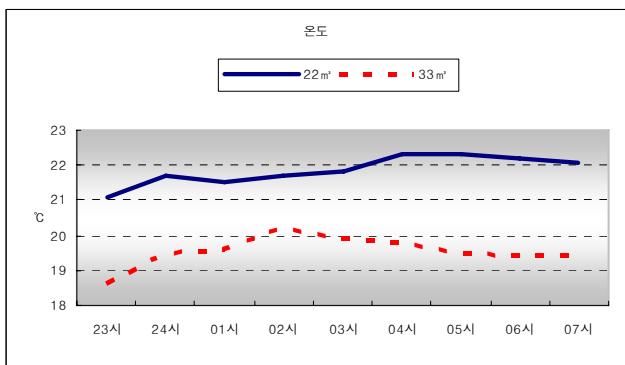


그림 2. 수면 중 침실 내 온도변화

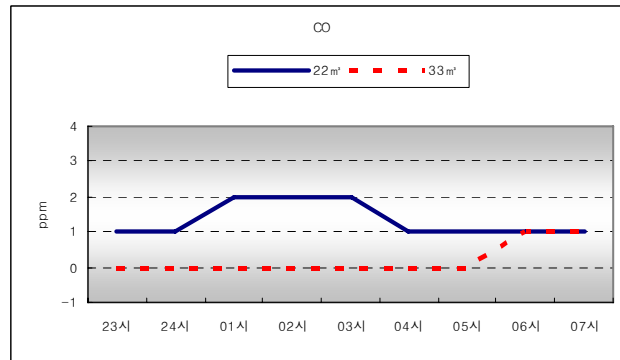


그림 4. 수면 중 침실 내 CO변화

### 4. 측정결과

#### 4.1 온도 및 습도

<그림 2>, <그림 3>에 수면시 침실 내 온도 및 습도 변화를 나타냈다. 측정결과 22m<sup>2</sup>은 온도가 21.1 - 22.3°C로 나타났고 습도는 38.6 - 53.9%로 나타났다. 33m<sup>2</sup>은 온도 18.6 - 20.2°C 습도는 61.9 - 69.6%로 22m<sup>2</sup>보다 온도는 2 - 3°C정도 낮고 습도가 약 20%정도 높게 측정되어 실내 환경기준을 만족하였지만, 33m<sup>2</sup>의 경우 측정 당일의 우천으로 인한 영향으로 침실 내 온도 하강 및 습도가 상승한 것으로 판단된다.

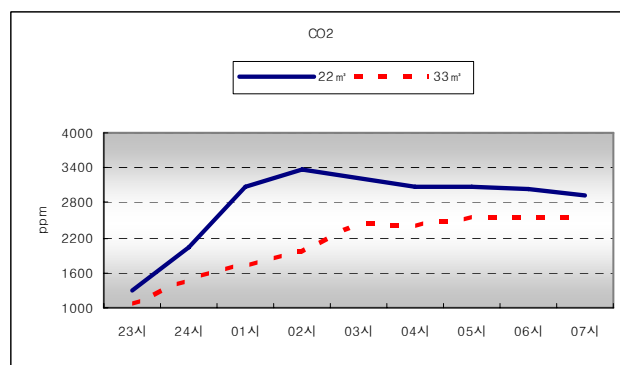


그림 5. 수면 중 침실 내 CO<sub>2</sub> 변화

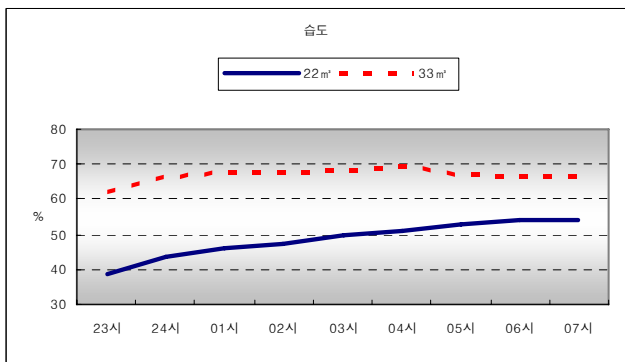


그림 3. 수면 중 침실 내 습도변화

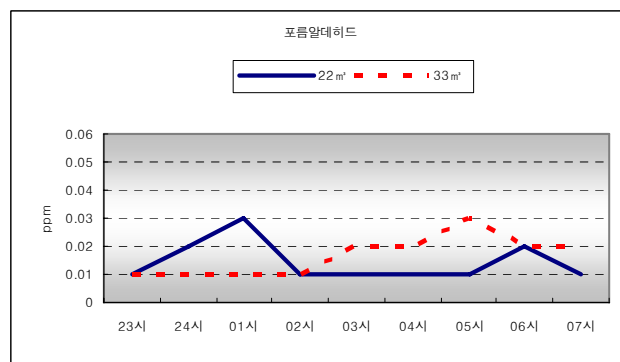


그림 6. 수면 중 침실 내 포름알데히드 변화

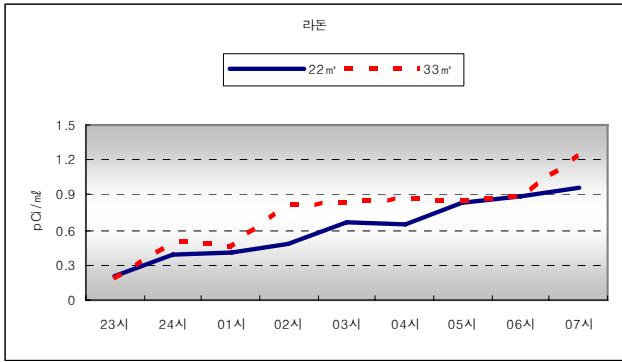


그림 7. 수면 중 침실 내 라돈 변화

#### 4.2 유해가스

수면 중 침실 내에서 측정된 유해가스는 CO, CO<sub>2</sub>, 포름알데히드, 라돈 등을 측정하여, 기준치를 만족하는지 여부를 분석하여 <그림 4> - <그림 7>에 나타내었다. <그림 4>는 침실 내 수면 중 CO의 경시변화로서 측정대상 모두 약 1ppm으로 관련법을 만족하였으나, <그림 5>의 CO<sub>2</sub>농도는 22m<sup>2</sup>에서 최고 3384ppm이고, 33m<sup>2</sup>이 2557ppm으로 기준치(1000ppm)를 크게 상회하는 것으로 나타났다. 이는 침실 내 창문과 문을 닫음으로 인하여 자연 환기가 부족한 것이 원인으로 사료되므로 CO<sub>2</sub>의 농도를 기준치 이내로 유지하기 위해서는 보다 적극적인 환기방법이 요구된다.

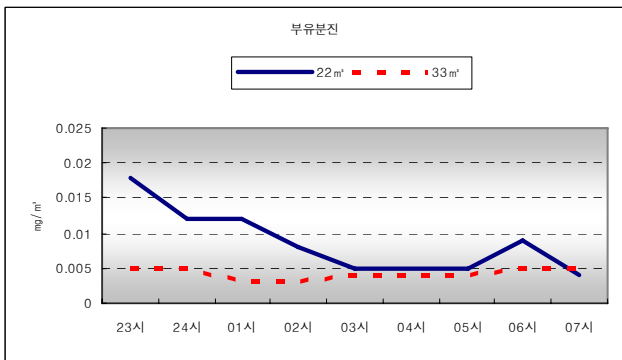


그림 8. 수면 중 침실 내 부유분진 변화

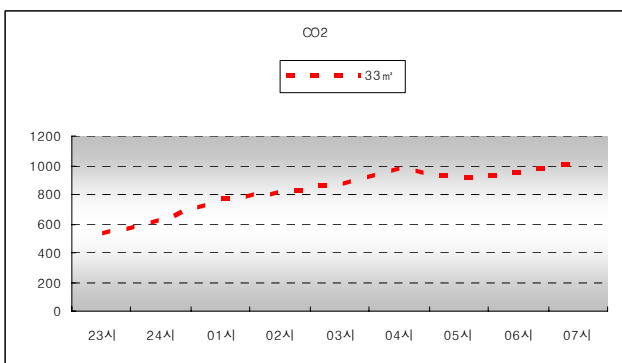


그림 9. 수면 중 침실 내 CO<sub>2</sub> 변화

<그림 6>의 포름알데히드 농도 변화는 22m<sup>2</sup>에서 최고 0.03ppm, 33m<sup>2</sup>에서 최고 0.03ppm으로 ASHRAE(0.1ppm), WHO Europe(0.08ppm), 스웨덴(0.1ppm 신축주거)의 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

<그림 7>의 라돈은 앞에서 언급한 바와 같이 흙, 시멘트, 콘크리트, 대리석, 모래, 진흙, 벽돌 등과 같은 건축자재 및 우물, 동굴, 천연가스 등에 존재하며 개방상태에서는 문제가 되지 않고 밀폐된 실내공간일 경우 인체가 해가 되고 있다. WHO에서는 실내를 기준하여 2.7pCi/ml로 정하고 있고, 측정결과 22m<sup>2</sup>이 최고 0.97pCi/ml, 33m<sup>2</sup>이 최고 1.25pCi/ml로 관련법을 만족하였다.

#### 4.3 부유분진

<그림 8>에 부유분진에 대한 측정결과를 나타내었다. 측정결과 22m<sup>2</sup>의 경우 0.004~0.018mg/m<sup>3</sup>, 33m<sup>2</sup>의 경우 0.003~0.005mg/m<sup>3</sup>로 나타나 국내 및 일본의 실내 공기환경 기준(0.15mg/m<sup>3</sup>) 및 WHO 기준(0.1~0.12mg/m<sup>3</sup>, 8시간 평균)을 만족하였다.

#### 4.4 최적의 침실 규모

유해가스 및 부유분진 측정결과 실내공기질에 영향을 미치는 요인 중에서 CO<sub>2</sub>의 측정결과가 현행법의 기준치를 크게 웃도는 것으로 나타나 침실의 체적을 1인 25m<sup>3</sup>로 제시하고 있는 건축계획법의 기준보다 더 큰 33m<sup>2</sup>에서 1인을 기준으로 공기질을 측정해 서로 비교해 <그림 9>에 나타내었다. 측정 결과 33m<sup>2</sup>인 방에서 1인이 취침하였을 때 CO<sub>2</sub>를 제외한 모든 실내공기 오염인자는 기준값 이하의 측정결과를 나타냈지만, CO<sub>2</sub>은 최고 1023ppm으로 2인 취침의 결과에 비해 가장 기준치에 근접한 수치가 나타났지만, 역시 기준값을 초과하였다. 따라서 CO<sub>2</sub>를 기준으로 침실의 체적을 고려할 때 현재 기준인 1인 25m<sup>3</sup>보다 큰 체적이 요구됨을 알 수 있다.

### 5. 결론

최근 건강한 육체와 정신을 추구하는 현대인의 삶의 대부분이 실내에서 이루어지고 있는 시점에서 주거용 건축물의 실내 공기질에 관한 문제점이 심각하게 대두되어지고 있다. 본 연구에서는 실의 크기를 22m<sup>2</sup>, 33m<sup>2</sup>으로 나누어 실내 공기를 구성하는 환경인자들 중 인체에 직접적인 영향을 미치는 몇 가지 요소들을 재실자 1인 및 2인을 기준으로 수면 시 공기질의 변화를 1시간 간격으로 측정된 결과 온·습도, CO, 포름알데히드, 라돈, 부유분진 등은 관련법을 만족하였다.

그러나 CO<sub>2</sub>는 기준치보다 훨씬 높게 측정되어 이는 현행법에 제시되어 있는 적정한 실의 체적과는 다소 차이가 있는 것으로 판단된다. 그러므로 CO<sub>2</sub>농도를 기준치 이하로 유지하기 위한 개선 방안으로 수면 중 침실 공간에 대하여 보다 적극적인 환기 또는 실의 체적에 대한 고려가 필요하다. 현재 침실의 소요체적은 건축계획법에

서 1인당 25m<sup>3</sup>/h로 제시되어 있으므로 2인 기준 50m<sup>3</sup>/h가 되어야 한다. 그러나 위 측정에서 2인을 기준으로 CO<sub>2</sub>를 측정하였을 때 측정 결과치가 국내·외 기준치보다 훨씬 높게 나타났지만, 1인 기준으로 33m<sup>3</sup>에서 측정한 CO<sub>2</sub>의 결과치가 현행법에서 권장하고 있는 기준에 근접하는 것으로 판단되므로 이에 대한 고려가 필요하다고 판단된다.

### 참고문헌

1. 민병수. 공동주택의 실내 공기질 조사 및 개선 방안에 관한 연구, 박사학위논문, 경기대학교 대학원 건축공학과 전공, 2005.
2. 김기훈. 공동주택의 환기효율 향상을 위한 환기계획에 관한 연구, 박사학위논문, 중앙대학교 대학원 건축공학과 건축계획 및 환경 전공, 2004.
3. 박우진. 공동주택 환기시스템의 환기효율 향상에 관한 연구, 석사학위논문, 중앙대학교 대학원 건축공학과 건축계획 및 환경 전공, 2006.
4. 서울시립대학교 도시과학연구원. 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구에 관한 최종보고서, 환경부, pp.4~25, 2002
5. 박진철. 신축공동주택의 실내공기환경 개선에 관한 연구, 중앙대학교 박사학위논문, pp.26~33. 1994.
6. 박진철. 건축재료에서 발생하는 실내공기 오염물질의 실험실 측정에 관한 연구, 21세기 실내공기환경의 질-대한건축학회 세미나, p.66. 1998.
7. Yikeda Kyouichi, 실내공기오염의 원인과 대책 pp.4-74, pp.228-234
8. Edling c., Kling H. & Ayelson O.(. Radon in Homes : A possible cause of lung cancer, Scand J. Work Environment Health, pp.25~34, 1984.
9. Godish T., Indoor Air Pollution control, Third printing, Michigan : Lewis Publishers, pp.34~46, 1991
10. Leslie G. B. & Lunau F. W.. Indoor Air Pollution, Cambridge, pp.99~116, 1992.
11. Awbi H. B. Ventilation of Building, First Edition, London : E&FN SPON, p.37. 1991.