

# 침실 공기질 개선을 위한 강제 환기횟수에 관한 연구

## A study on Forced Ventilation Rate for Bedroom Indoor Air Quality Improvement

김 동 규\*      이 성\*\*      김 세 환\*\*\*  
Kim, Dong-Gyu      Lee, Sung      Kim, Se-Hwan

### Abstract

The indoor air quality is one of the most important issues of designing ventilation in high rise apartment buildings. This study suggested proper ventilation rate in the apartment bedroom where mechanical ventilation system has installed. Six university students(four male and two female) were participating in the experiment. Experiments were performed in environmental chamber. Experimental conditions were combinations from three ventilation rate 0, 0.4 and 0.7. Measurement items during 8 hours of experimental time were temperature, humidity, carbon dioxide concentrations and questionnaire surveyed after sleeping. The concentration of Carbon Dioxide depending on ventilation rate in the chamber was analyzed for proper ventilation rate. The results of this paper can be summarized as follows.

(1) When two persons experiment, 0.7 ventilation rate was in excess of 1000ppm. (2) When one person experiment, 0.7 and 0.4 ventilation rates were satisfied the criteria of IAQ. (3) It compared 0.4 with 0.7 in the ventilation rate, 0.4 ventilation rate could reduced about 80% of the power by fan similarity law.

키워드 : 실내 공기질, 공동주택, 최소필요환기횟수, 에너지 절감, 이산화탄소

Keywords : Indoor Air Quality, Apartment Buildings, Minimum Required Air Change Per Hour, Energy Saving, Carbon Dioxide

### 1. 연구의 배경 및 목적

최근 국내에서는 부지 부족현상과 조망권에 대한 인식 변화로 인하여 초고층 공동주택이 새로운 주거유형으로 공급되고 기밀화, 첨단화가 빠르게 진행되고 있는 추세이다. 공동주택의 고층화 및 기밀화는 실내 거주자가 건강하고 쾌적하게 생활하는데 필요한 환기량을 충족시키지 못하여 CO<sub>2</sub>, VOCs, HCHO 등 실내오염물질의 농도 증가를 가져왔고, 이는 실내 공기질이 악화의 원인이 되고 있다.<sup>(1)</sup> 그리고 현대인의 생활 수준향상과 웰빙에 대한 의식수준이 고조됨으로써 사회적으로 공동주택의 환기가 이슈가 되고 많은 관련 연구<sup>(1)-(8)</sup>가 진행되었다. 그러므로 현대는 거주공간의 적절한 공기환경을 유지하기 위한 방안이 지속적으로 요구되고 있는 시대라고 할 수 있다. 우리나라의 경우 법으로 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙에 의해 2006년 2월부터 공동주택의 필요 환기량(시간당 0.7회)을 CO<sub>2</sub>, VOCs, HCHO 등 실내오염물질발생을 고려하여 의무화함으로써 인하여, 공동주택 실내의 최소 필요 환기량을 충족하지 못할 경우에는 기계적 환기를 통한 강제환기를 할 수 밖에 없게 되었다. 강제환기를 하는 경우 동력원으로 쓰이는 에너지 원자재의 대부분을 수입

에 의존하고 있는 실정이며, 최근 유가상승으로 인하여 에너지 절감의 필요성이 더욱 증대되고 있다.

따라서 본 연구에서는 환기팬을 사용하여 강제환기를 하는 공동주택의 침실공간을 대상으로 하였다. 침실은 거주자가 주간에 의식이 있는 활동을 하는 공간보다 무의식 상태로 장시간 수면을 하는 공간이므로 수면 시 실내 환경은 거주자의 건강 및 삶의 질에 많은 영향을 미친다. 이에 침실 내 공기질 판단 요소 중 하나인 CO<sub>2</sub>농도를 환기횟수에 따라 측정 분석함으로써 국내 환기횟수 기준이 공동주택의 침실에 적합한지의 적정성을 검토하여 적정 환기횟수를 제안하고자 하였다.

### 2. 이론적 배경

#### 2.1 CO<sub>2</sub>가 인체에 미치는 영향

CO<sub>2</sub> 자체는 인체의 건강에 영향을 미치지 않으나, 일반적으로 실내오염지표로 사용되며, 실내에서 농도가 증가하면 호흡할 때 필요한 산소의 양이 부족하게 된다. 실내에서의 허용기준은 1,000ppm(0.1%)으로써 CO<sub>2</sub>가 증가하면 호흡 운동이 늘어나 폐포의 활성화로 인하여 CO<sub>2</sub>를 일정하게 유지한다. 공기 중의 CO<sub>2</sub>가 3%가 되면 호흡이 늘어나고, 4%가 되면 폐포내의 CO<sub>2</sub>가 증가하기 시작하면서 호흡곤란, 두통 등의 증상을 일으킨다. 표 1은 CO<sub>2</sub>농도가 인체에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

\* 주저자, 부경대학교 기계공학부 계약교수  
\*\* 동의대학교 건축설비공학과  
\*\*\* 교신저자, 동의대학교 건축설비공학과 (ksh@deu.ac.kr)

표 1. CO<sub>2</sub>농도가 인체에 미치는 영향

농도(%)	인체영향
0.1	호흡기, 순환기, 대뇌 등의 기능에 영향을 보인다
4	귀울림, 두통, 혈압상승의 증상이 보인다
8~10	경련 등을 일으켜 호흡이 정지된다
20	중추장애를 일으켜 생명이 위험하다

2.2 국내 · 외 CO<sub>2</sub> 관련 실내공기환경 기준

2.2.1 국내 CO<sub>2</sub> 관련 실내공기환경 기준

국내에서는 공기조화를 실시하는 건물의 실내공기 허용기준을 보건복지부와 건축법 시행규칙에서 규정하고 있고, 작업장 환경은 노동부에서 기준을 정하여 관리하고 있으며, 대기환경기준은 1978년 정해진 환경보전법에서 규정하고 있다. 국내 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. 그러므로 일반 실내에서는 의학적인 면에서 제정된 노동환경의 허용치를 사용하지 않고, 개략적으로 단순히 노동환경의 1/10~1/100정도를 취하는 것이 보통이었다.

건축법 시행령 제51조에 의하면 “환기를 위하여 거실에 설치하는 창문 등의 면적은 그 거실바닥면적의 1/20이상이어야 한다. 다만, 건설부령이 정하는 바에 의하여 위생에 지장이 없는 환기장치를 설치한 경우에는 그러하지 아니하다”라고 규정되어 있다. 그러나 이 규정은 여러 가지 제약조건이 충족되었을 때 효과가 있으므로 개정의 여지가 있다고 한다. 국내의 경우에도 국내자료를 바탕으로 에너지 측면에서의 최대 환기 제한과 건강을 유지하기 위한 최소 환기가 적절하게 유지될 수 있는 기준이 제시되어야 할 것이다.

국내 실내공기환경을 관리하는 부처는 환경부, 보건복지가족부, 노동부, 교육과학기술부, 국토해양부 등 대상 시설에 따라 관계부처별로 나뉘어 있다. 환경부는 다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법에 의해 다중이용시설(17개 시설군) 및 신축공동주택의 실내공기환경을 관리하고 있으며, 보건복지가족부와 건축법 시행규칙에 공기조화를 실시하는 건물의 실내공기 허용기준을 규정하고 있다. 또한 노동부는 작업장 환경 기준을 정하여 관리하고 있다. 이에 따른 국내 실내공기환경 기준은 표 2와 같다.

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 위해보부터 거주자를 보호하기 위해 만들어졌다. 또한, 지시기준은 1인당 필요 환기량을 ft<sup>3</sup>/min

(m<sup>3</sup>/h), 1/sec, 또는 ACR(Air Change Rate)로 규정하고 있으며, 유지되어야 할 공기의 질에 대해서는 언급하지 않고 있다.

표 3은 국내 실내 공기환경의 CO<sub>2</sub> 함유 기준을 나타낸 것인데, 그 대상을 일반 생활환경과 대기환경으로 구분하였다. 그 이유는 각각의 환경적 특성에 따라 오염물질의 발생 특성과 재실자에 미치는 영향 정도가 다르기 때문이다.

표 2. 국내의 실내 공기환경(IAQ)기준

항목	실내 환경기준(건축법 시행규칙/공중위생법)
온도(DBT)	17~28°C
습도(RH)	40~70%
기류속도	0.5m/s
부유분진(TSP)	150µg/m <sup>3</sup>
일산화탄소(CO)	10ppm
이산화탄소(CO <sub>2</sub> )	1,000ppm

표 3. 국내 실내 CO<sub>2</sub> 함유 기준

환경부 지하공기질 기준		보건복지가족부 공중위생기준		노동부 산업안전기준	
시간	농도	시간	농도	시간	농도
평균	[ppm]	평균	[ppm]	평균	[ppm]
1	1,000	순간	1,000	순간	5,000

표 4. 각 나라별 실내 환경기준

오염물질	실내 환경기준
부유분진	0.15mg/m <sup>3</sup> (일본 빌딩위생 관리법/건축법) 0.1~0.12mg/m <sup>3</sup> (WHO, 8시간 평균)
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 8시간평균)
이산화탄소	1,000ppm(일본건축기준법) 920ppm(WHO Europe) 1,000ppm(ASHRAE)

2.2.2 국외 CO<sub>2</sub> 관련 실내공기환경 기준

미국의 주거환기기준은 ASHRAE와 HUD(Department of Housing & Urban Development)에서 다루고 있다. HUD의 최소성능기준(MPS, Minimum Property Standard)에서는 0.5회/h 정도의 침기량에 개폐가능한 창을 이용한 환기를 기준으로 하고 있으며, 이 창의 크기는 바닥면적의 1/20이상으로 규정하고 있다. 일본의 경우 기밀성능 기준을 철근콘크리트조, 조적조류 구조의 주택은 0.5회/h,

공업화공법의 주택은 0.7회/h이다. 그리고 목조를 비롯한 그 위의 주택에서는 1.5회/h로 제시하고 있다. 유럽에서는 노르웨이, 핀란드 등을 중심으로 주요 내용은 실내 공기 질에 영향을 미치는 실내오염원의 제어를 위하여 건축자재와 설비기준을 정하고 있으며 건물내부에서 발생하는 각종 오염물질의 방출특성에 대한 정보를 건축가나 전문관리자에게 제공하고 있다. 각 나라별 실내 환경 기준은 표 4와 같다. 1987년에 제정한 “Air Quality Guideline for Europe”에 근거하여 국가별 실정에 맞는 기준을 설정하고 있다.

### 3. 실험조건 및 방법

#### 3.1 실험조건

그림 1과 같은 체적이 24.7m<sup>3</sup> 기밀성이 우수한 항온항습용 환경챔버에서 총 6명(남: 4명, 여: 2명)의 피험자를 대상으로 1인 및 2인 실험을 표 5와 같이 수행하였다. 환기횟수 변화에 따른 실내 CO<sub>2</sub>농도와 온·습도 변화를 관찰하기 위하여, 환경챔버의 바닥온도는 겨울철을 고려하여 25°C로 설정하였다. 실험조건인 환기횟수는 0회(환기팬 off), 0.4회/h, 0.7회/h로 하였다. 환기횟수를 설정하기 위한 풍속은 외기도입용 원형 플렉시블 덕트(Φ75mm) 내부의 5개의 점에서 풍속을 측정하여 평균값을 실험 풍속으로 사용하였고, 환기횟수별 풍속값은 표 6에 나타내었다. 환기횟수는 측정된 평균 풍속값과 챔버 체적을 사용하여 식(1), (2)로서 산출하였다.

$$Q = n * V \quad (1)$$

여기서 Q : 풍량[m<sup>3</sup>/h]  
n : 시간당 환기횟수[회/h]  
v : 실의 체적[m<sup>3</sup>]

$$v = Q / (A * 3600) \quad (2)$$

여기서 v : 풍속[m/s]  
Q : 풍량[m<sup>3</sup>/h]  
A : 플렉시블 덕트 단면적[m<sup>2</sup>]



그림 1. 환경챔버 내부 모습 및 측정장비

표 5. 실험 조건

실험기간	2008년 1월 21일 - 2008년 3월 8일 까지
피험자	남 4명, 여 2명
환기횟수[회/h]	0(환기팬 off), 0.4, 0.7
취침시간[h]	8
외기CO <sub>2</sub> 농도(ppm)	360 ~ 460
난방방식	복사난방

표 6. 환기횟수에 따른 풍속

환기횟수(회/h)	풍속(m/s)
0(환기팬 off)	0
0.4	0.62
0.7	1.09

#### 3.2 실험방법

피험자들은 동일한 의복 착용 상태로 실험에 참가하였다. 실험에 참여하는 피험자는 실험에 미치는 영향을 최소화 하기 위해 실험 기간 중 신체에 부담이 되는 행동의 금지, 열량이 높고 자극적인 음식에 대한 주의, 그리고 충분한 휴식을 취하도록 교육을 실시하였다. 그리고 실험에 참가하기 전 혈압, 체온, 체중 등을 측정하여 신체 이상 유무를 확인한 후 실험에 참가하였다. 실험이 진행되는 동안 실내의 CO<sub>2</sub>농도, 상대습도, 온도 등을 측정하였다. 표 7는 실험에 사용된 측정장비 및 측정지점을 나타낸 것이다.

표 7. 측정장비

측정장비	측정항목	측정지점
TSI8731 (Q-check)	CO <sub>2</sub>	바닥에서 0.8m
TSI8386	습도, 풍속	바닥에서 0.8m
ALMEMO5590	온도	바닥에서 0.5, 1.5m

### 4. 실험결과 및 분석

#### 4.1 2인 실험 결과

환기횟수에 따른 CO<sub>2</sub> 농도를 비교하기 위하여 그림 2과 같이 환기팬이 off 상태인 환기횟수가 0인 경우 남녀별 CO<sub>2</sub> 농도를 측정하였다. 남자의 경우 최대 2200ppm, 여자의 경우 최대 1600ppm으로 나타났고, 농도는 수면시간의 경과와 더불어 상승되다고 유지되는 경향을 나타냈으며, 남녀간의 CO<sub>2</sub> 농도의 차이는 수면시 대사랑은 일반적으로 기초대사랑에 비해 10% 낮고 여자가 남자에 비해 낮기 때문에 이러한 차이가 발생하였다.<sup>(9)</sup> 그러나 남녀 모두 권장값 1000ppm을 초과하고 있는 것을 알 수 있다.

그림 3은 환기횟수 0.4회로서 남자 CO<sub>2</sub> 농도는 약 1500ppm, 여자 CO<sub>2</sub> 농도는 약 1250ppm까지 상승 후 유지되었다. 환기횟수가 0인 경우의 CO<sub>2</sub> 농도 보다 대폭

감소하였지만, 공동주택 CO<sub>2</sub> 농도 기준치인 1000ppm 이하를 만족시키지는 못하였다.

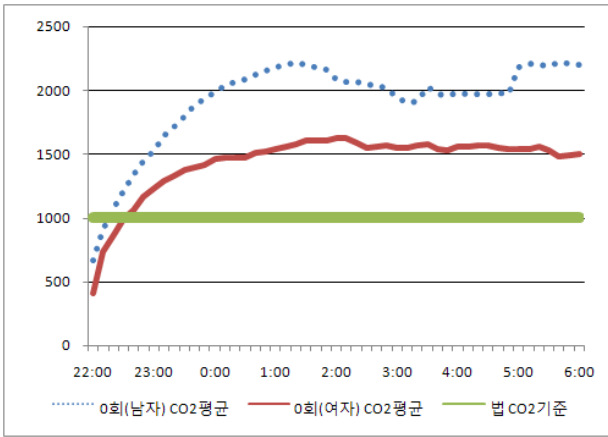


그림 2. 환기횟수 0[회/h], 2인 기준

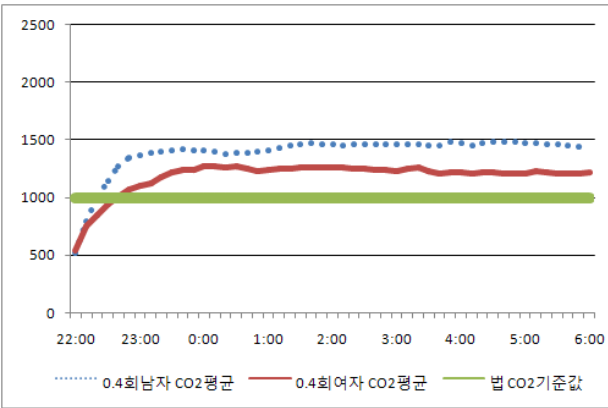


그림 3. 환기횟수 0.4[회/h], 2인 기준

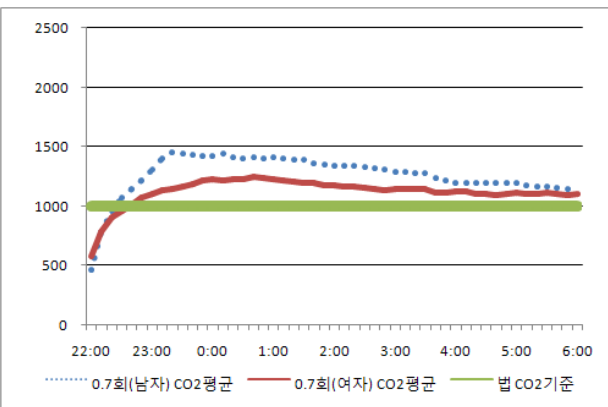


그림 4. 환기횟수 0.7[회/h], 2인 기준

그림 4는 공동 주택의 최소 환기횟수 법적 기준인 0.7 회/h의 실험 결과의 그림이다. CO<sub>2</sub>농도의 경우 남·여 모두가 최고치는 0.4회/h와 비슷했지만 최고치 도달 후 시간의 경과에 따라 CO<sub>2</sub>농도가 지속적으로 감소하는 경향

을 나타냈지만, 공동주택의 기준치인 1000ppm이하를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

2인 실험에서 CO<sub>2</sub>농도는 환기횟수가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈지만, 현재 건축계획법에서 1인당 침실의 소요체적이 25m<sup>3</sup>로 제시되어 있는 점과 챔버 체적 24.7m<sup>3</sup>을 고려할 때 환기횟수 0.7회에서 공동주택 내 실내 CO<sub>2</sub>농도기준인 1000ppm을 만족시키지 못하였다.

**4.2 설문 결과**

2인 실험에 참여한 재실인원들을 대상으로 실험 종료 후 간단한 설문을 실시하였고, 내용은 다음과 같다.

- 1) 취침 후 목과 코가 막히거나 불편 하지는 않았는가?
- 2) 취침 후 두통이나 어지러움을 느끼지 않았는가?
- 3) 취침 후 전체적인 몸의 상태는 어떠한가?

위의 세 가지 질문의 답변은 아래와 같이 5단계 척도로 구성하였다.

- ① 매우 좋지 않다
- ② 좋지 않다
- ③ 조금 좋지 않다
- ④ 보통이다
- ⑤ 괜찮다

표 8. 1번 설문 결과

구 분	설문에 대한 답변빈도				
	①	②	③	④	⑤
환기횟수(회/h)					
0	5	1			
0.4		3	2	1	
0.7			3	3	

표 9. 2번 설문 결과

구 분	설문에 대한 답변빈도				
	①	②	③	④	⑤
환기횟수(회/h)					
0	6				
0.4		1	2	3	
0.7				2	4

표 10. 3번 설문 결과

구 분	설문에 대한 답변빈도				
	①	②	③	④	⑤
환기횟수(회/h)					
0	4	2			
0.4		1	3	2	
0.7			2	4	

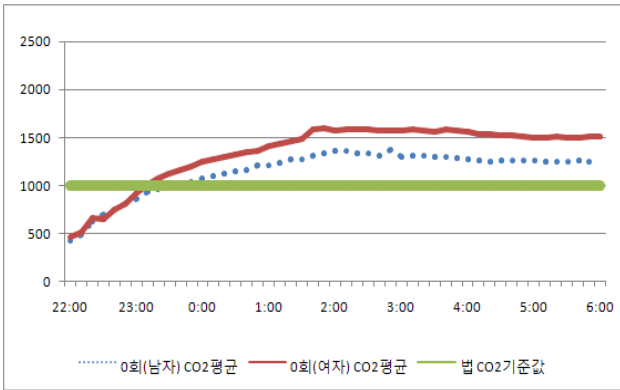


그림 5. 환기횟수 0[회/h], 1인 기준

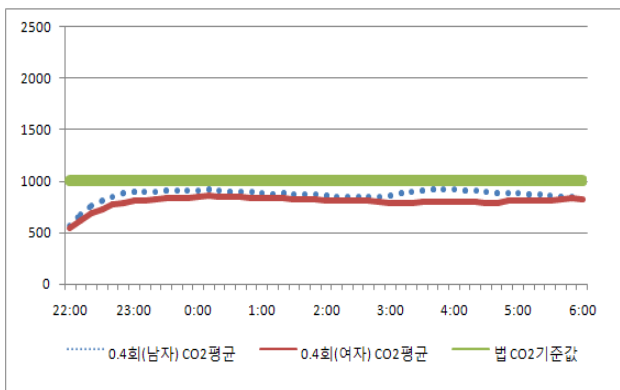


그림 6. 환기횟수 0.4[회/h], 1인 기준

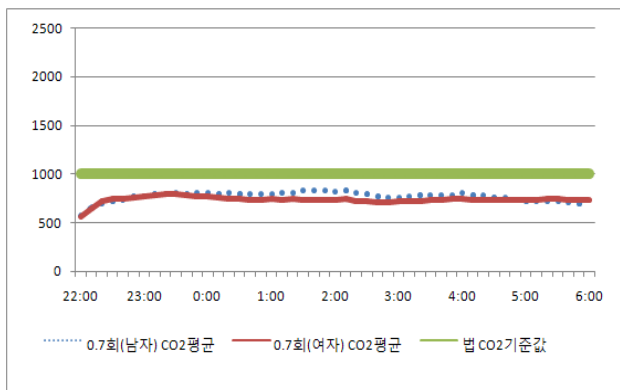


그림 7. 환기횟수 0.7[회/h], 1인 기준

환기횟수에 따른 설문 내용에 대한 답변은 환기횟수가 증가할수록 긍정적인 방향으로 설문이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 챔버내 CO<sub>2</sub>농도는 기준값 1000ppm을 만족하지 못했지만, 환기횟수가 증가함에 따라 피험자들은 취침시 안정된 수면을 취함으로써 기상 후 전반적으로 몸 상태가 더 개운하다고 느끼는 것으로 판단된다. 따라서 침실 내 쾌적한 수면환경 조건이 다양하지만 환기횟수에 따른 침실의 CO<sub>2</sub>농도도 쾌적한 수면환경조성에 많은 영향을 줄 수 있고, 이에 대한 추가적인 연구가 향후 필요하다고 사료된다.

### 4.3 1인 실험 결과

그림 5은 환기팬이 off 상태인 환기횟수 0회 일 때 실험 결과로서 CO<sub>2</sub> 농도는 2인 실험치보다 낮은 수치를 나타내었지만, 권장치 1000ppm을 초과함을 알 수 있다. 또한 CO<sub>2</sub> 농도 변화는 초기에는 증가하다가 약 4시간 경과 후 일정해 지는 경향을 나타냈다.

그림 6은 환기횟수 0.4회 일 때 실험 결과로서 CO<sub>2</sub> 농도는 실험시작 약 1시간 30분까지 상승 후 일정한 농도를 유지하였고, 그 농도는 국내의 IAQ기준인 1000ppm을 넘지 않았다.

그림 7은 공동주택의 권장 환기횟수인 0.7회 일 때의 결과이다. CO<sub>2</sub> 농도의 경우 0.4회/h와 비교해보면 약 100ppm 가량 감소하여, 국내의 IAQ 기준 1000ppm이하인 750~830ppm을 실험 종료 시까지 유지 하였다.

환기횟수 0.4회/h와 0.7회/h 모두 CO<sub>2</sub> 농도 경시변화값이 국내의 실내 공기환경(IAQ)기준 1000ppm이하를 나타냄을 알 수 있었다. 따라서 2인 실험 결과와 비교할 때 침실 1인당 소요체적을 고려하는 경우 실험의 결과만을 고려하면 환기횟수 0.4회 만으로도 CO<sub>2</sub> 국내 법적기준을 만족하고 있으나 실험조건 등을 고려하여 보다 많은 연구가 필요하다고 생각한다.

### 5. 결론

본 연구는 국내 실내 최소 필요 환기횟수인 0.7/h를 기준으로 재실인원을 1인과 2인으로 하여 환기횟수를 0회, 0.4회/h와 0.7회/h로 변화를 주어 국내 실내 공기환경(IAQ)기준의 CO<sub>2</sub> 농도 1000ppm에 대한 타당성을 알아보는 것을 목적으로 하였고, 이에 따른 결론은 다음과 같다.

- 1) 2인 실험에서 CO<sub>2</sub>농도는 환기량에 따라 큰 폭으로 변화되는 것을 알 수 있었으며, 실 체적을 고려할 때 재실인원을 2인으로 실험한 결과 강제환기를 통한 환기횟수 0.7회/h에서도 국내 공동주택 내 실내 공기질 CO<sub>2</sub>기준인 1000ppm을 만족시키지 못하였다.
- 2) 1인 실험 결과 CO<sub>2</sub>농도는 환기횟수 0.7회/h뿐 아니라 0.4회/h 에서도 국내 IAQ기준 1000ppm을 만족 하였다.
- 3) 체적 25m<sup>3</sup> 정도의 침실에서는 1명 취침시 환기횟수 0.4회/h에서도 권장 CO<sub>2</sub>농도를 만족하였지만, 실험 조건 등을 고려하여 보다 많은 연구가 필요하다고 생각한다.
- 4) 환기팬을 사용하는 경우 동력은 회전속도의 3제곱에 비례하는 상사법칙에 따라 0.4/h로 환기를 하는 경우 0.7회/h에 비해 약 80%가량의 동력을 절감 할 수 있다.

## 사 사

본 연구를 위해 실험을 진행하였던 이우진, 김대승, 손지훈 군에게 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. 정민희 외 3명, 초고층 공동주택의 환기효율에 관한 연구, 중앙대학교 박사학위논문, 2007
2. 원유미 외 4명, 취침시 환기횟수에 따른 CO<sub>2</sub> 피크치 제어에 관한 연구, 2008, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp.130
3. 안태경, 아파트의 최소필요환기횟수 산정에 관한 연구, 2005
4. 구재오 외 2명, 학교건물의 실내공기환경 개선방안에 관한 건축계획적 연구, 한국생태환경건축학회논문, 2007
5. 박진철, 초고층 공동주택의 환기효율 개선에 관한 연구, 2007
6. 정민희 외 4명, 학교 건물의 실내공기환경 실태조사 연구, 설비공학논문집, 2007
7. 최석용 외 2명, 환기량 변화에 따른 신축공동주택의 실내공기질 개선효과 검토, 설비공학논문집, 2006
8. 이종찬 외 3명, CFD를 이용한 군 내무실의 환기 개선 방안, 2006
9. 강두희, 생리학 개정4판, 신광출판사, pp.12.9-12.10

---

투고(접수)일자: 2008년 9월 23일

심사일자: 2008년 9월 25일

게재확정일자: 2009년 2월 19일