

온도 및 습도 조건에 따른 침실 공기환경에 관한 연구

A Study on the Indoor Air Quality in the bedroom with respect to Temperature and Humidity conditions

김 동 규* 김 세 환**
Kim, Dong-Gyu Kim, Se-Hwan

Abstract

People spend most of their time inside buildings recently, so the indoor air quality is one of the most important factors to human health. Furthermore, minimum energy use with proper ventilation systems for pleasant indoor environment is necessary because of energy shortage over the world. The concern to maintain proper indoor air quality at home has been increased, and a proper indoor air quality is continuously requested by the residents. By measuring and analyzing the density fluctuation of CO₂ through indoor humidity and testing personal reactions regarding comfort condition, we can obtain a way to effective ventilation. Heat and carbon dioxide emissions from resident's metabolism and construction materials could be the causes of indoor air pollution. If these materials stay indoors for a long time, it could directly influence the resident's health condition with diseases. It also leads massive energy use. Therefore, the way to save energy and to have effective control of indoor ventilation is needed. This study presented the control method of bedroom ventilation by CO₂ concentration change and subjective evaluation.

키워드 : 침실, 환기, 이산화탄소, 실내온도, 실내습도, 실내공기질

Keywords : bedroom, ventilation, carbon dioxide, indoor temperature, indoor humidity, indoor air quality

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

최근 건강과 환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 대부분의 시간을 실내공간에서 생활하고 있는 현대인에게 실내 공기환경 문제는 건강에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 요소 중 하나라 할 수 있다. 더욱이 인생의 약 1/3을 실내에서 수면을 취하는 현대인에게 쾌적한 수면은 일상에서 쌓인 심신의 피로회복을 돕는 삶의 필수적인 요소이다. 따라서 현대 거주공간의 적절한 공기환경을 유지하기 위한 방안이 지속적으로 요구되고 있으며 생활수준이 높아지고 건강에 대한 현대인의 인식이 증대되면서 이에 대한 관심이 증가하고 있다.

환기와 관련하여 건물의 경우 에너지절약을 위한 기술의 발전과 함께 건축물의 기밀성능은 지속적으로 향상되어왔다. 그러나 이러한 건축물의 기밀성능 향상은 실내공기환경의 현저한 악화를 초래하게 되었으며, 특히 실내 공기환경은 재실자의 신진대사나 활동, 각종 기기나 건축자재, 마감재료, 가구 등으로 부터 방출되는 열이나 CO₂, 먼지 등이 실내공기의 오염 원인이 되었고, 이와 관련된 많은 연구가 진행되었다^{1,2,3)}.

또한 건축물의 기밀함이 향상되면서 기계적 환기가 증가하고 이는 고유가 시대에 많은 에너지 낭비를 불러오고 있다. 따라서 에너지를 절약함과 동시에 효율적인 환기제어의 방법이 필요하였고, 이에 따라 공동주택에서의 최소 필요환기횟수 산정에 관한 연구 등이 진행되었다^{4,5,6,7,8)}. 침실은 하루 24시간 중 6~8시간을 보내는 장소로서 건강한 삶을 위해서 몸과 뇌를 재충전시켜 내일의 활력 있고 건강한 생활을 위한 중요한 공간이다. 실내환경의 관점에서 수면은 소음, 조도, 온도, 습도, 공기질 등의 다양한 환경요소의 영향을 받기 때문에 적절한 환경제어를 통한 쾌적한 수면환경의 조성이 중요하다⁹⁾. 이에 따라 수면시 침실내 공기환경 문제는 건강에 큰 영향을 미칠 수 있는 요소로서, 의식이 있을 때 들이마시는 공기만큼 잠자면서 들이마시는 공기의 질도 중요하다고 할 수 있다. 침실내 CO₂ 농도와 관련된 기존 연구에서 아파트 등 공동주택 내 실내공간의 이산화탄소농도를 측정된 결과 거실보다 침실의 농도가 더 높고, 특히 수면시간중 CO₂농도가 높아 환기계획시 반영해야 한다고 제안하고 있다¹⁰⁾.

따라서 본 연구는 공동주택에서 수면시 실내온도 및 습도에 따라 인체에서 발생하는 CO₂로 인한 침실내 CO₂ 농도 변화와 쾌적성에 관한 주관적 반응을 평가하여 수면시 적절한 실내 온도 및 습도 조절을 통한 침실내 공기환경 유지를 위한 효율적인 환기제어 방법을 제시하고자 한다.

* 주저자, 부경대학교 냉동공조공학과 교수
(arckim@pknu.ac.kr)

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

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구에서는 주거용 건축물에서 주간에 활동을 하는 것에 비해 무의식 상태로 장시간 수면 시 실내 환경은 거주자의 건강 및 삶의 질에 많은 영향을 끼친다. 따라서 온도 및 습도조건에 따라 수면시 실내공기환경을 정량적으로 파악하기 위해 실제수면환경 조건을 구현한 환경 챔버 내에서 성인남녀 각 2인이 실험에 참가하였다. 1회 실험시 피험자 1인이 22시부터 익일 06시까지 수면을 취하고 1시간마다 CO₂ 농도를 측정하였다. 수면 종료 후 피험자가 느낀 수면환경에 대한 주관적 반응 평가를 실시하여 수면 환경에 대한 정량적 분석을 하였다. 그림 1에 본 연구의 범위 및 연구진행방법을 나타냈다.

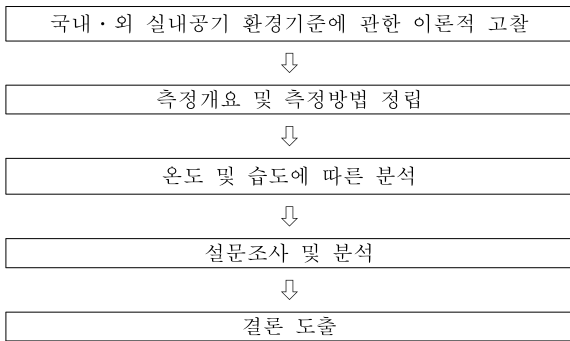


그림 1. 연구진행 방법

2. 이론적 배경

현대인들은 하루 중 대부분의 시간을 실내에서 생활하고 있어 실내에서 발생하는 오염물질로 인한 인체가 받는 피해를 줄이기 위해 지속적으로 실내보다 신선한 외기를 도입하여 실내의 오염물질을 외부로 배출시키는 방법이 가장 효과적이다.

최근의 실내환경을 고려할 때, 온습도는 건축자재나 기기로부터의 오염물질의 방출과 공기질의 평가에 중요한 영향을 미치는 환경요소로 작용하고 있다. 또한 Fanger 등¹¹⁾의 연구에 의하면 온습도 조건에 따라 달라지는 마감재료에 의한 오염물질 방출량이 공기질에 대한 지각만족도에 중요한 영향을 미치는 것으로 나타남으로써 실내공기 환경기준의 설정을 위해서는 실내온습도 조건 등에 대한 고려가 필수적인 요소가 되고 있다.

3. 국내·외 실내공기 환경기준

표 1은 건축법 및 공중위생법에 규정하고 있는 공동주택의 실내공기환경기준이다. 이산화탄소는 주로 실내공기 질 또는 환기상태의 척도로 사용되고 있으며, 실내공간에서 농도가 증가하면 호흡에 필요한 산소의 양이 부족하게 되어 이산화탄소와 함께 중요한 실내오염물질 중의 하나로 취급되고 있다. 이산화탄소는 사람의 호흡에 의해 주로 배출되고 연료의 연소시 발생하는 물질로서 실내환기조건을 CO₂를 기준으로 우리나라는 1,000ppm을 기준으로 하

고 있다. 위생적인 허용기준은 0.1%로 이산화탄소가 증가하면 호흡운동을 증대하여 폐포내 환기를 증대하며, 폐포내의 이산화탄소가 증가하기 시작하고 호흡곤란, 두통 등의 증상을 일으킨다. 단시간이면 5%까지 인내가 가능하나 그 이상이면 호흡곤란이 초래된다.

표 1. 공동주택 내 실내공기 환경기준

항목	실내 환경 기준
온도(℃)	17~28
습도(%)	40~70
기류속도(m/s)	0.5
일산화탄소(ppm)	10
이산화탄소(ppm)	1000

표 2. 각 나라별 CO₂ 실내 환경기준

국가	CO ₂ 실내 환경기준
미국	1000 ppm (ASHRAE)
유럽	920 ppm (Europe)
일본	1000 ppm (일본건축기준법)

미국, 유럽, 일본 각 국에서는 표 2와 같이 CO₂ 실내 환경기준을 나타내고 있다. ASHRAE에서는 ASHRAE Standard 55 1992에서 재실자를 위한 온열환경 조건을, 그리고 Standard 62 1989에서 실내공기의 질이 고려된 실내공기환경 유지를 위한 환기규정을 제시하고 있다. ASHRAE Standard 62 1989에서는 허용 공기환경기준을 재실자의 80%이상이 만족하고 있으며, 취기가 있는 오염물질의 경우에 적어도 비전문가가 20명이상 포함된 평가 집단의 80%이상이 대상 공간에 들어가서 15초 이내에 답변한 평가의 결과가 만족스러운 것일 때 허용가능한 실내 공기환경으로 정의하고 있다. 유럽 국가들의 경우 노르웨이, 덴마크를 비롯한 많은 나라에서는 WHO에서 1987년 제정한 유럽의 실내공기환경 지침서에 근거하여 기준을 설정하고 있으며, WHO는 이 기준을 실내공기환경과 건강 측면의 여러 연구결과와 축적된 증거자료를 참고로 1997년 개정안을 제시하고 있다. 점차 많은 나라에서 건강 위해평가가 기준정립의 기초자료로 채택되고 있다.

4. 실험개요 및 측정방법

4.1 실험개요

실험은 D대학교 공조연구실내 환경챔버에서 실시하였으며 실험기간은 2010년 3월 26부터 4월 13일까지 총 20일간에 걸쳐 실시하였다. 실험 개요는 표 3과 같고, 실험에 참가하는 피험자는 생활 주기가 규칙적이고 건강한 남녀 대학생 4명(남자 2명, 여자 2명)을 선정하여 실험을 수행하였다. 또한 실험의 객관성을 부여하기 위해 실험에 영향을 줄 수 있는 무리한 운동이나 과로, 과식, 음주, 흡연 등을 금하게 하였으며, 특히 감기나 여성의 경우 생리와 같은 급격한 인체변화를 파악하여 실험에서 제외하였다.

그리고 피험자에게 평상시와 동일한 생활을 유지하도록 통제하였다. 피험자들은 표준적인 착의량으로 맞추기 위해 동일한 유니폼을 반팔 티셔츠 및 긴바지를 착용하였고, 의복중량법으로 산정한 결과 0.5Clo였다(그림 2 참조). 환경 챔버는 실험시 초기 조건을 동일하게 유지하기 위하여 실험시작 3시간 전부터 계속 외기를 도입하여 환기를 하였다. 현 향온향습장치의 외기도입 덕트를 통해 챔버로 유입되는 외기량은 덕트 크기와 풍속으로 측정하였고, 환기횟수는 챔버 체적 등을 고려하여 산출한 결과 시간당 0.7회였다. 그리고 환경챔버의 기밀성으로 인하여 외부로부터의 침입 외기량은 없으며 실험설정조건에 따라 실제 실험시 구현된 환경조건은 온도의 경우 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$, 습도의 경우 저습 $\pm 9\%$, 고습 $\pm 5\%$ 의 편차를 나타냈다.

표 3. 실험개요

구분	내용		
실험장소	환경 챔버		
실체적	24.7m ³ (5m X 2.47m X 2m)		
피험자	남자 A : 키 170cm, 몸무게 80kg		
	남자 B : 키 170cm, 몸무게 61kg		
	여자 A : 키 163cm, 몸무게 59kg		
	여자 B : 키 170cm, 몸무게 58kg		
실험기간	2010년 3월 26일 ~ 2010년 4월 13일		
실험시간	22: 00 ~ 06: 00		
실험조건	건구온도		
		20 $^{\circ}\text{C}$	30 $^{\circ}\text{C}$
	상대 습도	30%	80%
		○	○



그림 2. 환경챔버 내부 및 피험자 모습

표 4. 측정기기



장비명	측정항목
 TSI 8386	온도, 습도, 풍속
 TSI 8731	CO ₂



그림 3. 실험 프로세스

표 5. 설문조사 척도

건습감	매우 습함	약간 습함	적당	약간 건조	매우 건조
	-2	-1	0	1	2
쾌적감	매우 불쾌	불쾌	보통	약간 쾌적	매우 쾌적
	-2	-1	0	1	2
숙면감	잠을 못잠	약간 못잠	평소와 동일	약간 잠들	잠을 잘잠
	2-	-1	0	1	2

4.2 실험절차

실험을 시작 전 피험자의 실험 참여 여부를 결정하기 위해 건강 및 신체상태(식사, 음주, 감기 등)와 관련된 간단한 설문조사를 실시하고, 환경 챔버 내에 표 4와 같은 측정장비를 설치하였다. 실내 온도 및 습도가 실험조건으로 설정된 환경챔버에 피험자 1명이 입실하여 22시부터 06시까지 8시간동안 취침을 하였고, 환경챔버 내부의 CO₂ 농도를 측정자가 1시간마다 측정하였다. 실험 프로세스는 그림 3과 같다. 실험 종료 후 피험자들은 환경챔버 내 수면 환경에 관한 주관적 평가를 표 5와 같은 항목 및 척도로써 실시하였다.

5. 실험결과

5.1 CO₂ 농도

그림 4와 그림 5는 실내온도가 20 $^{\circ}\text{C}$ 일 경우, 습도에 따른 남자와 여자의 CO₂ 농도 측정값이다. 실험이 시작됨과 동시에 CO₂ 농도는 증가하였고 오전 2시경쯤에는 최고치를 나타내었다. 이는 앞선 선행연구¹²⁾에서 수면시 환기횟수별 CO₂ 농도의 변화추이와 일치함을 알 수 있다. 따라서 수면 환경과 관련한 인체의 CO₂ 농도 변화 추이는 수면 전반기에는 증가하고 이후 후반기 동안 감소하는 것으로 판단된다. 그림 6과 그림 7의 실내온도 30 $^{\circ}\text{C}$ 조건에서도 같은 경향을 나타내었다. 실내 CO₂ 농도는 남녀 모두 수면 후 1시간이 경과 한 후부터 실내 기준값(1000 ppm)을 초과하였고, 전반적으로 동일한 실내온도 조건에서 습도가 높은 조건에서 CO₂ 농도가 높게 나타났다.

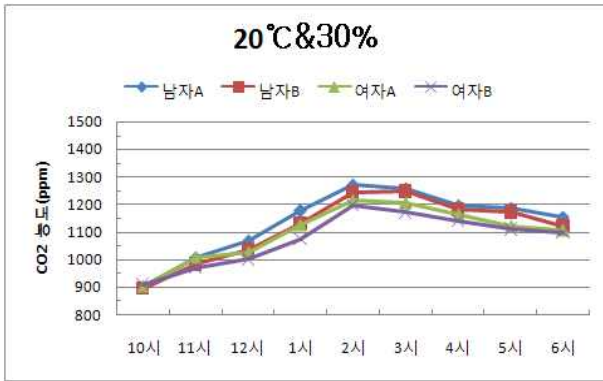


그림 4. 남녀 개인별 CO2 농도 경시변화(20°C&30%)

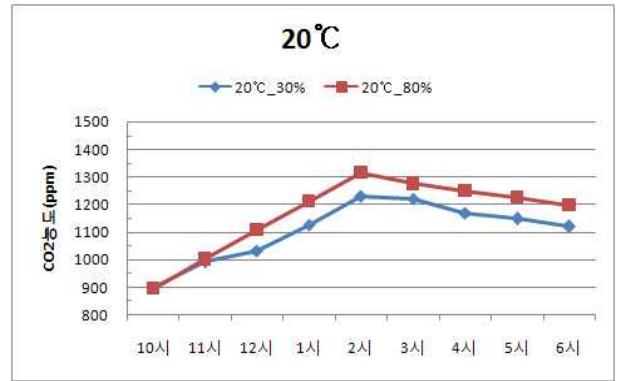


그림 8. 평균 CO2 농도 경시변화(20°C)

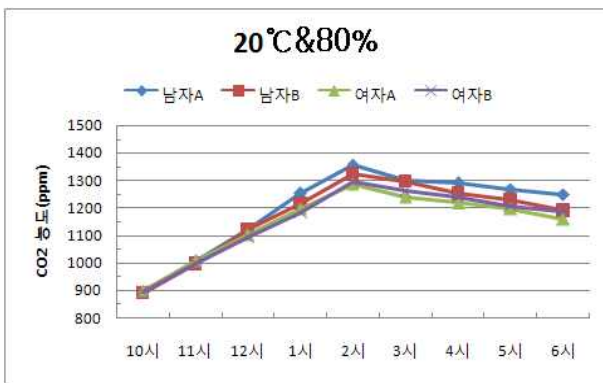


그림 5. 남녀 개인별 CO2 농도 경시변화(20°C&80%)

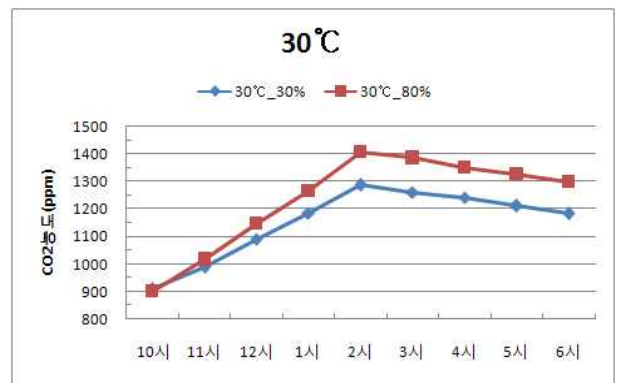


그림 9. 평균 CO2 농도 경시변화(30°C)



그림 6. 남녀 개인별 CO2 농도 경시변화(30°C&30%)

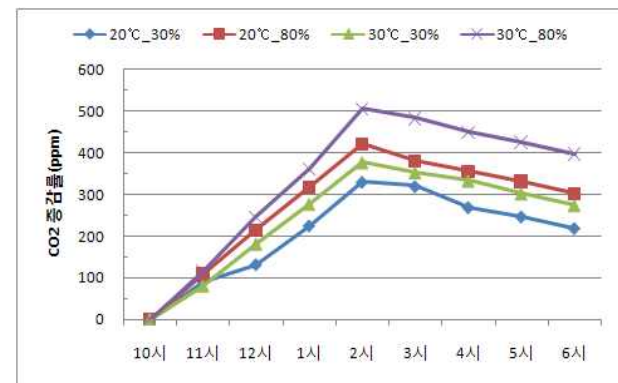


그림 10. 각 설정조건별 CO2 증감률 추이

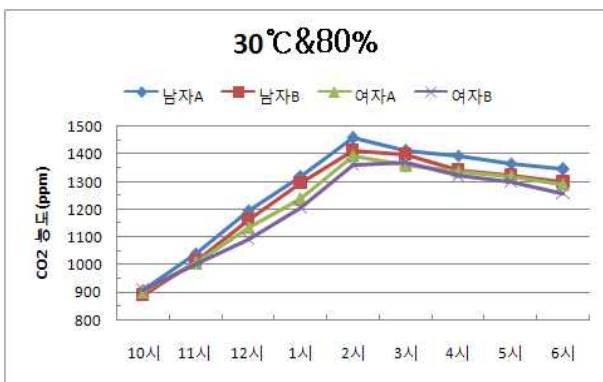


그림 7. 남녀 개인별 CO2 농도 경시변화(30°C&80%)

그림 8 및 그림 9는 실내온도 20°C와 30°C 조건에서 습도에 따른 평균 CO₂ 농도 변화로서 동일한 온도조건에서 습도가 높은 쪽의 CO₂ 농도가 높고, CO₂ 농도는 수면시작과 더불어 증가하였다. 그리고 CO₂ 농도가 최대가 되는 오전 2시경에 약 100ppm 정도의 차이를 나타낸 후 CO₂ 농도값은 감소하는 경향을 나타냈고, CO₂ 농도값의 차이는 수면 종료시까지 유지되었다.

그림 10은 각 조건별로 CO₂ 농도값의 증감을 비교한 것이다. 비교방법은 초기 CO₂ 농도값을 기준으로 하여 각 경과시간별로 “시간별 측정값-초기값”의 차이로서 나타내었다. CO₂ 농도값의 증감은 수면 시작 후 오전 2시까지 증가하였고, 고온 고습 조건인 30°C, 80% 조건에서 CO₂ 농도값

이 최대 약 500ppm정도 증가한 후 감소하였다. 반면에 저온 저습 조건인 20℃, 30%조건에서는 약 300ppm정도 증가하였다. 따라서 고온고습 조건(30℃, 80%)이 저온저습 조건(20℃, 30%)에 비해 수면시 CO₂ 농도값 증가비율이 약 40%정도 높게 나타났다.

동일한 온도조건에서 습도가 높은 경우 피부표면에서 증발이 적게 일어나게 되고, 이는 신체로부터 주위로의 열 방산을 저해하게 되므로, 체온이 상승하게 된다. 따라서 인체는 항상성 유지(체온 유지)를 위해 호흡량이 증가하게 되기 때문에 CO₂ 농도가 높게 나타나는 것으로 추정된다^{13, 14}. 또한 여자 피험자에 비해 남자 피험자의 CO₂ 농도값이 높게 나타난 것은 남자가 여자보다 호흡량이 상대적으로 많은 것이 원인으로 판단된다.

5.2 주관반응

수면환경에 대한 피험자들의 주관적 반응을 알아 보기 위해 설문조사를 실시하였다. 피험자들은 환경챔버내에서 수면을 한 후 다음날 아침 기상시 건습감, 쾌적감, 수면시간 동안 충분히 수면을 취하였는지에 대한 여부를 나타내는 숙면감 등에 대하여 설문을 하였고, 그림 11에서 그림 13에 설문 결과를 나타내었다.

수면 후 건습감에 대한 설문에서 20℃, 30%조건은 매우 건조하다(+2)고 반응하였고, 30℃, 80%조건은 매우 습하다(-2)고 반응하였다. 반면에 나머지 조건들은 약간 습하다(-1)와 약간 건조하다(+1)라고 반응하였다. 그러나 같은 습도 조건이라도 실내온도에 따라 건습감의 반응에 차이를 나타냈다.

수면 후 쾌적감에 대한 설문에서 30℃, 80% 조건은 20℃, 80%조건에 비해 매우 불쾌하다(-2)라고 반응하였다. 건습감에서 약간 건조 및 습하다고 반응한 환경조건은 거의 보통이라고 반응하였다.

수면 후 숙면감 역시 쾌적감 및 건습감과 같은 경향을 나타냈다. 즉 수면 후 건습감 및 쾌적감이 상대적으로 양호하였던 조건에서 피험자들은 평소와 동일한 수면을 하였다고 반응하였다. 따라서 설문조사의 내용으로 볼 때 저온에서는 높은 습도조건이 반면에 고온에서는 낮은 습도조건이 상대적으로 양호한 수면환경을 제공하는 것으로 판단된다.

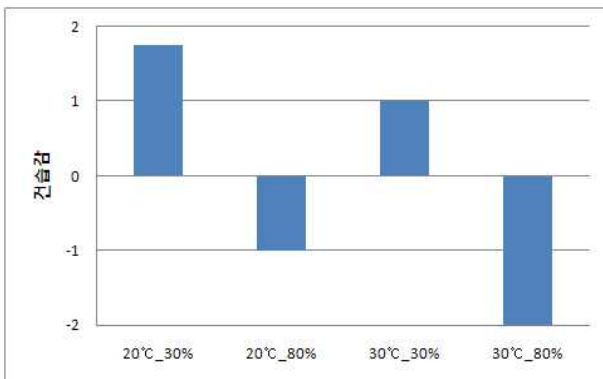


그림 11. 수면 후 건습감

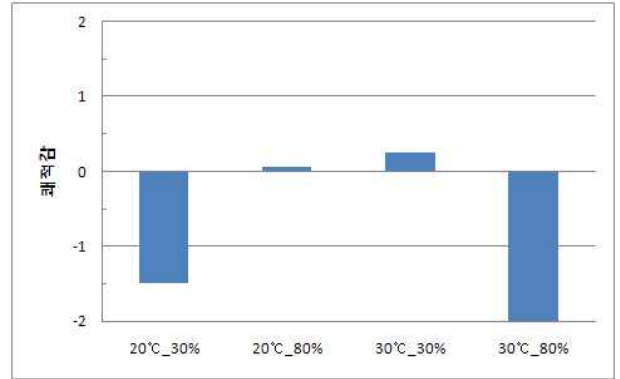


그림 12. 수면 후 쾌적감

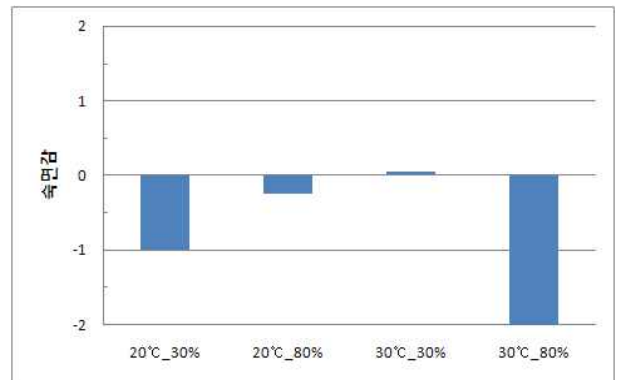


그림 13. 수면 후 숙면감

6. 결론

본 연구는 수면시 실내온도 및 습도조건에 따라 인체로부터 발생되는 이산화탄소(CO₂)의 농도변화와 그에 따른 피험자의 실내 쾌적도에 관한 주관적 반응을 평가하여 쾌적한 수면 환경을 위한 적절한 습도 및 온도 제어를 위한 기초자료를 도출하였다.

1) 실내 CO₂ 농도는 남녀 모두 수면 후 1시간이 경과 한 후부터 실내 기준값(1000 ppm)을 초과하였고, 전반적으로 동일한 실내온도 조건에서 습도가 높은 조건에서 CO₂ 농도가 높게 나타났다.

2) CO₂ 농도값의 증감은 수면 시작 후 오전 2시까지 증가하였고, 고온 고습 조건인 30℃, 80% 조건에서 CO₂ 농도값이 최대 약 500ppm정도 증가한 후 감소하였다. 반면에 저온 저습 조건인 20℃, 30%조건에서는 약 300ppm정도 증가하였다. 따라서 고온고습 조건(30℃, 80%)이 저온저습 조건(20℃, 30%)에 비해 수면시 CO₂ 농도값 증가비율이 약 40%정도 높게 나타났다.

3) 설문조사의 내용으로 볼 때 저온에서는 높은 습도조건이 반면에 고온에서는 낮은 습도조건이 상대적으로 양호한 수면환경을 제공하는 것으로 판단된다.

4) 수면시 습도에 따른 CO₂ 농도값을 고려할 때 CO₂ 농도값이 지속적으로 증가하는 수면 전반기와 이후 감소하는 수면 후반기로 구분하여 침실 환기를 제어하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2009학년도 동의대학교 연구년 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. 윤성훈, 공동주택에서의 실내환경의 질 평가에 관한 연구, 한국실내디자인학회 논문집, 2009
2. 조성희 외 1명, 공동주택의 건강성능 지표개발에 관한 연구, 한국주거학회 학술발표대회 논문집, 2010
3. 민병수, 공동주택의 실내공기질 조사 및 개선방안에 관한 연구, 경기대학교 박사학위 논문, pp.71 - pp.79, 2005
4. 최석용 외 2명, 환기량 변화에 따른 신축공동주택의 실내 공기질 개선효과 검토, 설비공학논문집, 2006
5. 안태경, 아파트의 최소필요환기횟수 산정에 관한 연구, 대한건설학회 논문집 21권, 2005
6. 신철웅 외 2명, 공동주택에서 간헐환기 운전에 따른 실내 공기질 개선효과에 관한 연구, 한국건축친환경설비학회, 2010
7. 김동규 외 2명, 공동주택에서 취침 시 실내공기환경 평가에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 2007
8. 김세환 외 2명, 취침 시 환기횟수에 따른 CO₂ 피크치 제어에 관한 연구, 설비공학회 논문집, 2009
9. 김민희 외 3명, 주택 침실의 수면환경과 ApneaLink Test를 통한 폐쇄성 수면 무호흡 증후군의 관계에 관한 연구, 한국생활환경학회지, 2008
10. 리나 외 3명, 공동주택내 이산화탄소 농도의 경시변화에 관한 사례조사, 한국생태환경건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 2009
11. Fanger, P.O, The Philosophy Behind Ventilation Past, Present and Future, Proceedings in Indoor Air'96, 1996, Vol.4.
12. 김동규 외 2명, 수면시 바닥표면온도에 따른 적정 환기량에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 2009
13. 금중수 외, 건축환경공학, 2004, 시그마프레스, pp.103-106
14. 강두희, 생리학 개정4판, 1992, 신광출판사, pp.9.1-9.23

투고(접수)일자: 2010년 12월 20일

심사일자: 2010년 12월 21일

게재 확정일자: 2011년 5월 24일