

수면시 바닥표면온도에 따른 적정 환기량에 관한 연구

A Study on the Proper Quantity of Ventilation through Changing Floor Temperature in Sleeping

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

Abstract

Modern people are spending most of time in interior area. Indoor air environmental problem is one of the most effective factors influenceable to human health. Furthermore, saving energy and making ventilation system for pleasant indoor environment are necessary when it is faced shortage of energy over the world.

In our country's case, it is already imposed that required quantity of air ventilation in buildings is 0.7 times per hour on "The regulation on building engineering system". As on the rise of the interests about Indoor air environment, Heat and Carbon dioxide emissions from User's metabolism, activity, furniture, and construction materials etc. could be the causes of Indoor air pollution. If these materials stays in Indoor air for so long, it could directly influence the user's health condition with a disease. As of building's sterilization improved that raised more mechanical ventilation. It also leads much energy waste in a period of high price of fossil fuel. Therefore, the way that saves energy and effective control of indoor ventilation is urgently needed. So, this study places the purpose on validating volume of indoor ventilation and user's comfortable degree by comparison CO2 emission rate through changing floor temperature.

키워드 : 이산화탄소, 환기횟수, 바닥 복사난방, 쾌적성

Keywords : Carbon dioxide, Ventilation frequency, Radiant floor heating, Comfort

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

바닥 복사난방은 우리나라의 전통적인 난방방식으로서 '온돌'이라는 형태로 오랜 세월 동안 변형, 발전하면서 우리의 주거생활과 건축양식에 많은 영향을 미쳐온 난방형태이다. 바닥난방은 실내상하의 온도 차이가 적고, 실내의 기류 및 복사열 분포가 균일하며, 인체에 두한족열(頭寒足熱)의 온열감을 제거하기 때문에 쾌적성이 우수한 것으로 알려져 있다. 또한 바닥의 더운 공기가 대류 하여 건조해지는 대류난방이나 온풍난방과는 달리 바닥 복사난방은 공기의 대류에 의한 난방이 아니므로 먼지·세균 등을 확산시키지 않는다. 이러한 이유로 바닥난방 방식이 많이 사용하고 있다.¹⁾

대기오염의 심각성과 더불어 실내 공기환경에 관한 관심이 높아지고 있다. 실내에서 재실자의 신진대사나 활동, 각종 기기나 건축자재, 마감재료, 가구 등으로 부터 방출되는 열이나 CO₂, 먼지 등이 실내공기의 오염 원인이 되기도 한다. 이러한 물질이 실내공기에 정제되어 있

다면, 직접적으로 재실자의 건강에 악영향을 미친다. 더욱이, 최근 국내에서는 부지 부족현상과 조망권에 대한 인식변화로 인하여 초고층 공동주택의 주거유형이 보편화되면서 건축물의 기밀화, 첨단화가 빠르게 진행되고 있는 추세이다. 이러한 영향으로 인해 실내 공기질을 유지하기 위해 기계적 환기를 할 수 밖에 없게 되었다.²⁾

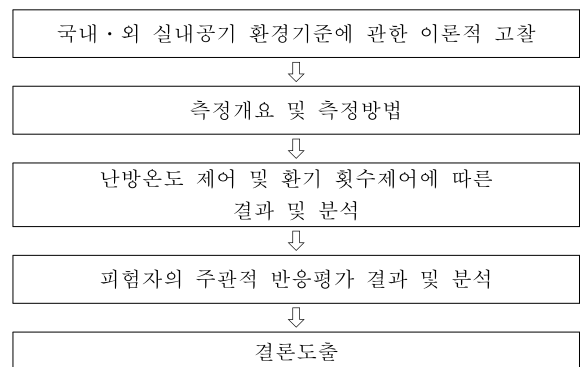


그림 1. 연구진행방법

이에 본 연구는 현재 주거용 건축물에서 가장 널리 사용되고 있는 바닥복사 난방방식의 난방온도에 따라 인체로부터 방출되는 이산화탄소(CO₂)의 농도변화와 그에 따

* 부경대학교 냉동공조공학과 기금교수 (arckim10@naver.com)

** 동의대학교 건축설비공학과 교수 (slee@deu.ac.kr)

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

른 피험자의 실내 쾌적도에 관한 주관적 반응을 평가하여 실내적정 환기량을 검토하였다.

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구에서는 주거용 건축물에서 사람이 가장 오래 머무는 시간이 수면시간이라 가정하고, 실제 수면환경과 같은 환경 챔버 내에서 바닥복사 난방방식을 가정하였다. 피험자는 성인 남녀 대학생 각각 2인씩하고, 1회 실험시 피험자 1인이 환경챔버에서 수면을 취하였다. 이때 바닥표면온도를 난방여부에 따라 18℃와 35℃로 제어하고, 실내환기 횟수는 취침 시 최소필요 기준 환기량인 0.7회/h 와 0.4회/h로 제어하여 이산화탄소 농도변화를 조사하였다. 수면실험 종료 후, 수면의 질에 대하여 피험자의 주관적 반응평가를 실시하여 쾌적성의 측면에서 환기횟수에 대한 적정여부를 검토하였다. 본 연구의 연구 진행 방법 개요는 그림1에 나타내었다.

2. 기존 연구 동향

대한주택공사³⁾에 의하면 바닥복사난방 방식의 경우 가장 불만족스러운 온도 요소는 습도감으로 나타났고, 온열감과 쾌적감, 바닥표면온도에 대한 만족도는 보통이상의 만족도를 보이고 있었다. 그리고 겨울철 실내환경에 대한 문제점으로는 실내공기가 건조하다는 것이 가장 높은 비율을 차지하였으며, 그 밖에도 온도조절의 어려움과 탁한 실내공기, 낮은 바닥온도 등이 지적되었다. 더욱이 거주자들은 실온과 바닥이 쾌적하게 조성될 수 있는 조건으로 “시원한 실온과 따뜻한 바닥”에 대해 가장 많이 선호하고 있는 것으로 파악되었다. 실내 열환경 개선을 위한 거주자들의 요구사항 중 높은 빈도를 보인 사항은

표 1. 온도에 따른 감각도

온도	감각도
25	차가움
30	미지근함
40~50	따뜻함(적당)
60	가장 따뜻하고 참을성 있음
80	오래 손댈 수 없음.

실내공기의 건조함과 미지근한 바닥온도를 해소하는 것이었다.

안⁴⁾에 의하면 ASHRAE Standard에서 제시하였던 수치는 공간 규모가 큰 미국의 최소기준이 될 수 있으나 주거의 형태와 규모가 틀린 국내의 경우 새로운 적정 환기량을 검토할 필요성을 제시하였다. 그리고 실내의 필요 환기량을 산정하는데 대기의 오염도가 구역별로 차이가 있어 이를 기존의 문헌에 제시되어 있는 이산화탄소를 일률적으로 적용하면 구역에 맞는 최적의 수치를 제시하는것에 문제가 될 수 있다 제시하였다. 또한, 아파트 실내의 최소필요환기횟수를 산출하기 위한 계산식에서 다루어져야할 변수 중 하나인 외부 이산화탄소를 측정하였

다. 그 측정값을 측정지역 공동주택의 실내에서 요구되는 최소필요환기횟수를 제시하였다.

대한주택공사⁵⁾에 의하면 우리의 온열환경적 특성상 미국계통이나 일본보다는 바닥표면의 온도가 높아야만 쾌적감을 느낀다고 하였다. 한국 동력 자원연구소의 조사결과 한국의 복사난방 평균온도는 32.4~44.3℃로, 한양대 대학원의 경우 30.6~38.8℃로 나타났으며 이 결과값 들의 평균값을 구해보면 35℃로 나타났다. 그 외에 다음의 표1과 같이 복사난방 표면온도에서 느껴지는 감각도에 대해 연구가 이루어졌다. 그 결과 한국인은 40~50℃에서 따뜻함을 느낄 수 있다고 제시하였다.

3. 실험 개요

3.1 실험방법

실험은 D대학교 공과대학 공조연구실내 환경챔버에서 실시하였다. 실험기간은 2009년 4월 3일부터 4월 20일까지 총18일간에 걸쳐 진행 되었으며, 피험자는 성인 남녀 대학생(남: 2인, 여: 2인) 4명을 대상으로 하였다. 외기 도입시 외부 날씨의 영향을 배제하기 위해 우천시 또는 기상악화시에는 측정하지 않았다. 실험에 사용된 측정기기는 표 2와 같다. 수면 장소는 외부로부터의 침기량이 없는 환경챔버이고, 도입외기의 CO₂농도는 360~460ppm의 범위로 나타났다. 실내도입 외기의 덕트 설치위치는 외기를 균일하게 공급하기 위해 실내 중앙 천장에 배치하였다. 그림 2에 실험챔버의 개략도를 나타냈다.

표 2. 측정기기

기기	모델명
	YOKOGAWA HR 2500E
	온도데이터 수집
	TSI 8386
	풍속 및 풍량 측정
	TSI 8731(Q-CHECK)
	CO 및 CO ₂ 측정

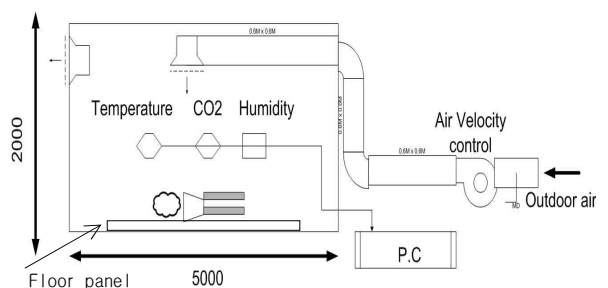


그림 2. 실험 챔버의 개략도

표 3. 측정조건

구분	내용
실험장소	부산 D대학교 공과대학 공조연구실 환경챔버
실의체적	24.7m ³ (5m X 2.47m X 2m)
피험자	실험자 1 : 여 (키 158cm, 몸무게 53kg) 실험자 2 : 남 (키 171cm, 몸무게 85kg) 실험자 3 : 여 (키 160cm, 몸무게 48kg) 실험자 4 : 남 (키 171cm, 몸무게 70kg)
실험기간	2009년 4월 3일 ~ 2009년 4월 20일
실험시간	22: 00~ 06: 00 (총 18회, 1시간씩 측정)
실험조건	바닥 표면온도 : 18℃, 35℃ 환기횟수 : 0.7회/h , 0.4회/h 도입외기 CO ₂ 농도(ppm) : 360~460 피험자들은 동일한 의복착용 상태로 취침 2시간 전부터 금식, 금주, 금연하여 측정참여

또한 피험자는 겨울철 일반적인 침구와 의복을 착용한 상태로 실험에 참가하였다. 바닥패널을 이용하여 바닥표면온도를 난방 여부에 따라 18℃와 35℃로 설정하였다. 침실의 소요면적은 현재 건축계획법에서 1인당 25m³로 제시되어 있으며 환경챔버 내 실의 체적이 24.7m³이므로 이를 만족하며, 실험 측정조건은 표 3과 같다. 실험 종료 후 피험자에게 환경챔버내 수면질에 관한 주관적 반응평가를 실시하였다.

3.2 환기횟수 및 바닥온도

실험의 제어요소 중 하나인 환기횟수(0.7회/h, 0.4회/h)는 측정된 평균 풍속값과 챔버 체적을 이용하여 식 (1) 및 (2)를 사용하여 구하였다. 풍속 측정은 TAB(Testing, Adjusting and Balancing)기준 원형덕트 직경 길이에 따른 동일면적 분할법⁴⁾을 적용하여 풍속을 측정하여 표 4에 나타내었다.

$$Q = n \times V \dots\dots\dots(1)$$

- Q : 풍량[m³/h]
- n : 환기횟수[회/h]
- V : 실의 체적[m³]

$$v = \frac{Q}{A} \times 3600 \dots\dots\dots(2)$$

- A : 덕트 단면적[m²]
- v : 풍속[m/s]

바닥 난방온도 측정은 그림 3과 같이 실험실의 바닥을 9등분하여 9개소에 온도측정센서를 부착하여 그 평균값을 사용하였다. 챔버 내부 CO₂농도 측정은 바닥표면온도에 따라 인체로부터 발생하는 농도를 측정하기 위해 인체 호흡선 근처에서 측정하였다.

표 4. 풍속에 따른 환기횟수 산정방법

풍속(m/s)	환기횟수(회/h)
0.6	0.4
1.1	0.7

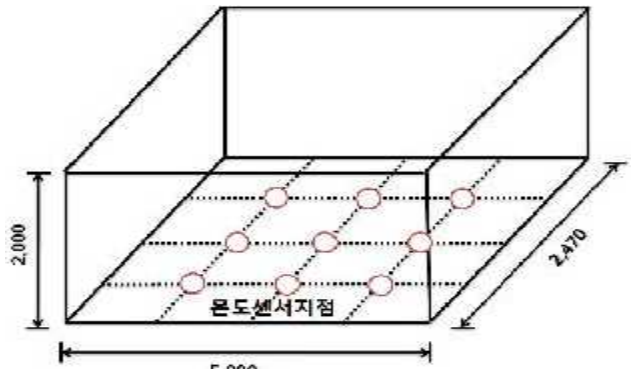


그림 3. 온도측정센서

4. 실험결과

4.1 측정결과

환기횟수 0.4회/h와 0.7회/h 두 가지 조건에서 바닥난방을 하지 않은 경우 18℃와 난방을 하는 경우 바닥표면온도 35℃ 일 때, 피험자로부터 측정된 시간대별 CO₂농도의 경시변화를 분석하였다.

그림 4와 그림 5는 실험에 참가한 모든 피험자 4명 각 개인에 대한 결과로서 환기횟수 0.4회/h일 경우 피험자별로 발생하는 CO₂농도의 그래프이다. CO₂농도는 취침과 더불어 지속적으로 증가되었고 오전2시에 최고치가 나타났으며, 그 이후로 점차 감소하는 것을 볼 수 있었다.

난방을 하지 않는 경우(18℃) CO₂농도는 980~1100ppm사이에서 나타났으며, 난방을 한 경우(35℃)의 CO₂농도는 1080~1200ppm 범위에서 나타났다. 이 결과값을 통해 난방시 바닥표면온도를 높일 경우 피험자들의 호흡량에 변화가 있음을 추정할 수 있지만, CO₂농도 측정위치가 인체 호흡선 근처이므로 이러한 결과를 나타내었다고 추정된다. 그리고 전체적으로 환기횟수 0.4회/h 일 때 바닥표면온도를 18℃로 하였을 경우와 35℃로 하였을 경우 모두 공동주택의 실내 CO₂ 농도 기준치인 1000ppm을 초과하였다.

그림 6과 그림 7은 환기횟수 0.7회/h일 경우 피험자별로 발생하는 CO₂농도이며, 환기횟수 0.4회/h일 경우와 같이 오전 2시에 최고치로 나타났고, 오전 2시 이후로 CO₂농도가 하락되는 경향을 나타냈다. 이러한 경향은 기존 연구⁶에서 CO₂농도가 지속적으로 증가하는 경향과 다른 경향을 나타냈다. 인체 생리현상적으로 볼 때 CO₂농도가 증가하는 것은 호흡이 증가하고, 반대의 경우에는 호흡이 감소한다고 판단할 수 있다⁹. 따라서 수면 초기에 CO₂농도가 증가하는 경향은 심박동수의 증가로 인해 충분한 속면에 들지 못하고 있음을 추정할 수 있다. 반면에 오전 2시 이후 CO₂농도가 감소하는 경향을 나타내는 것은 충분히 속면에 들어갔음을 추정할 수 있다.

따라서 수면의 질을 고려할 때 수면 후 4시간까지는 호흡이 증가하여 CO₂농도가 지속적으로 증가하는 경향이 있으므로 시간에 따라서 환기횟수를 제어할 필요가 있을 것으로 판단되지만, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

수면시 남녀에 따른 CO₂농도 차이를 그림 8에서 그림 11에 나타내었다. 환기횟수 0.4회/h일 경우 바닥표면 온도를 높임에 따라 남성의 경우 50~80ppm정도, 여성의 경우는 30~50ppm정도 CO₂ 배출량의 차이를 나타냈다. 그리고 체중이 많을수록 즉, 몸의 체적이 클수록 CO₂농도가 높게 나타났다. 그러나 통계적으로 유의미한 차(P<0.05)는 나타나지 않았다.

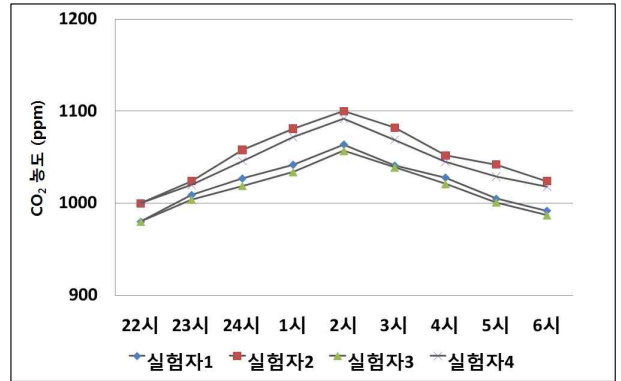


그림 7. 0.7회/h, 난방온도 35°C, CO₂농도

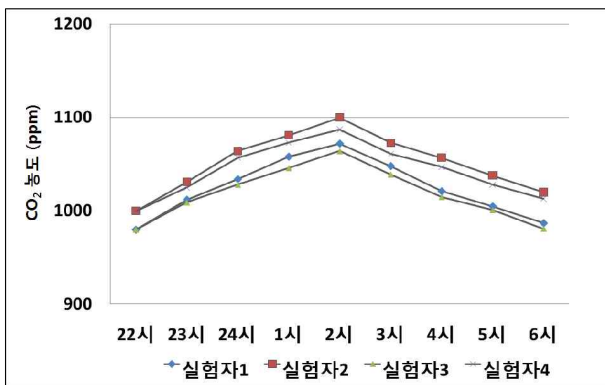


그림 4. 0.4회/h, 난방온도 18°C, CO₂ 농도

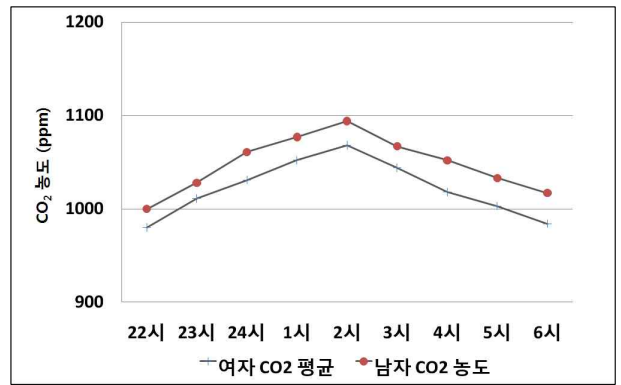


그림 8. 0.4회/h, 난방온도 18°C, 남녀CO₂평균농도

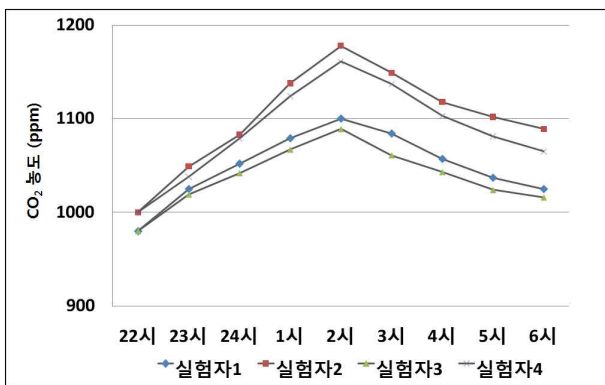


그림 5. 0.4회/h, 난방온도 35°C, CO₂농도

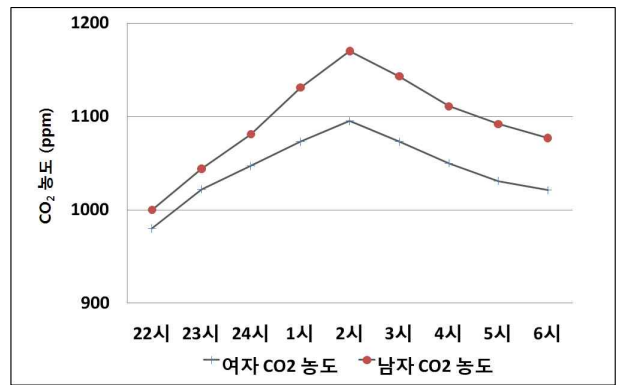


그림 9. 0.4회/h, 난방온도35°C, 남녀CO₂평균농도

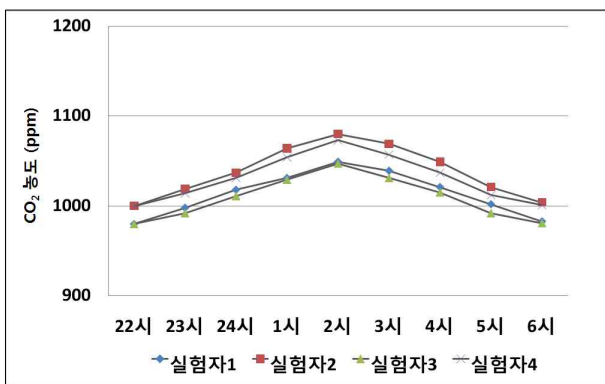


그림 6. 0.7회/h, 난방온도 18°C, CO₂농도

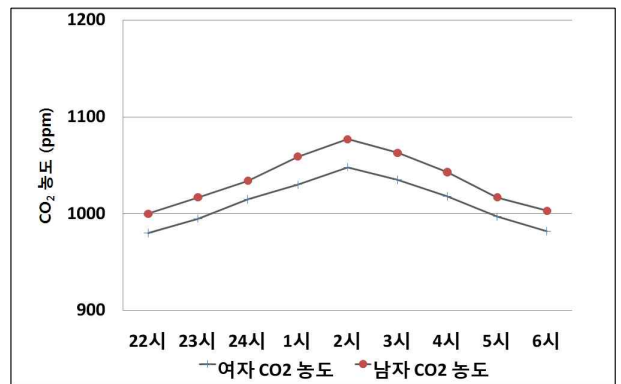


그림 10. 0.7회/h, 난방온도18°C, 남녀CO₂평균농도

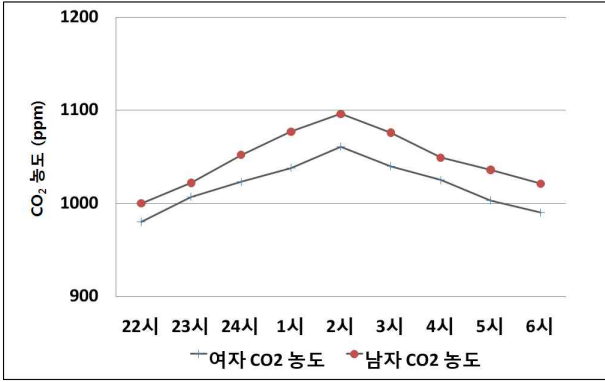


그림 11. 0.7회/h, 난방온도35℃, 남녀CO2평균농도

4.2 주관적 반응조사 결과

실내 취침 후 응답자의 주관적인 반응을 알아보기 위해 다음과 같은 조사를 하였다.

- 질의1) 취침 후 목과 코가 막히거나 불편하지 않았는가?
- 질의2) 취침 후 두통이나 어지러움을 느끼지 않았는가?
- 질의3) 취침 후 전체적인 몸의 상태는 어떠한가?

위의 세 가지 질문의 답변은 아래와 같이 다섯 가지로

표 5. 주관적 반응평가 내용

①	②	③	④	⑤
매우 좋다	좋다	보통이다	좋지 않다	매우 좋지않다

표 6. 목과 코의 막힘과 불편함에 대한 답변

환기횟수 (회/h)	온도 (℃)	①	②	③	④	⑤
0.4	18		2	2		
	35		1	1	2	
0.7	18	1	1	2		
	35		2	2		

표 7. 두통 및 어지러움에 대한 답변

환기횟수 (회/h)	온도 (℃)	①	②	③	④	⑤
0.4	18		2	2		
	35		1	2	1	
0.7	18	1	1	2		
	35		1	2	1	

표 8. 전반적인 몸 상태에 대한 답변

환기횟수 (회/h)	온도 (℃)	①	②	③	④	⑤
0.4	18		2	2		
	35			2	2	
0.7	18		2	2		
	35		2	2		

구성하였다. 본 설문조사 질의1을 통해 피험자가 느끼는 쾌적도는 습도의 영향을 나타냈으며 온도가 높을수록 코와 목이 막히거나 답답함을 느끼는 것으로 나타났으며 질의2의 경우는 바닥표면온도를 높일 경우 피험자가 두통이나 어지러움을 느끼는 것은 CO₂의 농도가 영향을 많이 미친다고 판단되지만, 온도적인 영향도 있는 것으로 판단된다. 그리고 질의3의 평가서에서 알 수 있듯이 환기횟수 0.4/h에서 바닥표면온도를 높일 경우 불쾌감이 증가함을 알 수 있으나 0.7/h의 경우 바닥표면온도를 높여도 피험자의 쾌적성에 주는 영향은 적음을 알 수 있다.

이상의 설문 조사결과를 종합해 보면 온도가 높고, 환기횟수가 적게 이루어진다면 코와 목의 막힘 증상과 답답한 상태가 유발되며, 온도가 낮고 환기횟수를 늘릴 경우 재실자는 취침 후 몸 상태가 좀 더 개운하다고 느꼈으며 취침 시에도 좀 더 안정된 수면을 취할 수 있었다.

5. 결론

본 연구는 현재 주거용 건축물에서 가장 널리 사용되고 있는 바닥복사 난방방식의 바닥표면온도에 따라 방출되는 이산화탄소(CO₂)의 농도변화와 그에 따른 피험자의 실내 쾌적도에 관한 주관적 반응을 평가하여 실내적정 환기량을 검토하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 바닥표면온도의 변화는 재실자의 호흡량에 영향을 주는 것으로 나타났다. 실내발생 CO₂ 농도는 18℃에서는 980~1100ppm사이에서 나타났으며, 35℃로 하였을 때는 CO₂농도가 1080~1200ppm사이에서 나타났다.

2) 환기횟수 0.4/h에서 바닥표면온도를 높일 경우 불쾌감이 증가함을 알 수 있었으나, 0.7/h의 경우 바닥표면온도를 높여도 피험자의 쾌적성에는 지장을 주지 않았음을 알 수 있었다.

3) 환기횟수별 CO₂농도의 경시변화를 고려할 때 수면 후 4시간까지는 호흡이 증가하여 CO₂농도가 지속적으로 증가하므로 시간에 따라서 환기횟수를 제어할 필요가 있을 것으로 판단된다.

4) 취침 후 CO₂농도가 증가하다고 수면 중반이후 감소하는 경시변화에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

후 기

본 연구는 2009년도 동의대학교 교내연구비(2009AA145) 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 최석용 외 2명, 환기량 변화에 따른 신축공동주택의 실내 공기질 개선효과 검토, 설비공학논문집, 2006
2. 안태경, 아파트의 최소필요환기횟수 산정에 관한 연구, 대한건설학회 논문집 21권, 2005
3. 대한주택공사, 공동주택 바닥난방시스템 개발 및 실용화연구

4. 안태경, 아파트의 최소필요환기횟수 산정에 관한 연구, 대한건설학회 논문집 21권, 2005
5. 대한주택공사, 온돌건식화방안에 관한 연구, 1986
6. 최윤정 외 2명, 바닥난방 복사열에 의한 온열감 차이에 대한 실험연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 2007
7. 김진호 외 2명, 실의 평균복사온도 분포에 관한 연구, 대한건설학회 논문집, 2000
8. 민병수, 공동주택의 실내공기질 조사 및 개선방안에 관한 연구, 경기대학교 박사학위 논문, pp.71-pp.79, 2005
9. 다카하시 나가오, 신체의 소사전, 전파과학사, pp.88-89, 1993

투고(접수)일자: 2009년 12월 3일

심사일자: 2009년 12월 9일

게재 확정일자: 2010년 2월 5일