



바닥온도와 실내 환기에 따른 인체반응 및 실내공기질 분석

An Analysis of Human Reaction & IAQ Analysis by Changing the Floor Temperature & Ventilation

이지원* · 진경일** · 김세환***

Lee, Ji-Weon* · Chin, Kyung-Il** · Kim, Se-Hwan***

* Dept. of Building System Engineering, Dong-Eui Univ., South Korea (ezhione@gmail.com)

** Prof. Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National Univ., South Korea (classic9@hanbat.ac.kr)

***Corresponding author, Prof. Dept. of Building System Engineering, Dong-Eui Univ., South Korea (ksh@deu.ac.kr)

ABSTRACT

Recently many buildings are airtight, deterioration takes the high stage. As this room ventilation is increasingly difficult, the importance of indoor air was emphasized. And Got a few provisions on the indoor ventilation, the building is used for other purposes also requires a lot of careful research. In this study, consisting of floor heating ventilation in the room and wants to know the impact on the human body react with the carbon dioxide concentration in the indoor air were investigated PMV. We have get the data through the experimental study like this. It can be inferred correlations of ventilation and temperature according to human comfort that you should consider when using the work of residential buildings in accordance with the changing social conditions and social. It is also determined that in the future through additional experiments related data can be established basic experimental data.

KEYWORD

바닥복사난방
예상온열감
실내공기질
환기횟수
인체온도

Radiant floor heating
Predicted mean vote
Indoor Air Quality (IAQ)
Ventilation frequency
Body temperature

ACCEPTANCE INFO

Received January 19, 2015

Final revision received February 16, 2015

Accepted February 23, 2015

© 2015 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

에너지 문제가 심각해지면서 건축물의 고기밀, 고단열화가 일반적인 현상이 되었고, 이는 환기가 어려워 실내 공기질이 악화되기 쉽다는 문제점이 있다. 이러한 상황에서 정부에서는 쾌적한 실내 공기질의 유지를 위하여 자연환기를 비롯하여 기계 환기 설비의 설치를 법적으로 의무화하기에 이르르게 되었다. 최근 가정어린이집, 쇼핑몰, 오피스텔 사무실 등 사회세태의 변화로 주거용 건물형태를 띤 업무시설이나 다중이용시설이 생겨나기도 하여, 환기 문제는 업무용 빌딩뿐만 아니라 다양한 건물에서 중요한 이슈로 등장하게 되었다.

주거용 건물에서 환기에 대한 노력은 다방면에서 이루어지고 있으나, 주거용이 아닌 다른 용도로 사용되고 있는 주거용 건물에서는 실내 환기에 대한 규정이나 인식이 모호하고, 이에 대한 연구가 부족하다. 따라서 본 연구에서는 바닥난방 시 환기의 유무가 실내 공기질(CO₂)에 미치는 영향과 이때 PMV(예상 평균 온열감) 조사를 함께 실시하여 환기가 실내 쾌적에 어떤 영향을 주는지 연구하고자 한다. 이러한 실험연구를 통하여 주거용 건물의 형태를 이용한 다양한 형태

의 환경조건에서 건강한 실내 공기환경을 유지할 수 있도록 환기에 대한 기초적 데이터 마련에 그 목적이 있다.

1.2. 연구 방법 및 범위

일반적으로 실내 공기질을 판단하기 위해서는 각종 오염물질의 농도를 측정하여 기준값을 초과할 때 오염공기로 판단한다. 그러나 우리가 공기의 쾌적감을 판단하기 위해서는 오염농도 수치도 중요하지만 실제 재실자가 느끼는 온열감 또한 큰 영향을 준다. 이는 난방이 되고 환기가 적은 경우에 더욱 그러하며, 이에 대한 객관적 자료 수집이 필요하다. 따라서 바닥난방이 이루어지는 실내에서 환기가 실내 공기에 미치는 정도에 따라 인체의 반응을 살핌으로서 상관관계를 파악하는 기초적 실험자료가 될 수 있으리라 판단된다. 이러한 목적 달성의 위하여 Fig. 1과 같은 순서로 연구가 진행되었다.

다만, 본 연구의 실내공기환경에 대한 실험 범위로는 실내 공기질의 객관적 기준인 CO₂ 농도만을 대상으로 하였고, 이외 다른 오염척도를 위한 물질에 대하여는 제외하였다. 본 연구에서 측정을 시행한 실험실 챔버의 경우 실내에서 발생하는 별다른 유기화합물이나 분진 혹은 그 밖에 다양한 오염물질이 발생되지 않는 방으로 D대학교 공조연구실내에 설치된 환경 챔버라는 제한된 공간에서 실험이 이루어졌기 때문이다. 그리고 난방방식에서도 다른 난방방식이나 침기 혹

은 자연환기에 대하여는 고려하지 않았다.

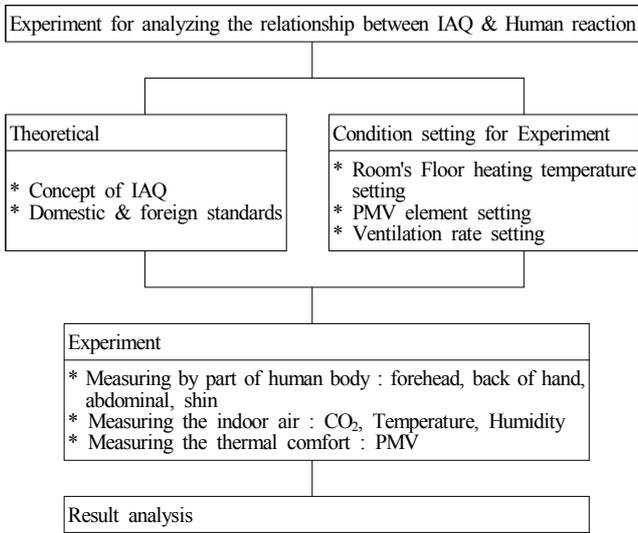


Fig. 1 Flow chart of this study

2. 이론적 고찰

2.1. 실내공기질(IAQ)의 정의

실내공기질이란 “실내 공간 거주자의 건강과 평안에 영향을 주는 공기의 질”이라고 정의할 수 있다. 이때 건강이란 WHO의 정의에 따르면 “단순히 질병이 없는 상태가 아닌 육체적, 정신적 및 사회적인 평안함”을 의미한다. 현대인들은 하루 중 80% 이상을 건물 내에서 생활하고 있음을 고려할 때, 쾌적하고 건강한 실내공기질의 확보는 매우 중요하다고 볼 수 있다.1) 반면, 에너지 절약을 위한 설계 및 시공에 따른 건물의 기밀화와 단열 강화 따른 환기부족 등으로 실내공기 관리 여건이 점점 더 악화되고 있다.

실내 공기의 오염은 외부 공기가 실내로 유입된 결과에 의한 것이거나, 건축자재, 건물의 관리 또는 실내에서의 인간의 활동에 의하여 발생한다. 실내 공기 오염 물질에는 분진(TSP), 흡연, 중금속, 이산화질소(NO₂), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 라돈(Radon), 포름알데히드(Formaldehyde), 석면(Asbestos), 미생물(Microorganism), 휘발성유기화합물(VOCs), 악취(Odor) 등이 있으며, 외부 공기의 상태, 환기를, 오염원(Source)의 종류 및 차지하는 면적, 실내에서의 미세기후(Microclimate)등의 제 요인이 작용할 수 있다.

2.2. 이산화탄소 (CO₂)

이산화탄소(CO₂)는 무색, 무미, 무취의 기체로 일반적으로 대기 중에 0.04% 정도 포함하고 있다. 탄소를 함유하는 물질의 연소, 생물의 호흡, 화산의 분화 등에 의해 소비되기 때문에 거의 일정량을 유지하고 있다. 사람의 호흡에 의해 주로 배출되고 연료의 연소 시 발생되는 물질로서 실내 환기조건을 CO₂를 기준으로 우리나라와 일본의 경우 1000PPM을 기준으로 하고 있다.2)(Table 1)

CO₂는 실내공간에서 농도가 증가하면 호흡에 필요한 산소의 양이 부족하게 되어 일산화탄소와 함께 중요한 실내오염물질 중의 하나로 취급되며 실내 공기질의 오염 척도로 이용된다.(Table 2)

최근 실내에서 발생하는 각종 오염에 대한 인체의 영향이 과학적으로 점차 규명되면서 거주환경의 실내공기질에 대한 규정 또는 규제가 선진국을 중심으로 지속적으로 진행되고 있다.(Table 3)

Table 1. Indoor carbon dioxide per country basis

country	Indoor carbon dioxide per country basis
USA	1000 ppm (ASHRAE)
Europe	920 ppm (Europe)
Japan	1000 ppm (Japanese building codes)

Table 2. Effect of carbon dioxide on the human body

CO ₂ (PPM)	Symptoms	Remark
350-450	Atmospheric concentration	Outdoor Air
1,000	Ventilation Standards	Air Quality Management Standards
1,500	Mild metabolic disorders, Decreased ability to work, Poor concentration, Mild headache, Drowsiness	Shortage and imbalance of oxygen
4,000	Tightness in the chest, Dyspnoea, headache	
7,000~	Normal activity difficulty	

Table 3. Indoor Air Quality Criteria

Variable	Public Health Law	Building
Total suspended solids	0.15 mg/m ³	same
Carbon monoxide	10 ppm for 8 hours	same
Carbon dioxide	1000 ppm for 8 hours	same
Temperature	17-28°C	Unspecified
Relative humidity	40-70%	same
Illuminance	100 lux	Unspecified

2.3. 바닥 복사난방과 실내온도설정

1) 바닥 복사난방

복사난방이란 바닥에 온수나 증기를 통하는 관을 매설하여 바닥을 방열면으로서 사용하며 복사열에 의해 실내를 따뜻하게 하는 난방 방식이다. 이때 대류식은 70~90°C의 온수를, 복사방식에서는 35~50°C의 온수가 사용된다. 복사 난방에서는 방열면에서의 복사에 의한 방열량이 전체의 50~70%에 미치는 반면 방열기를 사용하는 대류식 난방에서는 방열량의 70~80%가 대류열에 의한 것으로 쾌감도의 면에서 복사 난방이 뛰어나다. 복사난방의 특징으로서는 장점 및 단점으로 나타내었다. 장점으로는 ① 방열기가 없으므로 바닥면의 이용도가 높다. ② 쾌감도와 온도 분포가 좋아서 천정이 높은 방에서 적합하다. ③ 실내 평균 온도가 낮기 때문에 같은 방열량에 대해서 손실 열량이 적다. ④ 공기의 대류가 적으므로 바닥면의 먼지가 상승하지 않는다. 단점으로는 ① 배관 시공이나 수리가 곤란하고 설비비용이 비싸다. ② 외기 온도의 급 변화에 따른 온도 조절이 곤란하다. ③ 방열면의 뒷면으로부터의 열 손실을 방지하는 구조로 하여야만 한다.3)

2) 실내온도설정

2009 ASHRAE Handbook-Fundamentals(9.12)에 따르면 겨울철과

1) 건축계획 본문 중 제7장 실내공기환경과 환기 (p.529)

2) 네이버백과 식품과학기술대사전

3) 네이버백과 식품과학기술대사전

여름철 1.0clo(1clo=0.155 m²°C/W=0.18 m²h°C/kcal⁴⁾)와 0.5clo 정도의 의복을 착용한 자가 0.2m/s이하의 기류에 좌식 생활을 하는 동안의 수용 가능한 습도와 작용온도(OT, operative temperature)에 관한 쾌적 범위를 제시한다. 이에 따르면 상대습도 40~60%로 가정할 때 0.5clo 정도의 의복을 착용한 경우 기준 쾌적 범위로 약 24~27°C로 제시한다. 또한 겨울철 바닥난방 시 MRT(Mean Radiant Temperature⁵⁾)를 고려할 때 실용적으로는 주위 벽 각부의 표면온도를 평균한 것을 사용하고, 복사열에 대한 쾌감의 지표로 삼는 것으로서 일반적으로 17~21°C 정도로 해야 한다. 실내의 설계(설정)온도는 재실자의 쾌적조건을 만족시키기 위해 일반적으로 적용할 수 있는 온도로, 난방 시스템을 가동 시켰을 때 유지하고자 하는 목표온도라 할 수 있다.

상기와 같은 이론에 의하여 본 실험의 경우 주거공간과 같이 재실자가 일반적으로 착의하는 가벼운 의복상태임을 감안하여, 설정 실온을 두 가지로 나누어 17~21°C, 24~27°C 유지시키고자 하였다. 실험용 챔버는 외기의 영향을 받지 않는 공조 공간 내에 설치된 공간이므로 외기온의 영향이 없도록 설치한 방이므로 실험 및 측정의 대상에서 제외하였다. 또한 상기의 온도를 각각 유지하기 위하여 바닥 난방 설정온도를 20°C, 30°C로 설정하였다. 이는 예상 실내온도의 유지를 위하여 실내 환기가 이루어지지 않을 때, 설정온도 가동 후 측정된 실내온도를 토대로 설정한 것이다. 재실자가 아무도 없는 경우 난방 설정온도를 20°C로 설정한 경우 약 22°C, 난방설정온도를 30°C로 설정 시 실내온도가 약 27°C로 측정되었다. 이는 온도 설정 후 약 한 시간 가량 지났을 때의 온도이며, 이후 재실자가 들어왔을 때 실온이 각각 약 21°C(±1°C), 26°C(±0.8°C)가 유지된 것을 확인할 수 있었다.

2.4. PMV (Predicted Mean Vote)

2006년 발표한 환경부의 “다중이용시설 등 실내공기질 관리법”에서 실내공기질을 10가지 오염물질(미세먼지(PM10), CO₂, CO, NO₂, O₃, 포름알데하이드 (HCHO), 총부유세균, Radon(Rn), 휘발성유기화합물(VOCs), 석면)의 농도가 기준값 이하인 공기를 오염공기로 지칭하였다. 그러나 실제 우리가 느끼는 공기는 오히려 이런 오염물질의 농도가 아닌 열적 쾌적성(thermal comfort)에 크게 영향을 받는다. 따라서 우수한 실내공기의 유지를 위해서는 오염물질 뿐 아니라 열적 쾌적성에 관하여도 반드시 고려해야 한다. 열적 쾌적성은 실내온도, 습도, 기류속도, 복사온도의 외부환경과 우리가 입고 있는 의복과 신진대사에 따른 인체 발열량 사이에 적절한 평형이 이루어졌을 때 느끼는 쾌적한 상태를 말한다. 이러한 열적쾌적성을 학문적으로 연구한 Fanger(1982)는 이를 수치화하여 이것을 PMV라고 하였다. PMV = 예상평균온열감, 예상온열감반응, 예측평균투표, 평균예열온열수치, 온열지표 즉 -3(매우 춥다)에서 +3(매우 덥다)까지로 사람들의 온열냉감을 분류하는 것이다.

3. 실험범위 및 방법

4) 착용한 의복의 열절연성(열저항)을 나타내는 단위로, 1 clo는 기온 21°C, 상대습도 50%, 기류 5cm/s 이하의 실내에서 인체표면 방열량이 1met의 활동량과 평형되는 착의 상태에서의 피부표면으로부터 착의 표면까지의 열저항값을 말한다.
5) MRT(평균복사온도)란 실내의 어떤 점에 대하여 주위벽에서 방사하는 열량과 똑같은 열량을 방사하는 흑체의 표면온도를 말하며 난방시 특히 복사난방의 평가에 흔히 사용된다.

3.1. 실험범위

본 실험은 부산 D대학교 연구실 내에 설치된 환경 챔버에서 2013년 3월25일~4월5일까지 실험하였고, 12시~20시까지 8시간 동안 이루어졌다. 바닥 난방을 각각 20°C, 30°C로 설정하고 환기를 0회 실시, 0.7회 실시하여 각 실험 시 1시간마다 서모스탯을 이용한 인체 4곳(이마, 손등, 복부, 정강이)의 온도와 CO₂ 농도, 온도 및 습도를 측정하였다. 측정기기의 사양은 Table 5와 같으며, Fig.3은 측정기구 설치 사진이다.

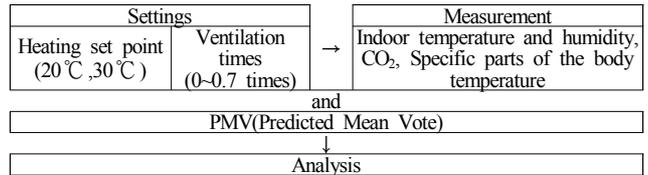


Fig. 2. Experimental flow chart

Table 4. Measurement conditions

Division	Contents
Place	Laboratory environmental conditioning chamber D.Univ
Size of the room	24.7m ³ (5m x 2.47m x 2m)
Panel Size	255cm x 170cm
Subject	Man A - 184cm Weight 65kg Man B - 181cm Weight 70kg Man C - 175cm Weight 73kg
Period	2013. 03.25 ~ 2013. 04.05
Time interval	12:00 ~ 20:00 (Measured every hour)

Table 5. Measuring devices

Division	Model	Specifications
Data Logger	MA 5690-2	System Accuracy : 0.02%, ±1digit
CO ₂ Measuring instrument	TSI 8731	<CO ₂ concentration> 1. Sensor type : Non-Dispersive Infrared 2. Range : 0 - 5000 ppm
Humidity detector	SK-90TRH	1. Temperature: -10~60°C 2. Measuring range: Dry bulb temperature 0~60°C Wet bulb temperature 0~60°C 3. Measurement Accuracy, Temperature ±0.5°C, Humidity ±2%RH
Ear thermometer	BT-020	1. Measurement Method: Measured by detecting infrared rays radiated from the eardrum 2. Measuring range : 0~100°C 3. Accuracy 36°C~39°C : ±0.2°C, Others ±0.3°C



Fig. 3. Equipment Installation

3.2. 실험방법 및 설정

1) 온열환경설정

바닥온도의 설정조건은 평균을 20°C, 30°C로 설정하고, 실내공기 환경 측정은 법적 기준으로 보는 다중 이용시설 등의 실내 공기질 관리법에 기준을 두고 설정을 하여 예상되는 기준을 적용하였다. 이에

따라 챔버 내에 CO₂ 측정기 및 온습도계를 설치하고, 실험 시작 2시간 전부터 챔버 내 공기를 대기상태로 만들기 위해 플렉시블 덕트 송풍팬을 이용하여 실내공기를 대기와 가장 흡사한 상태로 만든 후 실험을 시작하였다. 실험 시 실내설정온도와 피실험자 입실인원수 변동 때 마다 환기를 0회, 0.7회⁶⁾ 실시하였다.

2) 초기CO₂ 설정

일반적으로 대기중의 이산화탄소 농도는 380ppm을 기준으로 삼고 있으나 대도시 도심지나 주택가의 경우 이 보다 높게 나타나는 것이 일반적이다. 따라서 본 실험에서는 실외 이산화탄소 농도를 값은 500ppm을 가정하여 실험 하였다.

3) 피실험자

챔버의 바닥면적은 5×2.47=12.35m²이며 이는 업무건물 유효공간 내에서 1인당 차지하는 유효면적이 8~12m² 임을 감안할 때 극히 제한된 공간이다. 그러나 주거용 업무공간임을 감안하고, 업무공간의 특성상, 개인별 근무용 비품 및 사무기기의 배치와 동료 간의 동선 확보를 위한 공용공간을 포함하는 하는 것을 고려한다면 이보다 훨씬 적은 공간이 1인당 제공되지만 실제로 1인당 제공되는 공기체적은 조금 여유가 있을 수 있다. 소규모 회사인 경우 밀집도가 높은 사무공간을 배치하기 때문에 본 실험에서는 해당공간에 성인 남성 2명을 배치하였으며, 1인, 2인이 각각 입실하여 실험을 실시하였다. 정확한 실험을 위해 동일한 의복(가벼운 실내복)을 착용하였으며, 2시간 전부터 금식, 금주, 금연하였다. 또한 피실험자가 입실한 8시간동안 측정자는 1시간마다 실내온습도, 대기 중의 CO₂ 농도, 서모스탯을 이용하여 피실험자의 이마, 손등, 복부, 정강이 4곳의 인체 온도를 측정하였다.

4) PMV

Table 6. Comfort rating questionnaire

	Contents
1	How do you feel about the environment around you feel the full current body?
2	What a pleasant sense of feeling in the current body (head, abdomen, back of the hand)?
3	How do you feel about the current lower body feels Comfort (shin)?
4	How do you feel about the thermal comfort condition on your upper body?
5	How do you feel about the thermal comfort condition on the lower body?
6	How do you feel about the current state of the air breathing?

매 실험 실시 때마다 피실험자들에게 실내 온열쾌적감을 알기 위하여, 실내 초기 이산화탄소농도가 약500ppm으로 유지가 되도록 한 다음, 1시간 뒤에 실험자가 앉은 자세를 취했을 때 열적 쾌적성에 대한 PMV를 실시하였다. Table 6은 주관적인 쾌적성 설문 항목을 요약한 것이다.

4. 실험결과 및 분석

4.1. 실내온습도

6) “관련법규(건축물 설비기준에 따른 개정령)에 따라 2006년 2월 13일 이후 신축 또는 리모델링 하는 100세대 이상의 공동주택의 경우 시간당 0.7회 이상의 환기가 이루어질 수 있도록 하여야한다“는 규정을 적용하였음. 현재는 기준이 개정되어 0.5회/h 임.(제11조 (공동주택 및 다중이용시설의 환기설비기준 등) ① 영 제87조제2항의 규정에 따라 신축 또는 리모델링하는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 주택 또는 건축물(이하 "신축공동주택등"이라 한다)은 시간당 0.5회 이상의 환기가 이루어질 수 있도록 자연환기설비 또는 기계환기설비를 설치하여야 한다. <개정 2013.9.2, 2013.12.27>)

바닥 난방의 설정온도가 20℃이고 입실인원이 1명일 때 환기를 하지 않은 경우는 22.2℃에서 시작하여 입실 한 시간가량 지났을 때 온도가 23.5℃로 상승하는 온도 변화 폭을 보이다가 실험시작 후 8시간이 지난 뒤 다시 처음시작 온도가 되었다. 이때 습도는 지속적으로 증가(24%→41%)하였다. 그러나 환기를 시행하였을 때에는 온도가 21.5±2℃로 별다른 특이한 징후 없이 지속적인 온도를 나타냈다. 습도도 역시 28±1%으로 큰 변화 없이 지속적으로 유지되었다. 같은 조건에서 바닥 난방의 설정온도가 30℃이고 환기를 하지 않은 경우 24.5℃에서 점차적으로 온도가 증가하는 추세를 나타냈고 실험 8시간 후 25.7℃까지 상승하였다. 습도 역시 점차적으로 증가하는 양상을 나타냈고 그 변화 폭이 실험 시작 때에는 27%에서 종료 때 40%를 나타내어 크게 변화하는 것을 알 수 있다. 환기를 실시하였을 때는 실험 1시간 경과 후 21.9℃에서 23.7℃로 온도가 상승하였으나. 이후 24±0.3℃로 일정하게 유지되었다. 습도 역시 30.5±0.2%에서 일정하게 유지되었다.

바닥 난방의 설정온도가 20℃이고 입실인원이 2명일 때 환기를 하지 않은 경우 온도는 입실인원이 1명인 경우와 크게 다르지 않았으며, 습도는 역시 상승하는 모습을 나타냈지만 다소 높은 습도를 보였다. 환기를 시행 하였을 때는 입실인원이 1명인 경우와 온습도 모두 비슷한 양상을 나타냈다. 같은 조건에서 바닥 난방의 설정온도가 30℃일 때는 입실인원이 1인 일 때와 온습도의 변화폭이 큰 차이가 없었다. 아래의 Fig.4는 이러한 온습도 변화를 보여주는 그래프다.

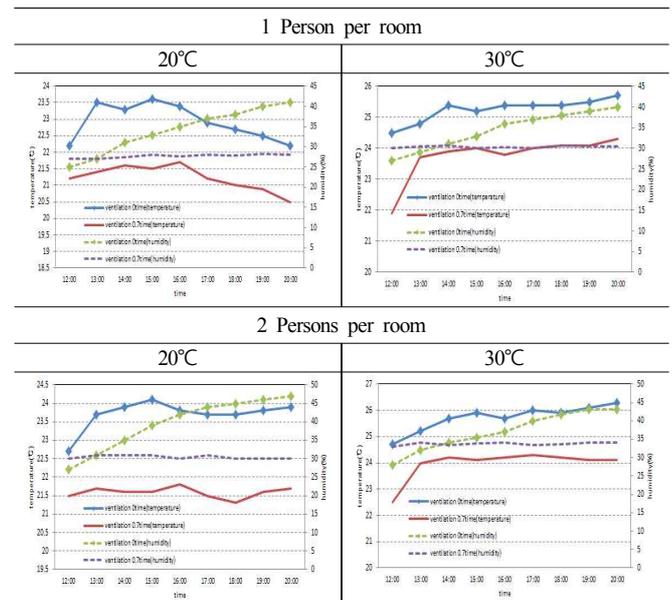


Fig. 4. Temperature and humidity changes

4.2. CO₂ 농도

환기가 이루어지지 않은 상태에서 입실 인원이 1명일 때 바닥온도에 따른 CO₂ 농도는 20℃, 30℃ 두 가지 경우 모두 점점 농도가 급격히 증가하다가 20℃는 18시 이후 약 1500ppm이 된 이후부터는 그 변화 폭이 크게 줄어들었다. 동일조건에 환기량을 0.7회 하였을 때 20℃와 30℃ 모두 20시에 최고치를 나타냈으며, 그 값은 975ppm 과 985ppm

으로 나왔고 환기를 하지 않았을 때의 최고값(각각 1576ppm, 1586ppm) 과는 약 600ppm의 차이가 났다. 환기 0.7회도 마찬가지로 바닥온도에 따른 CO₂ 농도 차이는 크게 나타나지 않았다. 그러나 환기를 하지 않은 경우는 실험실시후 2시간이 되지 않아 바닥온도 20°C, 30°C 모두 기준 농도(1000ppm)을 넘어선 반면 환기가 이루어진 경우 CO₂ 농도가 증가하기는 하지만 실험을 실시하는 8시간 동안은 기준농도를 넘어서지 않았다. 입실인원이 2인이고 환기를 하지 않았을 때에는 바닥난방 설정온도가 20°C, 30°C 모두 20시에 최고치를 나타냈으며 입실 인원이 1인인경우와 마찬가지로 지속적으로 농도가 상승하였다. 같은 조건에서 환기를 실시한 경우 그 농도차이가 크게 나지 않았다. 그러나 환기를 하지 않은 경우 실험실시 후 불과 한시간 만에 기준농도를 넘었지만, 환기를 실시한 경우 실험을 실시하는 8시간 기준농도를 넘지 않는 것으로 나타났다.

4.3. 인체부위별 온도

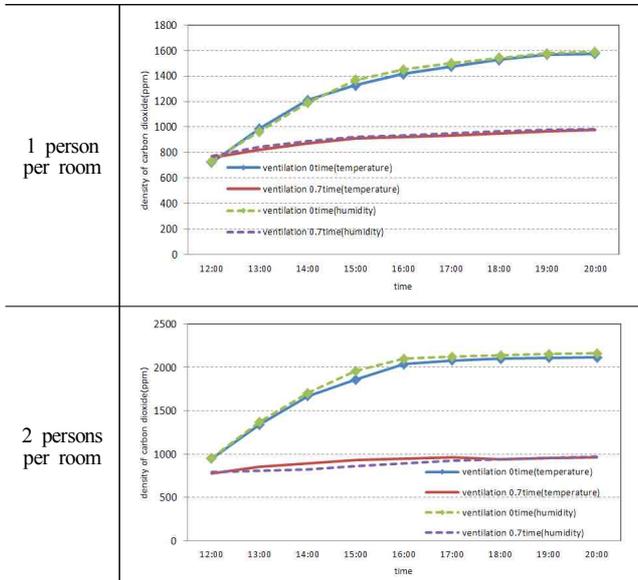


Fig. 5 Concentrations of carbon dioxide

1인 입실시 바닥온도가 20°C이고 환기가 이루어지지 않았을 때 복부를 제외하 나머지 측정부위에서 17시에 일시적으로 온도가 떨어졌다가 다시 상승을 하였다. 바닥온도가 30°C일 때에는 20°C인 경우보다 체온이 조금 높았으며, 환기가 이루어지지 않았을 때 바닥온도가 20°C, 30°C 모두 측정부위의 체온의 순서가 이마, 복부, 손등, 정강이의 순서로 나타났다. 환기가 0.7회 이루어졌을 때는 복부를 제외한 측정부위의 체온이 일정하게 증가하다가 17시부터는 큰 변동을 보이지 않았다. 정강이의 체온은 바닥온도 20°C일 때 보다 오히려 낮게 나타났다. 손등의 체온은 20°C일 때와 비슷한 체온을 나타냈으며, 모두 이마, 복부, 정강이, 손등의 순으로 나타났다.

2인 입실시 바닥온도가 20°C이고 환기를 하지 않았을 때보다 환기를 하였을 때 손등을 제외하고 체온이 다소 높게 나타났다. 환기를 하지 않았을 때에는 이마, 복부, 손등, 정강이의 순이었으나 환기를 하였을 때에는 이마, 복부, 정강이, 손등의 순으로 손등과 정강이의 온도순서가 바뀌었다. 같은 조건에서 30°C일 때 환기를 하지 않은 경우

복부, 이마, 손등, 정강이의 순으로 복부가 가장 높은 온도를 나타냈고, 환기를 실시한 후 정강이와 손등의 순서가 바뀌어 복부, 이마, 정강이, 손등의 순으로 바뀌었다. 1인 입실 시에도 환기를 실시하였을 때 정강이와 손등의 온도 순서가 바뀐 것으로 보아 의복 밖으로 노출된 부위이기 때문에 환기에 영향을 직접적으로 받은 것으로 판단된다. Table 7은 각 조건별 체온의 순서를 정리한 것이다.

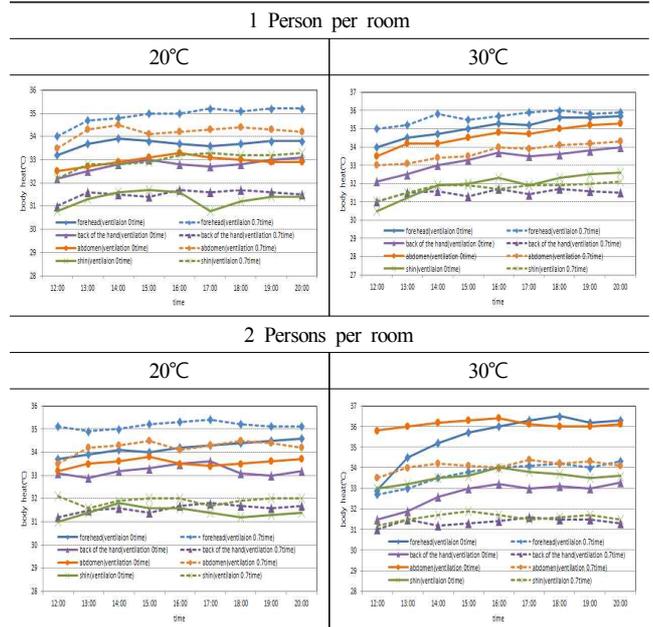


Fig. 6. Temperature and humidity changes

Table 7. Comfort rating questionnaire

	Ventilation	20°C	30°C
1 subjects	0 time	Forehead>Abdomen>back of the hand>Shin	Forehead>Abdomen>back of the hand>Shin
	0.7 time	Forehead>Abdomen>Shin>back of the hand	Forehead>Abdomen>Shin>back of the hand
2 subjects	0 time	Forehead>Abdomen>back of the hand>Shin	Abdomen>Forehead>Shin>Shin
	0.7 time	Forehead>Abdomen>Shin>back of the hand	Abdomen>Forehead>Shin>back of the hand

4.4. PMV

실내상태를 이산화탄소 농도 500ppm 으로 만든 다음 1시간 뒤 실험자가 앉은 자세를 취했을 때의 평가로써 20°C일 때는 환기를 하지 않은 경우 대체적으로 바닥에 직접 닿은 하체부분보다 실내공기와 닿은 상체부분이 쾌적감이 적었으며, 환기를 0.7회 했을 시 상체와 하체가 전체적으로 쾌적감이 올라갔다. 온열감은 이와 반대로 환기를 하지 않은 경우보다 0.7회 했을 때 온열감이 낮아졌으며, 바닥온도가 30°C일 때는 20°C 보다 조금 더 나은 온열감을 느꼈지만 쾌적감은 더 떨어졌다. 30°C이고 환기를 하지 않은 경우 다소 덥다는 의견도 있었다. 이처럼 쾌적감은 환기유무에 따라 확연한 차이를 보였으며, 환기로 인해 쾌적감이 달라지는 것을 확인할 수 있다. Table 8~12은 실시한 PMV에 대한 적용 기준척도이다.

Table 8. PMV SCAL

	-3	-2	-1	0	1	2	3
Comfort	Very unpleasant	unpleasant	Bit uncomfortable	-	Some pleasant	Comfort	Very Comfort
Thermal sense	Very Cold	Cold	Slight cold	-	Warm	Hot	Very hot

Table 9. Floor temperature 20°C, Ventilation 0 time of Response assessment

body	Q Comfort			body	Q Thermal sense		
	sub.1	sub.2	sub.3		sub.1	sub.2	sub.3
Upper	-2	-2	-1	Upper	0	-1	0
Lower	-1	-1	0	Lower	1	0	1

Table 10. Floor temperature 20°C, Ventilation 0.7 time of Response assessment

body	Q Comfort			body	Q Thermal sense		
	sub.1	sub.2	sub.3		sub.1	sub.2	sub.3
Upper	1	1	2	Upper	-1	-1	-1
Lower	0	0	1	Lower	0	-1	0

Table 11. Floor temperature 30°C, Ventilation 0 time of Response assessment

body	Q Comfort			body	Q Thermal sense		
	sub.1	sub.2	sub.3		sub.1	sub.2	sub.3
Upper	-3	1	-3	Upper	1	1	2
Lower	1	1	-3	Lower	2	1	1

Table 12. Floor temperature 30°C, Ventilation 0.7 time of Response assessment

body	Q Comfort			body	Q Thermal sense		
	sub.1	sub.2	sub.3		sub.1	sub.2	sub.3
Upper	0	0	1	Upper	0	-1	-1
Lower	0	1	1	Lower	1	0	0

5. 결론

본 연구는 바닥난방온도를 20°C, 30°C로 설정하고 실내 입실자가 없는 경우, 실내 온도는 각각 약 22°C, 약 26°C가 유지되었다. 이때 실내에 1명, 2명의 인원을 입실 시킨 후 환기를 0회, 0.7회 실시하여 실내온습도의 변화, CO₂의 농도 변화, 인체 각 부위별 온도변화를 측정하였다. 또한 매 실험 시 재실자의 주관적 쾌적도를 알기 위하여 PMV를 실시하였다.

바닥난방온도가 20°C이고 입실자가 1명인 경우를 제외하고 환기의 유무를 떠나 실내 온도가 상승하는 경향을 나타냈으며, 습도는 환기를 하지 않은 경우에는 20°C일 때는 점차 낮아지고, 30°C이고 환기를 하지 않을 경우, 실험 시작 후 1시간이 경과하자 입실 인원에게 관계없이 큰 폭으로 습도가 상승하는 것으로 나타났다. 환기를 0.7회 실시하였을 때에는 인원수에 관계없이 실내 습도가 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 CO₂ 농도 역시 환기를 하지 않은 경우 계속적으로 증가하는 것을 볼 수 있었고 실험시작 후 약 1시간가량이면 허용기준을 초과하는 것을 알 수 있었다. 재실인원이 2명일 경우 더욱 크게 상승하며, 환기를 하였을 때에는 허용기준치 이하로 큰 효과를 볼 수 있었다. 인체 부위별 온도를 보았을 때 30°C이고 2인일 경우를 제외하고 모두 이마와 복부 순으로 체온이 높았다. 손등과 정강이는 모든 경우에 환기를 실시

시 정강이, 손등 순으로 환기를 미실시 시, 손등, 정강이 순으로 체온이 분포하였다. 30°C이고 2인일 경우는 환기 유무에 관계없이 복부, 이마의 순으로 체온이 측정되었다. 이것은 PMV조사에서 환기를 하지 않은 경우 약간 덥고 불편함을 느끼고, 환기를 한 경우 다소 춥게 느끼지만 오히려 쾌적함을 느끼는 것과 관련이 있는 것으로 바닥 난방이 30°C인 경우 다소 덥게 느낄 수 있지만, 이로 인하여 환기 시 오히려 춥게 느껴지고 실제로 의복 밖으로 노출된 손등의 온도가 떨어지는 것으로 확인되었다. 바닥온도가 20°C일 때 환기를 실시하여도 약간 춥게 느껴지고, 주관도에 따라 환기를 실시하지 않아도 춥게 느끼는 사람이 있어 온열감은 개인적인 차가 크며, 쾌적감은 20°C일 때 환기를 한 경우가 30°C일 때 환기를 한 경우보다 훨씬 좋은 것으로 나타났다. 이는 겨울철 바닥 난방온도 설정과 실내 환기에 결정에 영향을 줄 것이다.

본 논문은 제한된 공간에서 실내 바닥온도 변화에 따른 CO₂ 농도 변화를 확인하고자 하였으며, 공동주택 실내 환기기준 0.7회/h를 적용하였을 때와 환기를 하지 않았을 때의 변화량을 비교하여 환기의 필요성을 공감하도록 하였으며, 또한 실내 바닥온도 변화와 신체 부위별 온도 변화, 환기상태에 따른 쾌적감의 변화를 확인하여 주거용 건물에서의 인체의 쾌적감에 영향을 미치는 실내환기와 온도의 상관관계를 제시하고자 하였다.

이와 같은 실험연구가 현재 주거용 건축물에서 가장 널리 사용되고 있는 바닥 복사 난방방식에서 환기의 유무가 실내공기질에 미치는 영향과 인체반응을 살펴 달라지는 변화를 데이터화 할 수 있다. 이는 변화되는 사회적 세태에 맞추어 주거용 건물에서의 업무용 사용시 고려해야하는 인체의 쾌적도에 따른 환기와 온도의 상관관계를 유추하고 추가적인 실험을 거쳐 향후 이와 관련된 데이터 정립 시 (예: 주거용 건물의 업무적 사용시 적정 환기 회수) 기초적 실험 자료가 될 수 있다고 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 동의대학교 2014학년도 교내 일반 연구비 지원에 의한 논문임 (2014AA248)

Reference

- [1] Kim kun-woo, Jun hyun-do, Park Jin-Chul(2009), Nurseries Indoor Environment Survey, Architectural Institute of Korea, Conference Championships // 김건우, 준현도, 박진철 (2009), 어린이집 실내환경 실태조사 연구, 대한건축학회 학술발표 논문집, 계획계
- [2] Ministry of environment (1999) Indoor Air Quality Management Act, such as multi-use facilities // 환경부(1999) 다중이용시설등의 실내공기질 관리법
- [3] Kim youn duck (2006), Measurement Study on Indoor Air Quality Status of Public Facilities, Architectural Institute of Korea, Conference Championships, v22, n11, // 김윤덕(2006) 다중이용시설의 실내공기환경 실태에 관한 측정연구, 대한건축학회 논문집 계획계, v22, n11, 2006
- [4] www.moleg.go.kr // 법제처 홈페이지
- [5] Kim jinho et 2 (2000) Indoor Air Quality Management Act in multi-use facilities, Institute for Construction of Korea, // 김진호 외2명 (2000) 실의 평균복사온도 분포에 관한 연구, 대한건설학회 논문집
- [6] Lee mu-jin et 2 (1988.04), Study on the changes of skin temperature in the floor radiant heating, Architectural Institute of Korea, Conference Championships book 14, pp.263-270 // 이무진 외 2명 (1998.04) 바닥복사난방에서 피부온도의 변화에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 계획계 제14호