

Predicted Mean Vote(PMV)를 이용한 겨울철 종합병원의 실내 온·열 환경의 평가

이보람 · 김정훈* · 김규상* · 김혜진 · 이기영†

서울대학교 보건대학원 환경보건학과

*서울의료원 의학연구소 환경건강연구실

Assessment of Thermal Comfort in a General Hospital in Winter Using Predicted Mean Vote (PMV)

Boram Lee, Jeonghoon Kim*, KyooSang Kim*, Hyejin Kim, and Kiyoung Lee†

Department of Environmental Health Science, Graduate School of Public Health, Seoul National University

*Environmental Health Laboratory, Seoul Medical Center

ABSTRACT

Objectives: A hospital is a complex building that serves many different purposes. It has a major impact on patient's well-being as well as on the work efficiency of the hospital staff. Thermal comfort is one of the major factors in indoor comfort. The purpose of this study was to determine thermal comfort in various locations in a hospital.

Methods: Various indoor environmental conditions in a general hospital were measured in February 2014. The predicted mean vote (PMV) and carbon dioxide (CO₂) concentration were measured simultaneously in the lobby, office, restaurant, and ward.

Results: The ward was the most thermally comfortable location (PMV=0.44) and the lobby was the most uncomfortable (PMV = -1.39). However, the CO₂ concentration was the highest in the ward (896 ppm) and the lowest in the lobby (572 ppm). The average PMV value was the most comfortable in the ward and the lowest in the lobby. In contrast, for concentration of carbon dioxide, the highest average was in the ward and the lowest in the lobby. Due to air conditioner operation, during operating hours the PMV showed values close to 0 compared to the non-operating time. Correlation between PMV and CO₂ differed by location.

Conclusion: The PMV and concentration of carbon dioxide of the hospital lobby, office, restaurant and ward varied. The relationship between PMV and carbon dioxide differed by location. Consideration of how to apply PMV and carbon dioxide is needed when evaluating indoor comfort.

Keywords: Carbon dioxide, hospital comfort, indoor comfort, predicted mean vote

I. 서 론

현대사회에서 대부분의 사람들은 90% 이상의 시간을 실내에서 생활하며, 실내에는 인간의 건강에 악

영향을 미치는 여러 유해요인들이 존재한다. 이로 인해 실내 환경 관리에 대한 중요성이 대두되어 몇 십년 동안 활발한 연구가 이루어져왔으며, 그 연구 대상은 공기 중 생물, 화학적 오염원에서 물리적 오염

†Corresponding author: Department of Environmental Health, Graduate School of Public Health, Seoul National University, Tel : +82-2-880-2735, Fax : +82-2-762-2888, E-mail : cleanair@snu.ac.kr

Received: 5 June 2015, Revised: 20 November 2015, Accepted: 20 November 2015

원까지 다양하다.¹⁻³⁾ 사람들의 생활수준이 향상됨에 따라 질병과 직접적으로 연관된 건강문제를 일으키는 오염원을 넘어서 쾌적성에 대한 사람들의 욕구가 커지고 있으며, 실내 쾌적도에 영향을 주는 물리적 환경요인들이 인간의 삶의 질과 건강에 영향을 준다는 과학적 증거도 제시되고 있다.⁴⁾

다양한 실내 환경 중 보건 의료 시설의 경우, 환자와 보호자, 의사, 간호사, 편의시설의 직원 등 다양한 사람들이 활동하는 곳이다. 병원환경에서 노출될 수 있는 위해 요소는 병원균, 바이러스, 바이오에어로졸, 미생물등과 같은 생물학적 요인과 무기 혹은 유기 화학물질과 같은 화학적 요인, 온도, 습도, 조도, 소음과 같은 물리적 요인, 그리고 스트레스와 같은 심리적 요인 등이 있다.⁵⁾ 그 중 물리적 인자에 대한 환자들의 반응은 대사속도, 혈류, 체온조절 능력 등과 같은 생리능이 건강한 사람과는 다른 경향을 나타내어 주위 온열환경에 의한 반응에 영향을 줄 수 있다는 연구와, 물리적 인자는 사람의 온열환경에 큰 영향을 주지 않는다는 다소 엇갈리는 연구 결과가 보고 되어왔다.⁶⁾ 하지만, 습도가 높은 환경에서는 박테리아의 증식과 전염성이 높아질 수 있고, 습도가 낮은 환경의 경우 피부나 호흡기계가 건조하게 되어 호흡에 불편을 초래할 수 있으며, 또한 병원 내 기류는 감염 속도에 영향을 줄 수 있다.⁷⁾

환자들이 주로 생활하는 병원 시설은 환자들의 치료와 휴식에 알맞은 환경을 갖추어야 하기 때문에 환자들이 원하는 온열환경을 파악하는 것은 매우 중요하다. 병원에 단기간 혹은 중장기간 입원을 하는 환자 및 외래 환자뿐 아니라 의사, 간호사와 편의시설의 직원 등의 체질시간과 활동 정도가 매우 다르기 때문에 이러한 특성을 고려하여 온열환경에 대한 연구가 진행되어야 한다.

온열환경 평가에 사용되고 있는 대표적인 지표는 Predicted Mean Vote(PMV)로, 인체의 열 평형 모델(Heat balance model)에 기초하여 온열환경에 영향을 주는 6가지 주 요인(활동량, 의복상태, 온도, 복사열, 기류, 습도)의 관계를 이용하여 개발된 지표이다. PMV는 1300명의 미국인, 유럽인 학생을 대상으로 열 교환과 물리적인 요인으로 인한 온열환경에 대한 반응을 실험한 결과를 공식에 적용하여 개발된 것으로, 7단계 지표(-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3)로 나뉜다. PMV값은 -3에 가까울수록 춥다고 느끼는 상

태를 나타내며, 0은 평온하고 쾌적한 상태, +3에 가까울수록 덥게 느끼고 있음을 나타낸다. PMV는 1980년대에 국제표준으로 지정되었으며(ISO 7730), 이외에 일반 건물의 온열환경을 평가하기 위해 개발된 ASHRAE 55-2013 Standards도 PMV 평가에 이용된다.

온열환경 평가에 사용되는 또 다른 지표 중 하나인 Predicted Percentage of Dissatisfied(PPD)는 열적으로 쾌적하지 않게 느끼는 사람들의 비율을 예측한 지표로, PMV값이 -3, -2, +2, +3을 나타낼 때 사람들이 열적으로 쾌적하지 않게 느끼는 사람이 있다는 가정에 기초하며, PMV값 0의 주변에서 쾌적하지 않게 느끼는 사람의 비율이 상대적으로 낮은 경향을 보였다. PMV와 PPD의 관계에서 PMV값이 -0.5~+0.5일 때 PPD값이 10으로, 열적으로 쾌적하지 않게 느끼는 사람의 비율이 10%, 나머지 90%는 열적으로 쾌적하다고 느끼는 것으로 나타나, ASHRAE STANDARD에서는 PMV값이 -0.5~+0.5일 때를 일반적으로 쾌적하다고 느끼는 범위로 정의하였다.

현재까지 병원의 온열환경에 영향을 미치는 온도, 습도, 조도, 기류, 소음 등과 같은 물리적 환경에 관한 연구는 입원 환자들을 대상으로 PMV를 조사하거나^{6,9)} 환자와 병원 직원들의 PMV 비교 조사¹⁰⁾, 병원 직원들만을 상대로 조사¹¹⁾, 병원건물의 각 층별로 온열환경을 비교¹²⁾하는 형태 등으로 진행되어왔다. 이러한 연구들은 병원 환경의 물리적 인자의 측정과 함께 환자나 병원직원들을 대상으로 기본적인 인구학적 정보와 PMV 설문조사를 통해 수집하여 병원 내 온열환경을 평가하였다. 또한, 병원 내의 PMV에 영향을 줄 것으로 예상되는 몇몇 요인들을 조사한 기존의 연구에서 환자와 병원 직원들의 활동량과 의복상태에 따라 각각이 요구하는 알맞은 PMV가 다르게 나타나며¹³⁾, PMV는 인간의 신체적 상태와 강한 상관관계를 보이는데 반하여 성별, 나이, 환경적응력과는 큰 연관성이 나타나지 않았다.⁹⁾

CO₂의 경우 실내에 사람이 많을수록, 환기량이 낮을수록 농도가 높아지기 때문에 실내 CO₂ 농도는 환기의 지표로 이용될 수 있다. 적절한 환기수준을 유지하기 위하여 CO₂를 실내환경을 대표하는 지표로 사용하여 ASHRAE에서는 실내 CO₂ 농도를 1000 ppm 수준을 유지할 것을 권고하고 있다.

본 연구에서는 PMV를 이용하여, 종합병원의 주요

장소에서의 PMV의 수준을 파악하고, 온열환경의 관리가 필요한 장소를 찾아내어 추후 온열환경 관리시스템에 적용하기 위한 선행 탐색연구를 실시하였다. 병원 내 재실자가 많이 이용하는 4개의 장소 별 PMV를 이용하여 평가하였고 실내 CO₂ 농도도 함께 평가하였다.

II. 재료 및 방법

본 연구에서는 병원 실내의 온열환경에 대해 기초 조사를 하고자, 서울에 위치한 한 종합병원을 대상으로 2014년 2월 10일부터 3월 14일까지 총 4주 동안 사무실과 로비, 식당, 병실에서 각각 1주일씩 PMV와 CO₂ 농도를 측정하였다. 측정이 시행된 종합병원은 지상 13층 지하 4층 규모로, 사무실과 로비, 식당, 병실은 각각 3층, 1층, 지하 1층, 8층에 위치하고 있으며, 6층에서 13층까지는 입원병동이다. 사무실의 경우 2월 10일부터 2월 17일까지 총 415시간, 로비는 2월 17일부터 2월 24일 까지 총 410시간, 식당은 2월 24일부터 3월 3일 까지 총 400시간, 병실의 경우 3월 7일부터 3월 14일까지 375시간을 측정하였다. 사무실의 주 이용시간은 08:30~17:30이며, 로비의 주 이용시간은 08:00~17:30, 식당의 경우 07:00~09:00, 12:00~14:00, 병실은 주 이용시간이 24시간으로 조사되었다.

PMV 측정기기는 Amenity Meter(Model AM-101, KEM, JAPAN)를 이용하여 측정하였고 5분 간격으로 바닥에서 1m 이상의 높이에 설치하였다. PMV 값의 산출을 위해 필요한 PMV 설정 값은 의복값 0.7 clo (0.11 m²·°C/W)과 활동량 1.2 met (70 W/m²·°C)를 사용하였다. Amenity Meter에 PMV 설정 값과 활동량을 입력하여 온 습도, 복사열, 조도, 기류

값을 측정하였고, -3에서 +3까지의 PMV 값을 얻었다.

CO₂의 측정은 Standard CO₂/Temperature Monitor (Model 7001, Telaire, USA)를 이용하였으며, 실내의 CO₂ 농도를 ppm단위로 측정하였다. CO₂ Monitor는 바닥으로부터 1m 이상의 높이에 설치하여 5분 간격으로 측정하였다. CO₂ 농도는 HOBO data logger에 연결하여 저장하였고, 수집된 데이터는 Boxcar (BC 3.7, Onset, USA) 프로그램을 이용하여 다운로드 받았다. 실내의 측정장소 별 온도 및 습도는 Data logger (HOBO u-10, onset)를 이용하여 5분 간격으로 측정하였다. 외기의 온, 습도는 기상청 자료를 이용하였다.

측정기기는 병원 시설을 이용하는 사람들의 통행을 방해하지 않으면서 각각의 공간을 대표할 수 있는 곳에 설치하였다. 측정기기를 통해 측정되는 기류와 조도에 직접적인 영향을 주지 않도록 칸막이가 있는 곳이나 그늘진 곳은 피하여 설치하였다. 병실의 경우 출입문 안쪽에 설치하였고, 식당에는 식당 구석 중간 벽면에, 로비에는 출입문으로부터 12m 거리에 설치하였다.

수집된 장소 별 데이터는 ANOVA 분석을 통하여 장소간의 24시간 동안 수집된 PMV데이터의 차이를 분석하였으며, 각 장소의 운영시간에 수집된 PMV 데이터를 분리하여 재 분석하였다. 측정 장소에서의 운영시간 내 외의 PMV의 차이는 t-test를 실시하였다. 장소 별 PMV와 CO₂의 회귀분석을 실시하였고 통계분석은 SAS 9.3 (SAS Institute Inc, USA) 통계 패키지를 이용하였다.

III. 결 과

한 종합병원의 병동, 로비, 사무실, 식당에서 각각

Table 1. Average temperature, relative humidity, PMV and CO₂ concentration

Sampling site	Indoor temperature (°C)	Outdoor temperature (°C)	Indoor relative humidity (%)	Outdoor relative humidity (%)	Air flow (m/s)	PPD ^a (%)	PMV ^b (Mean±STD)	CO ₂ (ppm)
Ward	26.6±0.6	2.8±1.8	19.1±5.1	51.0±7.4	0.04	8.8	0.4 ± 0.2	896±73
Lobby	18.0±1.1	2.7±0.8	18.5±1.9	57.5±2.1	0.09	56.7	-1.7 ± 0.7	523±51
Office	16.0±1.3	1.2±1.3	23.0±0.8	63.3±7.9	0.03	32.4	-0.9 ± 0.2	500±86
Restaurant	19.3±0.7	6.8±1.3	27.6±5.8	61.0±1.8	0.02	37.5	-1.2 ± 0.4	518±68

^aPPD: Predict percentage of dissatisfaction

^bPMV: Predicted Mean Vote

Table 2. Average of temperature, relative humidity, PMV, CO₂ concentration in operating time

Sampling site	Operation time	Temperature (°C)	Relative humidity (%)	PPD ^a (%)	PMV ^b (Mean±STD)	CO ₂ (ppm)
Ward ^a	24 hour	26.6	19.1	8.8	0.4 ±0.2	896
Lobby ^a	08:00-17:30	19.6	18.8	45.1	-1.4 ±0.3	572
Office ^a	08:30-17:30	22.5	18.8	8.9	-0.3 ±0.3	576
Restaurant ^a	07:00-19:30	19.6	21.0	29.2	-1.1 ±0.1	600

^a: HVAC이 가동된 시간의 데이터

^aPPD: Predict percentage of dissatisfaction

^bPMV: Predicted Mean Vote

1주일간 측정된 온열환경인자, PMV와 CO₂를 Table 1에 나타내었다. 병실의 온도는 26.6±0.6°C로 4곳의 측정장소 중 온도가 가장 높았으며, 측정기간 외기의 평균 온도는 2.8±1.8°C, 평균 상대습도는 51.0±7.4%이었다. 로비 접수처의 평균 온도는 18.0±1.1°C, 상대습도는 18.5±1.9% 이었으며 이 기간 외기의 평균 온도는 2.7±0.8°C, 평균 습도는 57.5±2.1% 이었다. 습도가 가장 높았던 식당의 평균온도는 19.3±0.7°C, 평균 상대습도는 27.6±5.8% 이었으며, 그 기간의 외기 평균온도는 6.8±1.3°C, 평균 상대습도는 61.0±1.8% 이었다. 평균 온도가 가장 낮았던 사무실의 평균 온도는 16.0±1.3°C, 평균 상대 습도는 23.0±0.8% 이었으며, 같은 기간 외기의 평균 온도는 1.2±1.3°C, 평균 상대습도는 63.3±7.9%로 나타났다.

측정 장소 별 평균 기류는 식당이 0.02 m/s로 가장 약했고, 사무실이 0.03 m/s, 병실은 0.04 m/s, 로비가 0.09 m/s로 평균 기류가 가장 센 장소였다. CO₂의 평균 농도는 병실이 896±73 ppm, 로비가 523±51 ppm, 식당이 518±68 ppm, 사무실 500±86 ppm 으로 병실의 CO₂ 농도가 가장 높았다.

병실의 평균 PMV값은 0.4±0.2로 0에 가장 가까운 값을 나타냈고, 사무실의 경우 -0.9±0.2이었으며 로비의 평균 PMV값은 -1.7±0.7, 식당의 평균 PMV는 -1.2±0.4 로 두 장소 모두 -1 이하의 값을 나타냈다. 네 장소의 PMV를 비교한 결과 장소 별 평균 PMV는 통계적으로 유의하게 통계적으로 유의하게 달랐다($P<0.001$).

병실의 경우 24시간 동안 PMV가 적정수준 범위를 유지한 반면, 운영시간 동안의 PMV는 병실과 사무실이 적정수준 범위를 유지하였다. 24시간 동안의 평균 PPD의 경우 병실이 8.8%로 가장 낮은 PPD를 나타내었다. 사무실과 식당의 PPD는 각각 32.4%,

Table 3. Percentage of ASHRAE Standard of comfort by each measurement place

Sampling site	PMV ^a		
	<-0.5	-0.5~+0.5	+0.5<
Ward	0.0%	71.4%	28.5%
Lobby	99.9%	0.0%	0.1%
Office	69.4%	28.2%	2.4%
Restaurant	99.7%	0.3%	0.0%

^aPMV: Predicted Mean Vote

37.5%이었고, 병원의 로비가 56.7%로 가장 높았다. Table 2에 명시된 각 장소 별 이용시간 동안의 측정 데이터를 통해 구한 PPD는 병실과 사무실이 각각 8.8%, 18.8%로 낮은 반면, 식당과 로비는 각각 29.2%, 45.1%로 높은 수준의 PPD 값을 나타내었다.

측정 기간 중 ASHRAE STANDARD에 명시된 쾌적한 범위인 -0.5~+0.5를 만족시킨 비율을 Table 3에 나타내었다. 쾌적한 범위를 만족시킨 비율은 병실에서 71% 로비에서 0%, 사무실에서 28%, 식당에서 0.3% 이었다. PMV값이 -0.5보다 낮은 범위에 해당하는 비율은 병실이 0%, 로비가 99.9%, 사무실이 69.4%, 식당이 99.7% 이었다. 병원의 로비와 식당은 PMV값이 -0.5보다 낮은 비율이 99% 이상이었다.

주말과 평일의 PMV차이가 가장 많이 나는 장소는 사무실로 평일 평균 PMV값은 -0.05, 주말 평균 PMV값은 -0.93로 주말의 평균 PMV값이 0.88 만큼 낮았고, 식당의 평일 평균 PMV는 -1.02, 주말 평균 PMV값은 -1.24로 주말 평균값이 0.2 만큼 낮았으며, 식당을 제외한 장소의 평일 평균 PMV는 모두 0에 가까웠다. 각 장소의 평일과 주말의 차이는 통계적으로 유의하게 나타났다($P<0.001$).

로비, 식당, 사무실, 병실의 PMV와 CO₂의 24시간

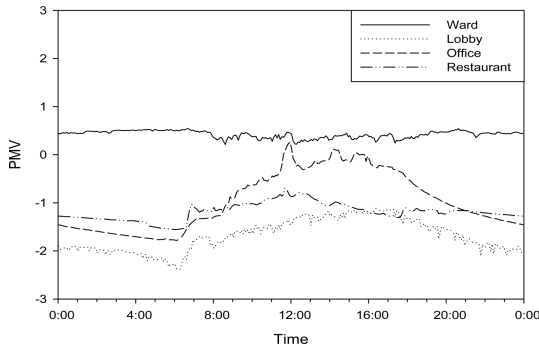


Fig. 1. Daily average value of predicted mean vote of each sampling site.

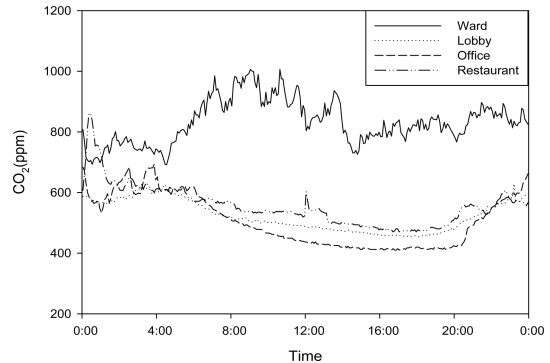


Fig. 2. Daily average CO₂ concentration.

실시간 추이를 각각 Fig. 1와 Fig. 2에 나타내었다. 로비, 사무실, 식당의 경우 24시간 중 병원 내 운영 시간이 아닐 때의 PMV값의 운영시간의 PMV값보다 더 낮은 값을 나타냈다. 24시간 환자들이 생활하는 병실은 24시간 동안 PMV값이 일정한 수준으로 유지되고 있으며, 24시간 중 PMV의 변화 폭이 가장 큰 장소는 사무실이다. 24시간 공조시스템이 가동되는 병실을 제외한 나머지 접수처 로비와 식당의 PMV는 ASHRAE 55에서 정의하는 쾌적범위인

-0.5~+0.5를 벗어났으며, 사무실의 경우는 운영시간인 09:00~18:00 사이에 쾌적범위를 만족시켰다.

CO₂ 농도의 경우 운영시간이 24시간인 병실을 제외한 로비, 사무실, 식당의 경우 운영시간이 아닐 때의 CO₂보다 운영시간일 때 CO₂ 농도가 더 높았다. 24시간 중 CO₂의 변화 폭이 가장 큰 장소는 병실이었으며, 나머지 세 장소의 CO₂ 농도 변화 폭은 비슷한 경향을 나타내었다. 병실에서의 CO₂ 농도는 오전 8시에서 오후 12시 사이에 큰 폭으로 증가하여

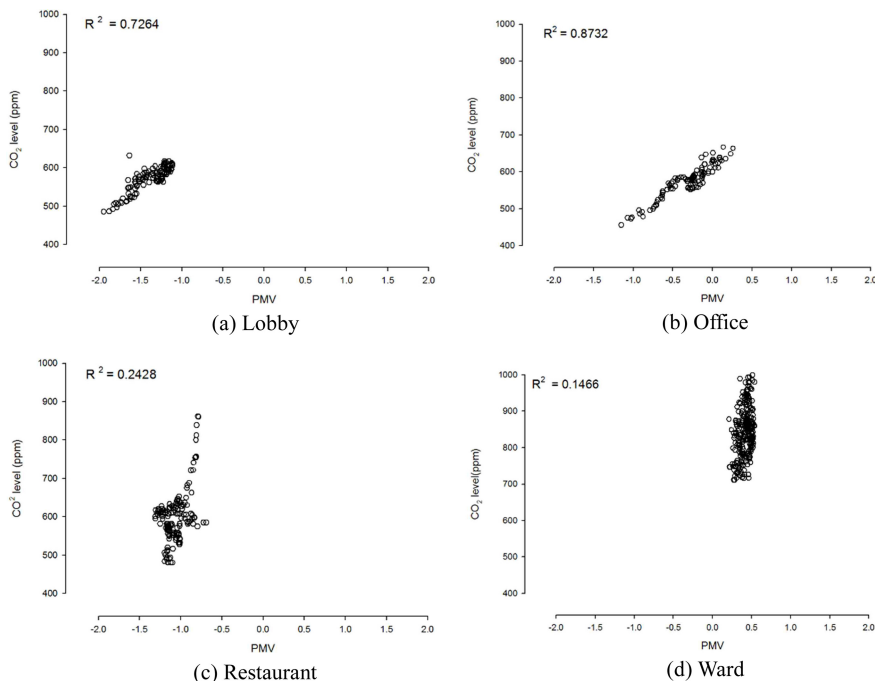


Fig. 3. Correlation between average value of predicted mean vote and CO₂ concentration in operating time at each sampling site

1000 ppm에 근접하는 것을 알 수 있었다.

로비, 식당, 사무실, 병실의 CO₂ 농도와 PMV의 상관관계를 알아보기 위하여 회귀분석을 실시하였다. Fig. 3의 PMV와 CO₂의 회귀분석 결과 사무실의 R² 값은 0.87로 측정된 4곳의 장소 중 가장 높은 상관성을 나타내었으며, 로비의 R² 값은 0.78, 식당과 병실의 R² 값은 각각 0.24, 0.15 이었다. 측정 장소 중 사무실과 로비의 PMV와 CO₂의 연관성이 높게 나타났으며, 식당과 병실의 연관성은 낮게 나타났다.

IV. 고 찰

측정 기간 중 실내온도가 가장 높았던 장소는 병실이었다. 병실은 입원환자들이 머무는 곳으로 건강한 일반인보다 신진대사 및 생리적인 기능으로 인해 같은 온열환경에도 일반인과 다르게 느낄 수 있다는 연구 결과가 보고된 바 있었다.⁶⁾ 병실은 얇은 소재의 입원복을 입고 생활하는 장소이기 때문에 다른 장소에 비해 실내 온도가 높게 유지되는 장소이며, 다른 측정장소에 비해 고층에 위치해 위치해 있었으며, 외기의 유입이 적어 상대적으로 높은 실내 온도가 유지되었다. 외기의 유입이 적어 상대적으로 높은 실내 온도가 유지된다. 또한 24시간 냉·난방 장치가 가동되기 때문에 24시간동안 일정한 수준의 PMV가 유지되는 것을 확인할 수 있다. 로비의 경우 외부의 출입문으로 인해 외기의 직접적인 유입이 가장 많은 곳으로 평균 기류가 가장 세게 나타났다. 본 측정이 이루어진 병원의 로비의 경우, 로비의 벽면은 전면 유리로 되어있어 직사광선이 로비로 내리쬐는 장소이다. 따라서 조도의 변화에 따른 온도 변화로 인한 PMV의 하루 중 변화가 가장 크게 나타난 것이라 사료된다. 출입문으로 인한 외기의 유입과 직사광선은 실내 쾌적도에 영향을 미쳐 평균 PMV가 가장 낮은 장소로 조사되었다. 사무실은 5명의 연구원들이 활동하는 연구실 공간으로 이용시간 내 면적 당 평균 인구밀도가 가장 낮은 곳이다. 측정 장소 중 사무실의 실내평균온도는 가장 낮았지만 PMV는 0에 가까운 값을 나타냈다. 나머지 장소의 평균 실내온도는 큰 폭의 차이를 나타내지 않았으며, 외기의 직접적인 유입이 잦은 로비 접수처의 평균 실내 온도도 다른 장소들과 비슷한 수준으로 나타났다. 로비의 경우 외기의 직접적인 유입이 잦

은 곳으로 실내온도가 다른 장소에 비해 낮게 나타날 것이라 추정하였지만, 측정이 실시된 건물의 구조상 1, 2층 모두 전면 유리 건물로써 직사광선이 1층 전반에 내리쬐는 것을 관찰 할 수 있었다. 하지만 기류의 영향으로 PMV는 4곳의 측정장소 중 가장 낮았다. 평균 습도는 식당에서 가장 높게 관찰되었는데, 이는 조리에 의한 영향을 받았을 것이라 사료된다.

모든 측정장소의 평균 CO₂ 농도는 모두 1000 ppm 이하로 나타났으며, 평균 CO₂ 농도가 가장 높았던 곳은 병실로 896 ppm 이었다. “다중이용시설 등의 실내공기 질 관리법”에 따르면 의료기관의 CO₂ 농도는 1000 ppm 이하로 유지하도록 규제하고 있다. 병실의 실시간 CO₂ 농도는 1000 ppm을 초과하기도 하였다. 나머지 측정장소인 로비 접수처, 사무실, 식당의 CO₂ 농도는 모두 1000 ppm 미만으로 유지되었다. 실내 CO₂의 농도가 1000 ppm을 넘게 되면 산소부족으로 인하여 재실자는 답답해지고 졸리기 시작하며, 장기적으로 고농도의 CO₂에 노출 될 경우 심혈관계 합병증이 생길 수 있다.²⁾ 병실은 조사된 장소 중 PMV가 가장 쾌적한 장소였으나, 실내 CO₂ 농도는 가장 높았다. 이는 창문이나 출입문을 통한 외기의 유입이 적고, 좁은 장소에 환자와 방문객들이 항시 머무르게 때문인 것으로 사료된다. 온열환경의 관리는 잘되고 있지만 기계환기의 작동은 미흡하다고 사료된다. 두 번째로 쾌적한 장소는 사무실이었으며, CO₂의 운영 시간 평균 농도는 576 ppm, 사무실 다음으로 쾌적하게 나타난 장소는 식당이었으며, 평균이산화탄소 농도는 600 ppm, PMV가 가장 낮게 나타난 로비의 경우 가장 낮은 평균 CO₂ 농도를 나타냈다.

24시간 각 측정장소의 PMV와 CO₂추이를 살펴보면, 병원 운영 시간대를 기준으로 변화하는 패턴을 살펴 볼 수 있다. 24시간 운영되는 병실의 경우 PMV는 거의 일정한 패턴을 나타냈지만 실내 CO₂ 농도의 경우 오전 8시에서 오후 12시 사이에 1000 ppm에 근접하였다. 하지만 관찰 연구가 수행되지 않았기 때문에, 병실의 오전시간에 어떠한 활동으로 인하여 CO₂ 농도가 증가되었는지는 분석할 수 없었다. CO₂의 실내 주요 발생원은 인간의 호흡이기 때문에, 오전시간에 방문자 수가 많았을 것으로 사료된다. PMV는 병원 운영시간 동안 0에 가까워 지는 추이

를 나타냈으며, 병실을 제외한 나머지 장소의 CO₂ 농도는 병원운영시간 동안 농도가 감소하는 추이를 나타냈다. 오전 시간 동안의 병실의 주요 이벤트를 파악하고, 1000 ppm을 초과하지 않도록 공학적인 관리가 필요할 것으로 사료된다.

측정장소의 PMV와 CO₂의 상관분석결과 장소마다 R²값이 달랐으며, 평균 PMV가 가장 0에 가까웠지만, 평균 CO₂ 농도가 가장 높았던 병실의 R²이 가장 낮게 나타났다. 실내 CO₂ 농도는 실내 공기질의 대표적 지표로서 실내공간의 환기량을 나타낸다. PMV가 0에 가까울수록 실내의 온열환경은 쾌적하다고 평가되며, 실내 환기율이 실내 온도 등에 영향을 주어 PMV와 실내 CO₂의 농도의 상관성을 예측하였으나 결과는 장소마다 다른 관계를 나타내었다. 로비의 경우 직사광선이 내리쬐고 외부로 통하는 출입문의 영향으로 PMV가 쾌적하지 않게 평가 될 수는 있지만, 반대로 외기의 유입이 활발하기 때문에 실내 CO₂의 농도는 적정수준으로 유지될 수 있다. 병실의 경우 고층에 위치하여있어 창문으로만 외기의 직접적인 유입이 가능하지만 겨울철에 창문을 개방해 두는 병실은 거의 없었으며, 환자의 안정을 위하여 난방장치는 24시간 가동되고 있었다. 그리하여 실내 PMV는 쾌적하게 유지될 수 있지만, CO₂의 농도가 높게 올라가는 것을 보아 HVAC 설비의 환기량이 필요량 이하로 작동되는 것으로 사료된다.

이번 연구의 결과는 겨울철에 국한되어 다른 계절의 상황은 반영하지 못하였으며, 앞으로 1년간 측정을 통하여 사계절의 실내 온열환경에 대한 연구가 필요하다. CO₂는 실내환경의 질을 나타내는 지표로 온열환경과 직접적인 상관성은 없으나, 이번 연구에서는 기계환기를 실시하는 병원에서 연관성을 보기 위한 기초연구로 실시하였다.

V. 결 론

종합병원의 로비, 사무실, 식당, 병실의 PMV는 장소마다 다르게 나타났으며, 평균 PMV값이 가장 쾌적하게 나타난 곳은 병실이었으며, 쾌적도가 가장 낮은 측정장소는 로비였다. 이와 반대로 평균 CO₂ 농도가 가장 높게 나타난 곳은 병실이었으며, 가장 낮은 곳은 로비였다. 병실을 제외한 장소에서 실내 CO₂ 농도가 1000 ppm을 초과한 곳은 없었다. 모든 측정

장소에서 HVAC 시스템의 가동시간의 PMV는 비가동시간보다 쾌적하였다. PMV와 CO₂의 상관성은 사무실과 로비에서 높게 나타났으며, 식당과 병실에서 낮게 나타났다. 한 장소에서 PMV와 CO₂ 두 지표가 서로 상반된 쾌적환경임을 나타냈던 상황으로 보아 실내 쾌적성 평가 시 온열환경과 실내 공기 질의 상관성에 영향을 미치는 인자들의 종합적인 평가가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 보건복지부의 재원으로 재원으로 시행된 “융합기술을 활용한 건강한 생활환경과 에너지 통합관리 시스템의 개발” 연구과제[과제번호: HI13C1436]의 일환으로 수행하여 작성된 논문입니다.

References

1. Samet J, Marbury M, Spengler J. Health effects and sources of indoor air pollution. Part I. *The American Review of Respiratory Disease*. 1987; 136(6): 1486-1508.
2. Jones A. Indoor air quality and health. *Atmospheric Environment*. 1999; 33(28): 4535-4564.
3. Baek SO, Kim YS, Perry R. Indoor air quality in homes, offices and restaurants in Korean urban areas—indoor/outdoor relationships. *Atmospheric Environment*. 1997; 31(4): 529-544.
4. Berg SK, Flyvbjerg H. The colour of thermal noise in classical Brownian motion: a feasibility study of direct experimental observation. *New Journal of Physics*. 2005; 7(1): 38.
5. Dovjak M, Kukec A, Kristl Ž, Košir M, Bilban M, Shukuya M, et al. Krainer A. Integral control of health hazards in hospital environment. *Indoor and Built Environment*. 2013; 22(5): 776-795.
6. Verheyen J, Theys N, Allonsius L, Descamps F. Thermal comfort of patients: Objective and subjective measurements in patient rooms of a Belgian healthcare facility. *Building and Environment*. 2011; 46(5): 1195-1204.
7. Khodakarami J, Nasrollahi N. Thermal comfort in hospitals – A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012; 16(6): 4071-4077.
8. Smith R, Rae A. Thermal comfort of patients in hospital ward areas. *Journal of Hygiene*. 1977;

- 78(01): 17-26.
9. Hwang RL, Lin TP, Cheng MJ, Chien JH. Patient thermal comfort requirement for hospital environments in Taiwan. *Building and environment*. 2007; 42(8): 2980-2987.
 10. Khodakarami J, Knight I. Required and current thermal conditions for occupants in iranian hospitals. *HVAC&R Research*. 2008; 14(2): 175-193.
 11. Yau Y, Chew B. Thermal comfort study of hospital workers in Malaysia. *Indoor air*. 2009; 19(6): 500-510.
 12. Wang F, Lee M, Cheng T, Law Y. Field evaluation of thermal comfort and indoor environment quality for a hospital in a hot and humid climate. *HVAC&R Research*. 2012; 18(4): 671-680.
 13. Skoog J, Fransson N, Jagemar L. Thermal environment in Swedish hospitals: Summer and winter measurements. *Energy and Buildings*. 2005; 37(8): 872-877.
 14. Fanger PO. Assessment of man's thermal comfort in practice. *British Journal of Industrial Medicine*. 1973; 30(4): 313-324.