

## 보건의료시설의 실내 예상 평균 온열감(PMV), 이산화탄소 농도, 소음도, 조도의 통합실내쾌적도(IEQ<sub>h</sub>)를 통한 연간 실내 쾌적도 평가

이보람\*·이대엽\*\*·반현경\*·이세원\*·김규상\*\*\*·이기영\*†

\*서울대학교 보건대학원, 환경보건학과, 생활환경시스템 연구실

\*\*국립과학원, 환경건강연구부, 위해성평가연구과

\*\*\*서울의료원, 의학연구소, 환경건강연구실

### Evaluation of Annual Indoor Environment Quality in Hospitals using Various Comfort-related Factors

Boram Lee\*, Daeyeop Lee\*\*, Hyunkyung Ban\*, Sewon Lee\*, KyooSang Kim\*\*\*, Kiyoung Lee\*†

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

\*\*Risk Assessment Division, National Institute of Environmental Research, Gyeonggi-do, Korea.

\*\*\*Environmental Health Laboratory, Seoul Medical Centre, Seoul, Korea.

#### ABSTRACT

**Objectives:** A hospital is a complex building that serves many different purposes. The indoor environment in a hospital plays a major role in patient well-being and the work efficiency of the hospital staff. This study was conducted to evaluate overall comfort in two major hospitals over the course of one year.

**Methods:** Various indoor environmental conditions were measured in two general hospitals for one year (April 2014 to April 2015). Monitoring alternated between the hospitals at one month per respective monitoring session. The indoor air temperature, relative humidity (RH), mean radiant temperature and air velocity were measured in order to calculate the predicted mean vote (PMV). Carbon dioxide concentration, noise level and illumination level were concurrently measured and applied to the overall IEQ acceptance model for the hospitals (IEQ<sub>h</sub>).

**Results:** The IEQ<sub>h</sub> at the two general hospitals was different at five spaces within a building. The IEQ<sub>h</sub> for summer and winter were significantly different. Real-time IEQ<sub>h</sub> demonstrated that indoor comfort was affected by the hospital's operating hours due to operation of the HVAC system. The percentage of indoor comfort in the hospitals was higher using PMV than IEQ<sub>h</sub>.

**Conclusion:** IEQ<sub>h</sub> in the hospitals was different at locations with different purposes. Indoor comfort assessment using IEQ<sub>h</sub> was stricter than with PMV. Additional research is needed in order to optimize the IEQ<sub>h</sub> model.

**Key words:** Overall comfort, thermal comfort, noise, illumination, carbon dioxide

#### I. 서 론

실내 쾌적도는 실내 환경에 머무르는 인간의 육체

적, 정신적으로 안정된 상태를 말하며, 주로 온열 환경을 대상으로 평가되어 왔다. 온열 환경의 쾌적 정도는 Predicted mean vote (PMV)를 사용하여 가장

†Corresponding author: 1 Gwanak-ro Gwanak-gu, Graduate School of Public Health, Seoul National University, Seoul 151-747, Korea. Tel: +82-2-880-2735, Fax: +82-2-762-2888, E-mail: cleanair@snu.ac.kr

Received: 10 March 2017, Revised: 18 May 2017, Accepted: 23 May 2017

많이 평가되어 왔으며,<sup>1)</sup> PMV의 온열 쾌적도 평가는 인간과 주변 환경의 열 교환 작용을 근거로 이루어진다. 평가에 관여하는 요인들은 온도, 습도, 복사열, 기류의 환경적 요인과 인간의 활동도, 의복 상태의 개인적 요인이 필수적이며, -3에서 3까지의 범위 값으로 온열쾌적도를 나타낸다.

복합적인 환경요인을 이용한 쾌적도 평가 연구는 2008년 홍콩에서는 예상 온열 쾌적도, 실내공기 질, 소음도, 조도를 통합하여 실내 쾌적도를 평가하는 실내 통합 쾌적도(IEQ) 모델을 개발하였다.<sup>2)</sup> 이 모델은 홍콩의 한 사무실 건물의 293명의 재실자들을 대상으로 실내 통합 쾌적도를 조사하여 모델에 적용하였으며, 예상 온열 쾌적도 (PMV), 이산화탄소 농도, 소음도, 조도 레벨에 따른 재실자의 쾌적도를 평가하여 통합 실내 쾌적도를 산출하였다. 또한 중국의 공립학교 건물을 대상으로 재실자의 만족도와 환경요인 측정을 결합한 쾌적도 예상 모델을 개발하기도 하였다.<sup>3)</sup>

기존의 사무실 건물을 대상으로 개발되었던 IEQ 모델을 병원의 조도 기준을 적용한 병원의 통합실내 쾌적도 (Indoor environmental quality for hospital, IEQ<sub>h</sub>) 모델도 개발된 바 있다.<sup>4)</sup> 홍콩의 사무실 모델은 조도의 쾌적 기준(Good condition)을 600 lux로 설정하였으나, 국내 종합병원의 일반적인 실내 조도 기준을 적용하여 300 lux를 쾌적 기준으로 설정하여 모델을 재구축하였다. 그 결과 국내 종합병원의 실내통합쾌적도가 장소 별로 약 16-34% 증가하였으며, 사무실의 모델을 그대로 종합병원에 적용할 경우 실내 쾌적도가 과소평가될 가능성이 있음을 알 수 있다.<sup>4)</sup>

종합병원 건물은 다양한 목적과 구실의 실내공간으로 이루어졌으며, 다양한 실내 환경과 여러 종류의 재실자들이 활동하는 복합 건물이다. 병원에는 진료실, 대기실, 수술실, 입원실, 사무실, 편의시설 및 식당과 같은 다양한 목적의 공간이 존재하며, 건물의 재실자는 병원 직원, 방문객과 같은 건강한 일반 사람들과 여러 질병을 가지고 있는 환자들로 매우 다양하다. 다양한 목적의 실내 공간마다 환경적 요인의 특성은 다를 수 있으며, 재실자의 심신 안정이 가장 중요시되는 공간인 병원 내에서는 각 실내 공간별 쾌적도의 평가가 필요하다.<sup>5)</sup>

본 연구는 종합병원의 통합 실내 쾌적도 평가를

위해 개발된 IEQ<sub>h</sub> 모델을 활용하여, 두 곳의 종합병원에서의 1년 동안의 실내 환경 측정 자료를 기초로 병원 실내의 다양한 목적의 실내 공간의 장소별, 계절 별, 시간대 별 IEQ<sub>h</sub>를 평가하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

본 연구는 2014년 4월 21일부터 2015년 4월 29일까지 서울과 경기도의 각 한 곳씩 총 두 곳의 종합병원을 격월로 이동하여 측정하였다. 병원(A)는 면적 22,155 m<sup>2</sup>, 13층(B3-10층) 규모의 종합병원으로 2014년 5, 7, 9, 11월, 2015년 1, 3월에 로비(1층), 건강검진센터(2층), 주사실(2층), 진료 대기실(2층), 간호사 스테이션(8층)을 대상으로 측정되었다. 병원(B)는 면적 99,909 m<sup>2</sup>, 18층(B4-14층) 규모로, 2014년 6, 8, 9월, 2015년 2, 4월에 로비(1층), 건강검진센터(2층), 주사실(2층), 응급실(B1층), 간호사 스테이션(9층)을 대상으로 측정되었다. 측정기의 설치 위치는 바닥에서 > 1m의 높이에 설치되었으며, 직사광선이나 직접적인 외기가 유입될 수 있는 출입문 근처나 창가를 피하되 통행과 이용에 불편을 주지 않는 공간에 설치하였다.

각 장소 별 실내 쾌적도 평가를 위하여 온도, 습도, 기류, 복사열의 측정 데이터로 PMV, PPD 값을 산출하였고, 주요 실내 쾌적성의 지표인 조도, 소음, 이산화탄소를 추가 요인으로 함께 측정하였다. 측정에 사용된 기기는 (주)옥타컴 (Daejeon, Korea)에서 직접 제작한 통합 측정 장비를 사용하였으며, 이산화탄소는 Telaire 7001 (GE Telaire®, MA, USA)로 측정되었으며, HOBO U12 Data logger (Onset Computer Corporation, MA, USA)로 데이터를 기록하였다. 제작된 통합 측정기에 사용된 센서의 종류와 사양은 다음과 같다 (Table 1).

본 연구는 2014년 4월 21일부터 2015년 4월 29일까지 1년 동안 서울과 경기도에서 각각 1곳씩 섭외된 종합병원에서 진행되었다. 이후, 섭외된 병원에서 연구진들이 현장 조사를 하여, 환자, 의료진, 및 기타 이용객이 빈번히 이용하는 장소를 각각 5곳을 선정하였다. 병원(A)은 면적 22,155 m<sup>2</sup>, 13층(B3-10층) 규모의 종합병원으로, 로비(1층), 건강검진센터(2층), 주사실(2층), 진료 대기실 (2층), 간호사 스테이션(8층), 병원(B)는 면적 99,909 m<sup>2</sup>, 18층(B4-14

**Table 1.** Detailed specifications of the sensor

	Factors	Model of sensors	Operation range	Accuracy
PMV	Temperature	PT100	-40 ~ 80 °C	± 0.5
	Relative humidity	SHT-75	0.5 ~ 95%	± 1.8%
	Air flow	F900	0.15 ~ 5.0 m/s	± 5%
	Mean radiant temperature	PT100	-40 ~ 80 °C	± 0.5
Others	Illuminance	TSL2560	0.1-40,000Lux	-
	Noise	TM-103	30 ~130 Db	± 1.5dB
	CO <sub>2</sub>	Telaire 7001	0 ~10,000ppm	± 5%

층) 규모로 로비(1층), 건강검진센터(2층), 주사실(2층), 응급실(B1 층), 간호사 스테이션(9층)에서 시설 이용객이 많은 것으로 나타났다.

병원마다 이용객이 많은 곳으로 선정된 5 장소에서 실내 쾌적도를 평가하기 위해 온도, 습도, 기류, 복사열을, 추가로 실내 쾌적성 지표인 조도, 소음, 이산화탄소를 측정하였다. 측정은 병원마다 격월로 진행되었으며, 병원(A)은 2014년 5, 7, 9, 11월 2015년 1, 3월 병원(B)은 2014년 6, 8, 9월, 2015년 2, 4월에 진행되었다. 측정은 병원 별 5 장소에서 1개월간 연속 측정되었다. 측정에 사용된 기기는 ㈜옥타컴 (Daejeon, Korea)에서 직접 제작한 통합 측정 장비를 사용하였으며(Table 1), 이산화탄소는 Telaire 7001 (GE Telaire®, MA, USA)로 측정, HOBO U12 Data logger (Onset Computer Corporation, MA, USA)로 데이터를 저장하였다. 제작된 통합 측정기에 사용된 센서의 종류와 사양은 다음과 같다 (Table 1). 모든 측정 기기는 출입문과 창가 및 보행자 통행에 불편함을 주지 않은 곳에 설치하여, 측정 인자에 영향을 미칠 수 있는 외기 유입 및 직사광선을 차단하였다.

수집된 온도, 습도, 기류, 복사열 데이터는 재실자의 의복 상태(clo), 활동량(met) 값을 적용하여 예상 온열 쾌적도(PMV)를 산출 하였으며,<sup>1)</sup> 재실자의 clo, met 값은 일주일에 1회 연구원이 측정 장소를 직접 방문하여 관찰 조사를 바탕으로 적용되었다. 또한 수집된 이산화탄소, 소음도, 조도의 데이터는 산출된 PMV 값과 함께 Wong *et al.* 의 모델 식을 적용하여 통합 실내 쾌적 지수를 계산하였다 (계산식 1-5). Wong의 모델은 홍콩의 사무실의 재실자 293명을 대상으로 실내 환경 측정과 재실자들의 실내 쾌적성 설문조사를 통하여 얻어낸 통합

실내 쾌적도 모델이다.

통합쾌적지수  $\theta$ 는 4가지의 환경 요인 데이터를 대입하여 계산할 수 있는데, 그 환경 요인들은 기온  $\xi_1$  (°C), 이산화탄소 농도  $\xi_2$  (ppm), 소음도  $\xi_3$  (dB(A)) 그리고 조도  $\xi_4$  (Lux) 가 해당된다.

$$\varnothing_1 = 1 - \frac{PPD^*}{100} \quad (1) \text{ Thermal comfort}$$

$$\varnothing_2 = 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{1}{1 + \exp(3.118 - 0.00215\xi_2)} - \frac{1}{1 + \exp(3.230 - 0.00117\xi_2)} \right) \\ 500 \ll \xi_2 \ll 1800, \quad (2) \text{ Indoor air quality}$$

$$\varnothing_3 = 1 - \frac{1}{1 + \exp(9.540 - 0.134\xi_3)}; \\ 45 \ll \xi_3 \ll 72, \quad (3) \text{ Noise}$$

$$\varnothing_4 = 1 - \frac{1}{1 + \exp(-1.017 + 0.00558\xi_4)}; \\ 200 \ll \xi_4 \ll 1600. \quad (4) \text{ Illuminance}$$

$$\varnothing = 1 - \frac{1}{1 + \exp(k_0 + \sum_{i=1}^4 k_i \varnothing_i)} \quad (5) \text{ Overall IEQ acceptance}$$

\*Predicted Percentage Dissatisfied

$$= 100 - 95 e^{-(0.03353 * PMV^4 + 0.2179 * PMV^2)}$$

Wong의 모델에서 293명의 재실자의 평가 값을 적용한 k값은 다음과 같이 산출되었다.

$$k_i = -15.02, 6.09, 4.88, 4.74, 3.70 ; i = 0, \dots, 4.$$

위의 Wang *et al.* 모델에서 종합병원의 일반적인 조도 기준(300lux)을 적용하여 모델을 보정하였으

며, 보정된 모델 식은 다음과 같다 (Lee, 2015).

$$\varnothing_4 = 1 - \frac{1}{1 + \exp(-1.017 + 0.010719\xi_4)};$$

200  $\ll \xi_4 \ll 1600$  (6) Adjusted illuminance

최종적으로 산출된  $\varnothing$  는 0~1의 범위를 가지며,  $\varnothing \geq 0.9$  일 때 ‘ 좋음’,  $0.8 \leq \varnothing < 0.9$  는 ‘ 보통’,  $\varnothing \leq 0.4$  는 ‘ 나쁨’ 상태의 실내 쾌적도를 나타낸다.

수집된 온도, 습도, 기류, 복사열 데이터는 재실자의 의복 상태(clo), 활동량(met) 값을 적용하여 예상 온열 쾌적도(PMV)를 산출하였으며,<sup>1)</sup> 재실자 clo, met 값은 측정이 진행되고 있는 병원 내 측정 장소에 연구원 1주일에 1회 정기적으로 방문하여 실제 병원 이용객들의 의복 상태 및 활동량을 확인하여 선정하였다. 또한 수집된 이산화탄소, 소음도, 조도의 데이터는 산출된 PMV 값과 함께 Wong *et al.* 의 모델 식을 적용하여 통합 실내 쾌적 지수를 계산하였다 (계산식 1-5). Wong의 모델은 홍콩의 사무실의 재실자 293명을 대상으로 실내 환경 측정과 재실자들의 실내 쾌적성 설문조사를 통하여 얻어낸 통합 실내 쾌적도 모델이다. 통합 쾌적 지수  $\theta$  는 4가지의 환경 요인 데이터를 대입하여 계산할 수 있는데, 그 환경 요인들은 기온  $\xi_1$  (°C), 이산화탄소 농도  $\xi_2$  (ppm), 소음도  $\xi_3$  (dB(A)) 그리고 조도  $\xi_4$  (Lux) 가 해당된다.

측정된 데이터는 각 병원 별 장소의 운영시간을 추출하여 기술 통계분석을 하였으며, 계절 별 분석은 냉, 난방을 가동하는 여름 (6, 7, 8월), 겨울철 (12, 1, 2월) 데이터만을 분석하였다. 두 병원의 여름(6, 7, 8월), 봄(3, 4, 5월)/가을(9, 10, 11월), 겨울철 (12, 1, 2월)의 장소 별 24시간 실시간 평균 데이터 역시 각 장소의 운영 시간의 데이터를 추출하여 분석하였다. 기술 통계분석에는 통계 패키지 프로그램 SAS 9.3(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 사용하였으며, 24시간 실시간 평균 데이터는 Sigma plot 10.0(Systat Software Inc., San Jose, CA, USA)을 이용하여 실시간 그래프를 작성하였다. 각 시설의 여름과 겨울의 장소 간 IEQh 차이는 분산분석으로 평균을 비교하였다. 각 장소 내에서 계절 간의 IEQh 차이는 T-test로 평균을 비교하였으며 사후 검

정은 Tukey의 방법을 사용하였다.

### III. 결 과

국내 두 곳의 종합병원에서 1년에 걸친 환경요인 측정 결과를 바탕으로 평가한 IEQh는 0.9 이상일 때 좋음, 0.8 이상 0.9미만일 때 보통 그리고 0.4이하일 때 나쁨을 나타내며 그 결과는 다음과 같다 (Table 2). 병원 A의 로비의 경우 2014년 7, 9, 11월과 2015년 1월에 0.9 이상을 좋음 상태를 나타냈으며, 2014년 5월, 2015년 3월에 0.8 이상 0.9 이하로 보통 상태를 나타냈다. 주사실은 2014년 5, 7, 9, 11월, 2015년 3월에 0.9 이상으로 좋음 상태를 나타냈으며, 2015년 1월에 0.8로 보통 상태를 나타냈다. 건강검진센터의 경우는 2014년 11월만 0.9 이상으로 좋음 상태였으며, 2014년 7, 9월과 2015년 1, 3월에 0.8 이상 0.9 이하로 보통 상태, 2014년 5월에는 0.71로 보통 이하의 IEQh를 나타냈다. 간호사 스테이션은 2014년 5, 7월에 0.9 이상으로 좋음 상태, 2014년 11월과 2015년 3월에 0.8 이상 0.9 이하로 보통 상태, 2014년 9월과 2015년 1월에 0.8 이하로 보통 상태 이하의 상태로 나타났다. 진료 대기실의 경우, 2014년 5월에 0.9 이상으로 좋음 상태, 2014년 7, 11월에 보통 상태, 2014년 9월과 2015년 3월에 보통 이하의 상태를 나타냈다.

병원 B의 경우, 로비에서 2014년 6월과 2015년 4월에 0.9 이상으로 좋음 상태, 2014년 10월에 0.8 이상 0.9 이하로 보통 상태, 2014년 8, 12월에는 0.8 이하로 보통 이하의 상태를 나타냈다. 주사실의 경우는 2014년 8월에 0.9 이상으로 좋음 상태, 2014년 10, 12월과 2015년 2, 4월에 0.8 이상 0.9 이하로 보통 상태, 2014년 6월에는 보통 이하의 상태를 나타냈다. 건강검진센터는 측정이 시행된 달 모두 0.8 이하의 IEQh로 보통 이하의 상태를 나타냈다. 간호사 스테이션의 경우에는 2014년 6, 8월에 보통 상태, 2014년 10, 12월과 2015년 4월에는 보통 이하의 상태를 나타냈으며, 2014년 12월의 IEQh는 0.43으로 나쁨 상태에 가까웠다. 응급실의 IEQh는 2014년 8, 10, 12월과 2015년 2월에 좋음 상태, 2014년 6월과 2015년 4월에 보통 상태를 나타냈다.

병원 A와 B의 계절별, 장소 간 IEQh 통계학적 차이의 분석 결과 다음과 같다(Table 3, 4). 병원 A의

**Table 2.** Monthly average IEQ/h and standard deviation of hospital A and B

Hospital	Year	Month	Lobby	Injection room	Health screen center	Nurse station	Emergency room	Waiting room
A	2014	5	0.85±0.07	0.96±0.10	0.71±0.07	0.95±0.11	NA	0.97±0.11
		7	0.93±0.11	0.96±0.13	0.88±0.09	0.95±0.02	NA	0.86±0.14
		9	0.92±0.16	0.95±0.12	0.88±0.17	0.76±0.04	NA	0.76±0.22
		11	0.93±0.07	0.97±0.11	0.93±0.07	0.87±0.03	NA	0.82±0.25
	2015	1	0.92±0.25	0.80±0.16	0.88±0.29	0.71±0.07	NA	0.75±0.28
		3	0.89±0.24	0.94±0.14	0.85±0.27	0.87±0.03	NA	0.66±0.29
B	2014	6	0.91±0.04	0.62±0.10	0.72±0.13	0.83±0.27	0.86±0.04	NA
		8	0.75±0.04	0.93±0.11	0.54±0.12	0.87±0.03	0.92±0.02	NA
		10	0.81±0.07	0.84±0.13	0.72±0.10	0.75±0.16	0.94±0.03	NA
		12	0.67±0.27	0.88±0.11	0.68±0.17	0.43±0.12	0.91±0.07	NA
	2015	2	-	0.85±0.12	0.65±0.13	-	0.92±0.08	NA
		4	0.93±0.12	0.81±0.06	0.74±0.05	0.76±0.23	0.88±0.03	NA

Overall IEQ/h acceptance: Good IEQ ( $\bar{O} \geq 0.9$ ), Average IEQ ( $0.8 \leq \bar{O} < 0.9$ ), Bad IEQ ( $\bar{O} \leq 0.4$ )  
 -: data was not collected due to instrument error

**Table 3.** Difference of average IEQ/h between summer and winter in hospital A

Hospital A			
Location	Summer	Winter	* p-value
Lobby	0.86±0.13 <sup>a</sup>	0.82±0.13	<0.001
Injection room	0.85±0.12 <sup>a</sup>	0.64±0.18 <sup>b</sup>	<0.001
Health screen center	0.71±0.13	0.55±0.29	<0.001
Nurse station	0.95±0.02	0.70±0.11	<0.001
Waiting room	0.79±0.13	0.61±0.26 <sup>b</sup>	<0.001
** p-value	<0.001	<0.001	

\* Difference of IEQ between each location by season.  
 \*\* Difference of IEQ between summer and winter by location.

**Table 4.** Difference of average IEQ/h between summer and winter in hospital B

Hospital B			
Location	Summer	Winter	* p-value
Lobby	0.78±0.16	0.44±0.27	<0.001
Health screen center	0.57±0.17	0.56±0.15	0.62
Injection room	0.67±0.13	0.75±0.12	<0.001
Nurse station	0.79±0.12	0.42±0.1	<0.001
Emergency room	0.87±0.05	0.89±0.07	<0.001
** p-value	<0.001	<0.001	

\* Difference of IEQ between each location by season.  
 \*\* Difference of IEQ between summer and winter by location.

로비, 주사실, 건강검진센터, 간호사 스테이션, 진료 대기실의 여름과 겨울의 평균 IEQ/h의 차이는 모두 통계학적으로 유의미하게 차이가 있었다 ( $P < 0.001$ ).

여름철 장소 간 평균 IEQ/h는 접수처와 간호사 스테이션( $P = 0.89$ )을 제외하고 모두 차이가 있었으며, 겨울철 장소 간 평균 IEQ/h는 주사실과 진료 대기실( $P$

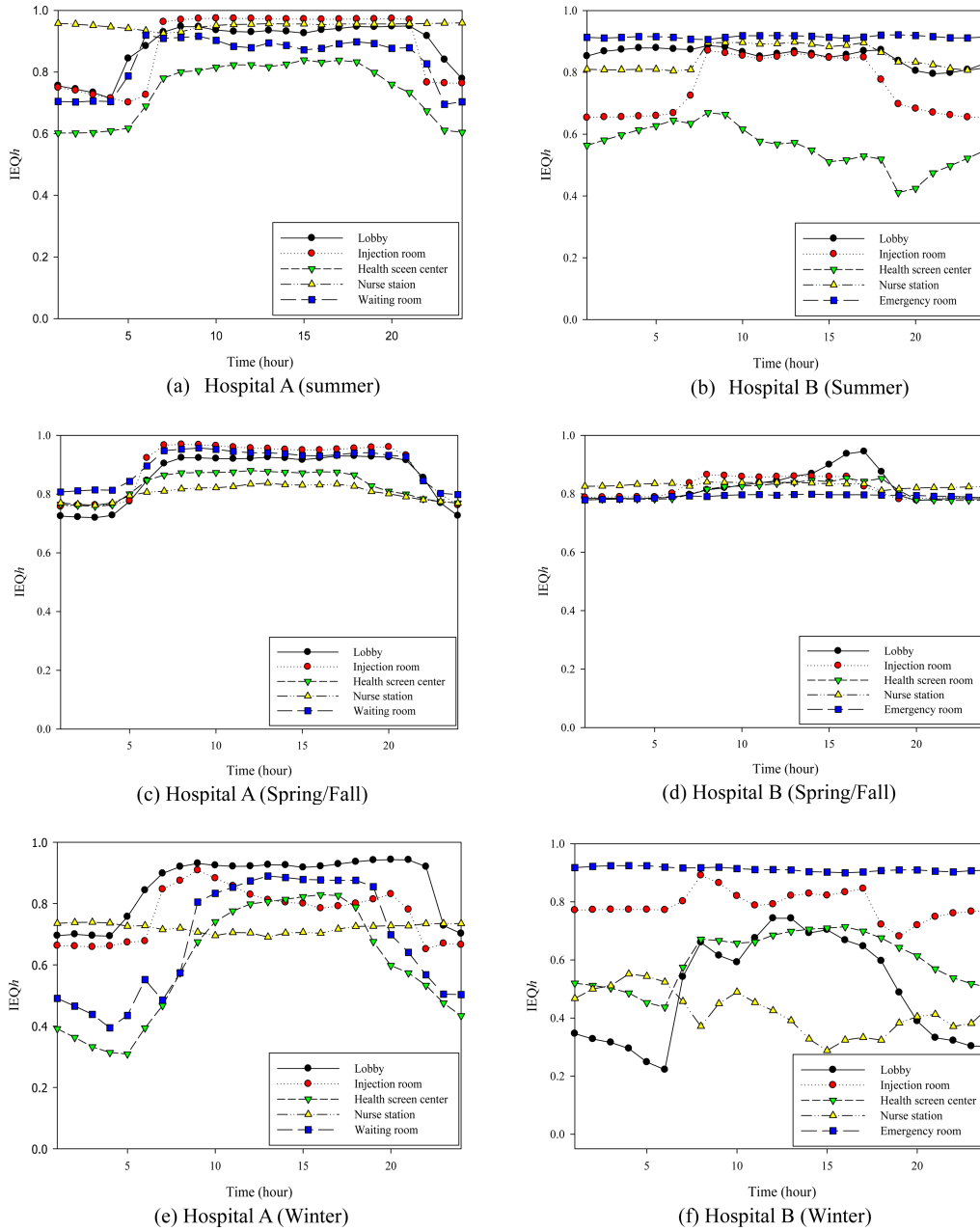


Fig. 1. 24 hours real-time IEQ/h profile of hospital A and B by seasons

=0.06)을 제외하고 모두 차이가 있었다.

병원 B의 여름과 겨울 간 평균 IEQ/h의 차이는 건강검진센터( $P=0.62$ )를 제외한 모든 장소에서 유의하게 나타났다 ( $P<0.001$ ). 여름철 장소 간의 평균 IEQ/h의 차이는 모든 장소에서 유의하게 다르게 나타났으

며, 겨울철 장소 간 차이는 로비와 간호사 스테이션 ( $P=0.31$ )을 제외한 나머지 모든 장소 간에서 유의하게 다르게 나타났다.

병원 A, B의 24시간 IEQ/h를 냉, 난방을 가동하는 여름과 겨울 그리고 가동하지 않는 봄, 가을로 나누

**Table 5.** Percentage of meeting the comfort range of PMV and IEQ<sub>h</sub>

		Lobby	Injection room	Health screen center	Nurse station	Waiting room	Emergency room
Hospital A	PMV	65.0 %	62.0 %	28.9 %	22.6 %	34.5 %	-
	IEQ <sub>h</sub>	33.8 %	42.9 %	13.6 %	33.4 %	27.9 %	-
Hospital B	PMV	70.2 %	39.2 %	48.1 %	21.3 %	-	72.4 %
	IEQ <sub>h</sub>	23.0 %	5.6 %	0.8 %	8.9 %	-	54.2 %

-: Not measured

어 분석한 결과는 다음과 같다(Fig. 1). 냉방을 가동하는 여름의 24시간 IEQ<sub>h</sub>의 프로파일은 진료가 시작되는 병원 A의 경우, 오전 시간 이후로 모든 장소에서 증가하였으며 건강검진센터를 제외한 장소에서 0.8 이상으로 유지되었다. 병원 B의 경우에도 오전 시간 이후로 0.8 이상으로 유지되었으며, 건강검진센터의 경우 0.6 대를 유지하다가 0.4에 가까이 하락하는 경향을 나타냈다. 냉, 난방을 가동하지 않는 봄과 여름의 24시간 IEQ<sub>h</sub>는 병원 A, B의 5곳의 장소에서 비슷한 추세를 나타냈으며, 병원 B는 5곳에서 거의 같은 실시간 IEQ<sub>h</sub> 값을 유지하였다. 난방을 가동하는 겨울철의 경우 병원 A, B 모두에서 장소 간의 큰 차이의 실시간 IEQ<sub>h</sub>의 추이를 나타냈다. 병원 A의 간호사 스테이션은 24시간 운영되는 곳으로 0.7선에서 일정하게 24시간 유지되었으나, 병원 B의 간호사 스테이션은 오전 10시 이후로 감소하여 오후에는 0.4 이하로 하락하였다. 반면에 응급실의 경우 0.9 이상으로 24시간 동안 유지되었다.

PMV의 온열 쾌적 기준인 -0.5~0.5를 만족시키는 시간의 비율과 IEQ<sub>h</sub>의 쾌적 기준인 0.9 이상을 만족하는 시간 비율을 비교한 표는 다음과 같다 (Table 5). 대부분의 장소에서 PMV의 쾌적 범위를 만족한 비율은 IEQ<sub>h</sub> 쾌적 기준을 만족한 비율보다 높았으며 최소 약 1.6배에서 최대 약 60배 비율의 차이를 보였다. 병원 A의 간호사 스테이션은 IEQ<sub>h</sub>의 쾌적 범위 만족 비율이 33.4%로 PMV의 만족 비율인 22.6% 보다 더 높게 나타났으며, 병원 B의 건강검진센터는 48.1% 시간 비율이 PMV의 쾌적 기준을 만족시켰지만 IEQ<sub>h</sub>로 평가한 결과 0.8%에 그쳤다.

#### IV. 고 찰

현재까지 진행된 병원의 실내 환경의 쾌적도에 관

한 연구는 온열 환경을 주 요인으로 온열 쾌적도를 평가하는 방향으로 진행되어왔다. 병원의 쾌적도 연구는 주로 계절에 따른 PMV를 통하여 실내 재실자의 온열 쾌적도 수준을 비교하는 연구가 수행되었으며,<sup>6,7</sup> 환자의 나이, 건강 상태, 성별에 따른 온열 쾌적도 연구도 이루어졌다.<sup>8</sup> 하지만 종합병원의 실내 이산화탄소, 소음, 조도 등의 추가 실내 환경 요인의 장기간 측정으로 분석된 연구는 수행된 적이 없으며, 이러한 요인을 모두 포함한 통합 실내 쾌적도의 연구 또한 수행된 적이 없다. 병원은 여러 질병을 가진 환자들이 방문하고 생활하는 곳으로 실내 환경 연구 접근 및 측정에 제한이 많은 편이며, 이런 면에서 본 연구의 결과는 종합병원의 실내 환경 연구 결과에 큰 의의를 가지고 있다고 사료된다.

두 곳의 병원의 각 건물 내에 위치한 5곳의 장소별 IEQ<sub>h</sub>는 통계적으로 유의하게 차이가 있었다. 이는 특히 냉·난방을 시스템을 가동하는 여름과 겨울에 나타났으며, 이는 같은 건물 내에서도 실내 환경 요인의 차이가 있음을 나타낸다. 과거 보건의료시설 건물의 PMV 평가 결과 장소 별로 차이를 나타냈었다.<sup>7</sup> 같은 층에 위치한 공간이라도 치밀하게 차폐되지 않은 공간에서는 공기의 누기로 인하여 냉·난방 시스템의 효율이 떨어져서 공간적 온열쾌적도의 차이를 초래하는 것으로 조사되었다.<sup>6</sup> 또한 종합병원 건물 내 층수에 따라 실내 온도와 복사열의 차이가 유의하게 나타났다.<sup>9</sup> 이는 층별 창문의 크기와 개폐 여부, 건물의 구조와 기류의 흐름에 따른 차이에서 비롯될 수 있다.<sup>10</sup>

실내 환경은 외부의 기후 영향을 크게 받으며, 특히 냉난방 가동이 이루어지는 여름과 겨울에는 그 차이가 더 크게 나타난다. 병원 직원들의 PMV를 평가한 결과 여름과 겨울의 PMV는 여름철에 최소 0.44에서 최대 1.18였으며, 겨울철 최소 -1.08에서 최

대 0.78로 두 계절 간 통계적으로 유의한 차이가 나타났다.<sup>6)</sup> 또한 계절 중 여름과 겨울에 온열 환경에 대한 불만족도가 높았는데, 겨울의 불만족 비율은 91%, 여름은 67%로 겨울의 불만족 비율이 높게 나타났다<sup>11)</sup> 본 연구결과 IEQh의 만족 비율이 겨울철에 더 낮아 같은 결과를 나타냈다.

두 병원의 각 측정 장소는 24시간 운영되는 간호사 스테이션과 응급실을 제외하고, 8:00에서 17:30 운영되고 있으며 실시간 IEQh는 운영 시간에 영향을 받는 경향이 있었다. 특히 병원 A의 간호사 스테이션과 병원 B의 응급실은 24시간 거의 일정하게 유지되었으며, 두 병원 모두 겨울철의 실시간 IEQh의 변화 폭이 가장 컸다. 과거 종합병원의 실내 온열 쾌적도 평가 결과 연구를 보면 겨울엔 점심시간대에 그리고 여름엔 오전 시간이 다른 시간대에 비하여 상대적으로 더 쾌적한 결과를 나타냈다.<sup>6)</sup> 하지만 본 연구 결과는 오전 오후 시간에 따른 영향을 크게 받지 않으며, 운영시간 즉 공조 시스템 및 냉난방 가동 시간에 따른 영향을 더 크게 받았다. 또한 선행연구는 PMV의 계절 차이를 분석하였는데, PMV는 IEQh보다 복사열 등의 영향을 더 크게 받기 때문에 건물에 받는 일조량에 따른 시간적 차이가 나타났을 가능성이 존재한다.

PMV로 평가된 실내 온열 쾌적도는 IEQh 보다 과대평가하는 경향을 보였다. 이는 본 연구에서 측정된 실내 이산화탄소 농도, 소음, 조도의 측정치가 반영되었을 때 PMV를 이용한 평가보다 쾌적도 평가 결과가 떨어졌음을 나타낸다. 두 평가 지표의 차이가 가장 많이 났던 장소는 병원 B의 건강검진센터로 이러한 차이의 원인으로는 조도의 수준이 낮게 유지되어 IEQh에서 매우 낮은 쾌적 범위 만족률을 보였다. 병원 A의 간호사 스테이션은 PMV보다 IEQh에서 더 높은 쾌적 범위 만족 비율을 나타낸 장소이다. 고급 주거 건물의 재실자들을 대상으로 실내 쾌적도 평가를 실시한 결과 온열 환경, 실내 공기 질의 청정도, 소음, 악취 등의 요인이 실내 쾌적에 영향을 주는 것으로 나타났으며,<sup>12)</sup> 실내쾌적도에 관한 연구 결과 온열 환경 이외에도 실내공기 질, 소음, 빛 환경 등의 영향을 주는 것으로 조사되었다.<sup>13)</sup>

IEQh의 평가 결과 쾌적도가 가장 낮았던 건강검진센터의 경우 일반 진료실에 비하여 유동인구가 적은 장소였다. 평가 결과에 따른 실내 환경을 관리할

경우 이용 인원이 적은 곳에 실내 환경 관리가 이루어져 올바른 에너지 소비가 이루어지지 않아 효율적인 우선 관리가 힘들 수 있다. 실내 쾌적도 평가 결과와 실내의 각 이용 인원의 실시간 평가가 동시에 이루어진다면 수요기반의 효율적인 실내 환경 관리와 쾌적도 관리가 가능할 것이다. 또한 IEQh 평가 모델의 구체적인 검증 및 최적화를 위하여 모델 평가 값과 함께 의료시설 재실자들의 체감 결과를 비교 연구 또한 추가로 수행되어야 할 것이다.

## V. 결 론

종합병원의 IEQh는 같은 건물 내의 5곳의 공간에서 모두 다르게 나타났으며, 여름과 겨울의 IEQh 또한 통계적으로 유의하게 달랐다. 또한 실시간 실내 IEQh는 병원의 운영시간 즉, 공조 시스템 및 냉난방의 가동 시간에 영향을 받았다. 실내 쾌적도를 PMV만으로 평가할 경우 IEQh로 평가할 때 보다 과대평가되는 경향이 있으며, 통합 실내 쾌적 평가를 위해서는 온열 환경 이외에 여러 요인들이 종합적으로 적용되는 것이 바람직하다고 사료된다. IEQh를 통하여 종합병원의 실내 쾌적도를 정량적으로 평가하기 위해 모델 값과 실제 재실자들의 주관적인 실내 쾌적도를 조사하여 모델을 최적화하는 추가 연구가 수행되어야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 보건복지부의 사회서비스 R&D 사업의 연구과제 “융합기술을 활용한 건강복지 공동이용시설의 통합 시스템의 개발” (과제번호: HI13C1436) 재원으로 수행되었습니다.

## References

1. Fanger PO. Assessment of man's thermal comfort in practice. *British journal of industrial medicine*. 1973;30(4):313-324.
2. Wong LT, Mui KW, Hui PS. A multivariate-logistic model for acceptance of indoor environmental quality (IEQ) in offices. *Building and Environment*. 2008;43(1):1-6.
3. Cao B, Ouyang Q, Zhu, YX, Huang L, Hu HB,



- Deng GF. Development of a multivariate regression model for overall satisfaction in public buildings based on field studies in Beijing and Shanghai. *Building and Environment*. 2012;47:394-399.
- Lee B. Evaluation of overall comfort in hospitals in summer using various comforts related factors. [Seoul]: Seoul National University; 2015
  - Balaras CA, Dascalaki E, Gaglia A. HVAC and indoor thermal conditions in hospital operating rooms. *Energy and Buildings*. 2007;39(4):454-470.
  - Pourshaghaghay A, Omidvari M. Examination of thermal comfort in a hospital using PMV-PPD model. *Applied ergonomics*. 2012;43(6):1089-1095.
  - Khodakarami J. Achieving thermal comfort in Iranian hospitals, University of Wales, [Cardiff] 2008
  - 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.
  - 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.
  - Park YW, Yoo HS, Hong HK. Analysis of heating energy in a Korean-style apartment building 3: The effect of room condition settings. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*. 2005;17(8):722-728.
  - Nikolopoulou M, Steemers K. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings*. 2003;35(1): 95-101.
  - Lai JH, Yik FK. Perception of importance and performance of the indoor environmental quality of high-rise residential buildings. *Building and Environment*. 2009;44(2):352-360.
  - Choi JH, Aiz A, Loftness V. Decision support for improving occupant environmental satisfaction in office buildings: The relationship between sub-set of IEQ satisfaction and overall environmental satisfaction. Proceedings of the 9th International Conference Healthy Buildings. 2009; Syracuse, NY USA.