

재실인원에 따른 동절기 대학 실내공연장의 IEQ 현황 진단

Diagnosis of Indoor Environmental Characteristics with Varying Occupancy in a University Performance Hall During Winter

○신 은 송* 이 규 남** 김 철**
Shin, Eun-Song Rhee, Kyu-Nam Kim, Chul

Abstract

The study evaluated the indoor environment quality (IEQ) of an aging university performance hall in Busan during the winter season. The experiment measured indoor environmental factors including air temperature, humidity, CO₂, and particulate matter with varying occupancy levels. A pre-survey captured occupant perceptions of thermal comfort and indoor air quality, which was compared to the experiment results. Also, the experiments revealed that CO₂ density significantly increased during different events due to insufficient ventilation, and particulate matter spiked during audience entry and movement. During the experiments, indoor air temperature and humidity fluctuated, affecting thermal discomfort in some areas in the performance hall. In the results, outdated HVAC systems and inactive ductwork had impacted IEQ compared to external outdoor conditions, which highlights the importance of HVAC system upgrades and IEQ controls.

키워드 : 대학공연장, 온열환경, 실내공기질, 동절기

Keywords : University performance hall, Thermal environment, Indoor air quality, Winter season

1. 서론

현대 도시는 산업화 및 도시화에 따라 실내활동 비중이 매우 높은 사회구조를 형성하고 있다. 특히 대학공연장, 강당, 도서관 등 공공 다중이용시설의 경우, 대규모 인원이 짧은 시간에 집단적으로 입·퇴장하며, 장시간에 걸쳐 장시간동안 공간 내에 머무른다는 점에서 IEQ관리의 중요성이 더욱 부각된다. 온도와 습도의 미세한 불균형은 관람객의 불쾌, 집중력 저하, 피로 누적 등 부정적 체감으로 이어질 수 있으며, 공간 곳곳의 온열환경 편차는 좌석별 공연 만족도와 몰입도를 좌우하는 주요 변인으로 작용한다(Frontczak et al., 2011). 이에 본 연구는 동절기 대학 내 노후화된 공연장이라는 재실인원 변동이 큰 다중 이용공간을 대상으로 실내환경 품질(IEQ) 현황을 진단하였다. 기존 연구들이 실내공기질(IAQ)에 국한하거나 소규모 밀폐 공간 중심으로 이루어진 반면, 본 연구는 대형 공공시설인 대학극장의 공간 및 이용밀집도 변화에 따른 IEQ요소 실시간 진단을 수행한 점에서 향후 유사 대공간의 관리 기준 검토와 심화 연구를 위한 기초자료로 활용할 수 있다.

* 국립부경대학교 건축공학과 학사과정

** 국립부경대학교 건축공학과 교수, Ph.D.

(Corresponding author : Dept. of Architectural Engineering,
Pukyong National University, chulkim@pknu.ac.kr)

이 연구는 2024년도 한국연구재단 연구비 지원에 의한 결과의 일
부임. 과제번호: RS-2024-00391692

2. 연구 방법 및 목적

2.1 실험 대상 공간

본 연구는 부산광역시에 위치한 00대학교의 대학극장에서 실시하였다. 동절기 대학 내 공연장은 재실인원 변동이 크고, 온습도·공기질 수치가 자주 급변하는 특징이 있다. 해당 공연장은 1985년에 준공되어 노후 상태이며, 2004년 부분 리모델링 이후 전형적인 강당 및 다목적 문화시설로 사용되고 있다. 대학극장의 좌석은 지상 2층 500평 규모로 실내는 1층 493석, 2층 300석(총 793석)으로 구성되어 있다. 난방 및 냉방은 각 8대의 천장형 에어컨/히트펌프와 무대측 별도 스탠드형 유닛(2대)으로 이루어져 있으며 덕트형 기계 환기설비(전열교환기)는 고장 상태였다. 본 연구는 대학극장 공연장 환경에서 재실 밀도와 좌석 위치에 따른 주요 환경변수(온습도, CO₂, 미세먼지 등)의 실시간 변화를 정량적으로 분석하고, 공간별·밀집도별 실내 공기질 특성 및 쾌적성 저해 요인을 규명하였다.

2.2 측정 장비 및 실험 일정

본 연구는 대학극장의 실내환경 모니터링을 위해 온열환경, 이산화탄소, 미세먼지 농도를 측정하였다. 본 장비들은 실제 공연장 환경에서 시간별, 위치별 환경변화를 동시에 다점으로 관측하기에 적합하며 기기별 지점 배치는 1층 앞 및 중앙측, 2층 중앙, 옥외 지점에 각각 배치하였다(그림 1). 표 2는 재실밀도에 따른 실험은 2024.11.8(저밀도)와

2025.1..16(고밀도) 두 차례 진행되었으며 각기 다른 환경 및 실험 조건에서 실내환경 특성을 비교·분석할 수 있도록 하였다.

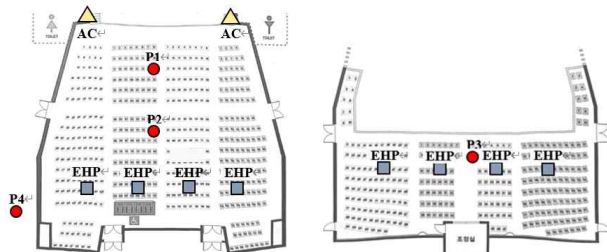


그림1. 1층&2층 좌석별 기기배치도

표2. 재실 밀도에 따른 실험 조건

Category	Content	
	Low-occupancy	High-occupancy
Experiment Setup	- Date: 2024.11.08 - Time: 18:30-21:00 - Occupancy 1F: 120/493 2F: 0/300	- Date: 2025.01.16 - Time: 9:00-11:30 - Occupancy 1F: 360/493 2F: 193/300
	- P1: TR-74Ui/76Ui - P2: TR-74Ui/76Ui - P3: TR-74Ui, TSI - P4: KMA data	- P1: TR-74Ui/76Ui - P2: TR-74Ui/76Ui/TSI - P3: TR-74Ui/76Ui/TSI - P4: TR-74Ui
EHP	8 units (ceiling mounted) operated at 30°C	8 units (Ceiling mounted) operated at 30°C
AC	2 units (stand alone), operated at 30°C	2 units (stand alone), operated at 30°C

3. 측정 결과 분석

3.1 저밀도 실험 결과

저밀도(24.3%) 실험은 18:00분경 객석 입장이 시작되며 온도와 습도 모두 완만하게 상승했다. 행사 진행 중 1층 온도는 20°C에 가까이 올랐으며, 20:35분경 최고온도인 21.2°C까지 이르렀다. 20:35분 이후 관객의 퇴장과 외기 유입으로 인해 온습도 모두 감소한다. 전반적으로 1층이 2층에 비해 온도는 더 높게, 습도는 더 낮게 나타났다.

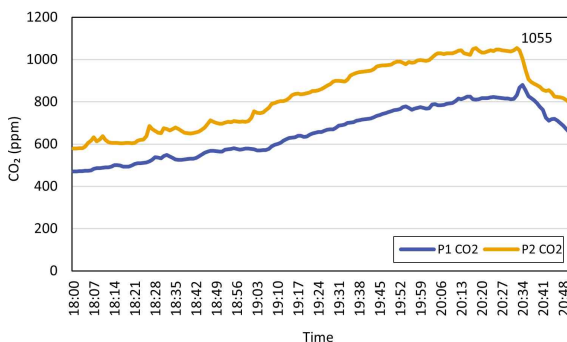


그림2. 1층(P1, P2) CO₂ 측정 결과

그림2에 따라 입장 시작 시간대(18:00)에는 CO₂ 농도가 낮았으나 관객 입장과 함께 서서히 상승하였다. 객석 밀집도에 따라 전반적으로 P2의 CO₂ 농도가 P1보다 높음을 확인할 수 있다. 행사 진행 중에는 P1, P2 모두 농도가 꾸준히 상승했고, 20:32분경 P2에서 최고치 1055ppm까지 도

달했다. 이후 관객 퇴장과 동시에 극장문의 개방으로 CO₂ 농도가 점차 감소한다. PM농도는 관객 입장 및 이동 시에 높게 나타나고 관객이 착석한 이후에는 객석의 활동 감소로 안정적인 값을 유지하였다.

3.2 고밀도 실험 결과

고밀도(72.8%) 조건에서의 실험은 그림3에 따르면 관객 입장 이후 단기간에 온도가 급격히 상승하는데, 이는 고밀도 재실인원에 따른 체온과 실내 난방의 복합적인 영향으로 볼 수 있다. 또한 2층 천장면의 EHP가 1층에 비해 관객석과 가까워 1층과의 온도 차이가 대략 3°C 정도로 더 높게 유지되었다. 습도는 전반적으로 30% 내외로 유지되었으며 온도 상승 이후 상대적으로 감소하는 경향을 보였다. 전체적으로 대학극장 내부의 CO₂ 농도는 시간 경과에 따라 꾸준히 증가했으며, 특히 2층 객석의 농도가 가장 높게 측정되었다(그림6). PM_{2.5} 농도는 9:00경 관객 입장에 따라 초기 다소 높은 값으로 시작하나 시간이 지나며 낮아진다.

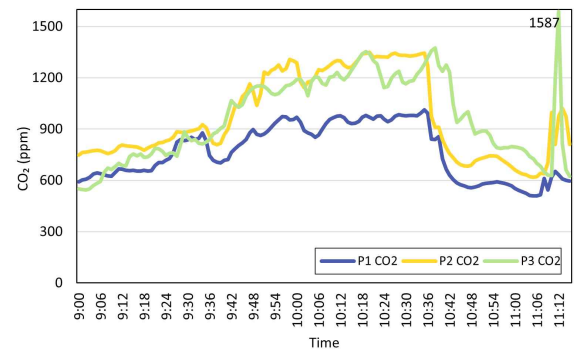


그림3. 1층(P1, P2) & 2층(P3) CO₂ 측정 결과

4. 결론

본 연구는 대학 노후 공연장에서 재실 밀도에 따른 실내 환경 특성을 계량적으로 분석하였다. 공기질 측면에서는 CO₂ 농도와 미세먼지 농도가 관객 밀집에 따라 상승하는 경향을 보였으나, 공연장 내 환경이 안정되면 공기질 역시 기준 내외로 비교적 안정적이었다. 다만, 별도의 환기장치나 공기 순환 시스템이 상시 작동하지 않고 있어 이 부분에 대해 부분적인 보수가 필요하다. 향후 연구에서는 공연장 내 다양한 공간별 온열 편차를 해소하기 위한 설비 용량의 재평가와 함께, 에너지 효율을 고려한 보다 효과적인 난방 운영 방안 모색이 요구된다.

참고문헌

- Frontczak, M. & Wargocki, P. (2011). Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments, *Building and Environment*, 46, 922-937.
- 국토교통부, [실내공기질 유지·관리], 국가법령정보센터, 2021.