Journal of KIAEBS Vol.18, No.1, February pp. 72-84

RESEARCH ARTICLE

IoT 센서를 이용한 음압격리병동 및 일반병동 환경성능 비교 평가

김지희[1] · 김제현[2] · 성민기[3*]

[1]세종대학교 건축공학과 박사과정, [2]세종대학교 건축공학과 석사과정,
[3]세종대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

Comparative Evaluation of Environmental Performance of Negative Pressure Isolation Ward and General Ward Using IoT Sensors

Kim, Ji-Hi[1] · Kim, Je-Hyun[2] · Sung, Min-Ki[3*]

[1]PhD Candidate, Department of Architecture Engineering, Sejong University, Seoul, Korea
[2]Master Candidate, Department of Architecture Engineering, Sejong University, Seoul, Korea
[3]Professor, PhD, Department of Architecture Engineering, Sejong University, Seoul, Korea

***Corresponding author:** Sung, Min-Ki, Tel: +82-2-3408-4037, E-mail: mksung@sejong.ac.kr

ABSTRACT

In this study, an Internet of Things (IoT) environmental sensor was developed to effectively manage indoor air quality in Negative Pressure Isolation Wards (NPIWs). Using this sensor, environmental performance data of both NPIWs and general patient rooms were analyzed. During the summer, humidity levels were consistently high in all rooms, while in the fall, humidity levels decreased by approximately 30% in Hospital A and 20% in Hospital B. Among the general patient rooms, multi-patient rooms exhibited elevated concentrations of CO_2. $PM_{2.5}$ concentrations were largely influenced by outdoor air, registering low values in most rooms. However, medical procedures or disinfection processes led to $PM_{2.5}$ concentrations within hospital rooms spiking to over 50 times the initial levels, taking about 4 hours to recover. The data acquired in this study is expected to serve as foundational information for the effective management of indoor air quality in NPIWs in the future.

주요어 : 음압격리병실, IoT 센서, 환경성능, CO_2, 미세먼지

Keywords: Negative Pressure Isolation Ward (NPIW), IoT sensor, Environmental Performance, CO_2, Particle Matter

OPEN ACCESS

Journal of KIAEBS 2024 February, 18(1): 72-84
https://doi.org/10.22696/jkiaebs.20240007

pISSN : 1976-6483
eISSN : 2586-0666

Received: February 10, 2024
Revised: February 15, 2024
Accepted: February 16, 2024

Ⓒ 2024 Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

2019년 12월에 시작되어 전 세계적으로 확산된 코로나 19 (COVID-19)는 장기간의 팬데믹 및 수많은 사망자를 발생시켰고, 2023년 8월 기준 국내 확진자 수는 3,400만명(KDCA, 2023)을 돌파하였다. 코로나 19와 같은 감염병 확산을 예방하기 위한 다양한 연구들이 진행되었으며, 특히 감염병 환자를 격리 치료할 수 있는 음압격리병실에 대한 연구가 활발하게

이루어지고 있다(Guo, 2021).

Kim and Hong (2020)의 연구에서는 음압격리병실 내 슬라이딩 문의 개폐 속도 등 조건에 따른 오염물질 유출 경향을 시뮬레이션을 통해 확인하여 오염물질 유출을 최소화하는 방안을 제시하였다. Kim and Sung (2022)은 전실 환기량에 따른 외부 오염물질의 유입 거동을 분석하여 전실 및 병실의 환기량에 따라 병실 및 전실 내 오염물질 농도를 효과적으로 저감할 수 있는 방안을 제시하였다. Cho (2019)는 음압격리병실에서 급·배기구 위치 및 수량에 따른 오염물질 저감효과를 시뮬레이션 및 현장실험을 통해 확인하였다. 선행연구에 따르면 오염물질 유출을 줄이거나, 다양한 방법을 통해 병실 내 오염물질을 저감시키는 방안에 대한 연구가 많이 진행되어왔다. 이러한 연구들은 특정 환경을 바탕으로 방안을 제시한 것으로, 실제 음압격리병실의 환경성능 현황을 파악하고 있지 않을 경우에는 현장에서 효과적으로 활용하는 데에 한계가 있다. 그러나 현재까지 진행된 연구들에서는 실제로 환자가 재실하고 있는 음압격리병실의 환경성능을 측정 및 분석하고, 특성을 파악한 연구는 부족한 실정이다. 특히 음압격리병실은 감염으로 인해 면역력이 낮아진 환자를 수용해야 하는 병실이기 때문에, 온·습도 및 CO_2 농도와 같은 환경성능도 적절하게 유지하는 것이 중요하다(Sung, 2017). 현재까지도 국가지정 입원치료병상을 제외한 일반 음압격리병실의 온·습도 기준은 별도로 제시된 바가 없으며, CO_2 농도 역시 실내공기질 관리법 시행규칙에서 의료기관 전체에 대한 기준만 제시되어 있기에 누기부위를 통해 유입되는 공기 및 실내공기질에 관해서는 별도의 관리가 잘되지 않는 실정이다.

본 연구에서는 음압격리병실 내 실내공기질 및 환경성능의 특성 파악 및 효과적인 관리를 위해 종합적이고 간편하게 측정할 수 있는 IoT 환경센서를 제작하여 측정을 진행하였다. 음압격리병실과의 환경성능 비교를 위해 일반병실도 측정 대상에 포함하였고, 국내에서 현재 음압격리병실을 운영하고 있는 종합병원 2곳의 음압격리병동 및 일반병동에서 총 4개 항목을 측정하였다. 이 데이터를 이용하여 음압격리병실의 환경성능 특성 및 경향에 대해 분석하고, 음압격리병실 내에서 발생할 수 있는 여러 Case 들을 일반병동과 비교하여 분석하고자 한다. 본 연구에서 분석한 데이터들은 추후 음압격리병실 내 환경성능을 효과적으로 관리 및 제어할 수 있는 기초 데이터가 될 것으로 사료된다.

본 론

측정 대상

본 연구에서는 국내에서 음압격리병실을 운영하고 있는 A병원과 B병원 내 음압격리병동(음압격리병실, 전실) 및 일반병동(병실, 복도, Nurse Station)에서 환경성능 측정이 진행되었다. 음압격리병실과의 비교를 위해 각 병원 내 일반병동 구역에서도 측정이 진행되었으며 설치된 센서 중 병원별 음압격리병실 2개소, 일반병실 2개소의 데이터를 바탕으로 분석을 진행하였다. 측정은 2023년 8월부터 11월까지 진행되었으며 A, B 병원 내 센서 설치 위치는 Figure 1과 같다. A 병원은 지상 3층 규모의 감염병 단독 건물을 사용하고 있으며 그중 음압격리병동은 2층에 위치하고 있고, 총 10개의 병실이 있으며 모두 1인실로 사용되고 있다. A 병원의 일반병동은 지하 1층, 지상 15층 규모로 본 연구에서 측정된 일반병동은 10층에 위치

하고 있으며, 해당 병동에는 총 16개의 병실이 있다. 일반병실은 음압격리병실과 동일한 조건으로 설정하기 위해, 1인실에서 측정한 데이터로 분석을 진행하였다. B 병원은 기존 결핵병동을 현재는 코로나 19 환자를 수용할 수 있는 음압병동으로 사용하고 있다. 그에 따라 B 병원은 음압격리병실은 별도의 개별 전실 없이 음압으로 형성된 하나의 복도를 공용전실로 사용하고 있다. B 병원의 일반병실은 현장 조건에 따라 모두 다인실에서 측정을 진행하였으며, 그에 따라 B 병원 음압격리병실은 A병원 음압격리병실과의 비교를 위한 1인실 1개소, B병원 일반병실과의 비교를 위한 다인실 1개소에서 측정한 데이터를 분석하였다.

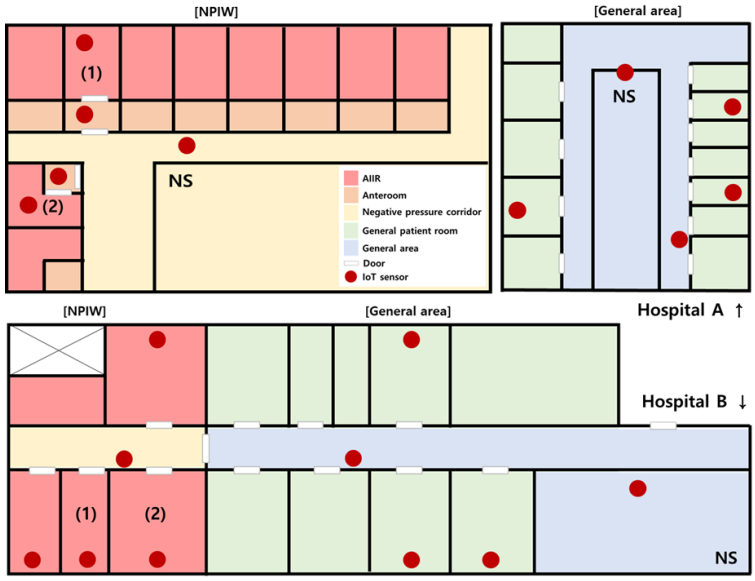
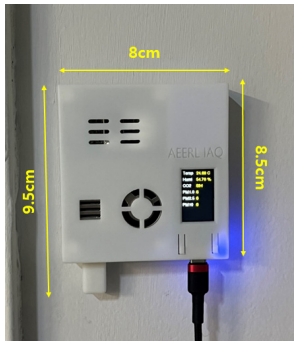


Figure 1. Measurement Location

측정 방법

측정 및 분석 항목은 $PM_{2.5}$, CO_2, 온도, 습도이고 데이터는 1분 간격으로 취득하였으며, 본 연구에서는 하절기(8월 중순 ~ 9월 중순)와 중간기(9월 중순~11월 중순)로 나누어 분석을 진행하였다. A 병원 음압격리병실은 현재 하절기와 중간기 모두 온도는 23.5도, 습도는 30%를 조건으로 설정하여 공조를 가동하고 있다. 또한, 본 연구에서 측정한 A 병원의 음압격리병실 2개소는 동일한 공조기가 사용되고 있으며, 각 병실의 환기횟수는 22회/h 이다. A 병원의 일반병실은 중앙공조방식으로 운영되고 있으며, 실별 환기횟수는 8회/h 이다. 온도는 외기온도에 따라 실내온도가 25±1°C 범위 내로 유지되도록, 습도 역시 30±5% 내로 유지될 수 있도록 상시 모니터링 하에 외기도입비율을 수동으로 조절하고 있다. B 병원의 음압격리병실은 신설 공사를 통해 기존 공조기 사용차단 후 전외기 방식의 전용공조기를 사용하고 있으며, 일반병실 대비 배기량을 약 1,000 CMH 크게 하여 음압을 형성하고 있다. B 병원의 일반병실의 경우 식사시간에는 전외기 방식, 00시부터 06시까지는 공조기 가동 중지, 이외의 시간에는 외기 30% 재순환 70%로 공조를 운영하고 있으며, 일반병실은 공조풍량은 총 22,800 CMH 이다. B 병원 음압격리병동 및 일반병동의 설정온도는 24±3°C 이나, 병실에 입원 중인 환자의 요구사항에 따라 개별제어가 진행되기도 한다.

Table 1. IoT Sensor specification

Image	Measurement	Measurement accuracy	Size (cm)
	$PM_{1.0}$	≤100 ㎍/m³, ±10 ㎍/m³	8 × 8.5 × 2.2
	$PM_{2.5,}$	>100 ㎍/m³, ±10% of reading Condition: 25 ±2°C, 50±10% RH, Reference instrument: GRIMM 11-A	
	PM_{10}	0 ~ 100 ㎍/m³, ±25 ㎍/m³ 101 ~ 1,000 ㎍/m³, ±25% reading Condition: 25 ±2°C, 50±10% RH, Reference instrument: GRIMM 11-A	
	CO_2	± (50ppm+5% of reading) @25±2°C, 50 ±10% RH	
	Temperature	±0.4°C (max), −10 ~ 85°C	
	Humidity	± 3% RH (max), 0~ 80% RH	

A 병원과 B 병원 내 설치된 센서의 사양은 Table 1과 같다. 측정에 사용된 IoT 센서는 AM1008W-K (CUBIC)에 MCU 보드를 연결하고, 클라우드 및 SD 메모리 카드를 이용하여 데이터를 취득할 수 있도록 제작하였다. 실제 운영되고 있는 병원에 설치하는 장비이기 때문에 환자 및 의료진의 불편함을 최소화하기 위해 별도의 케이스를 제작하여 총 6개 항목을 측정할 수 있는 작은 크기의 간이형 IoT 센서를 제작하여 사용하였다.

결 과

음압격리병실 환경성능 측정 결과 - 온도 및 습도

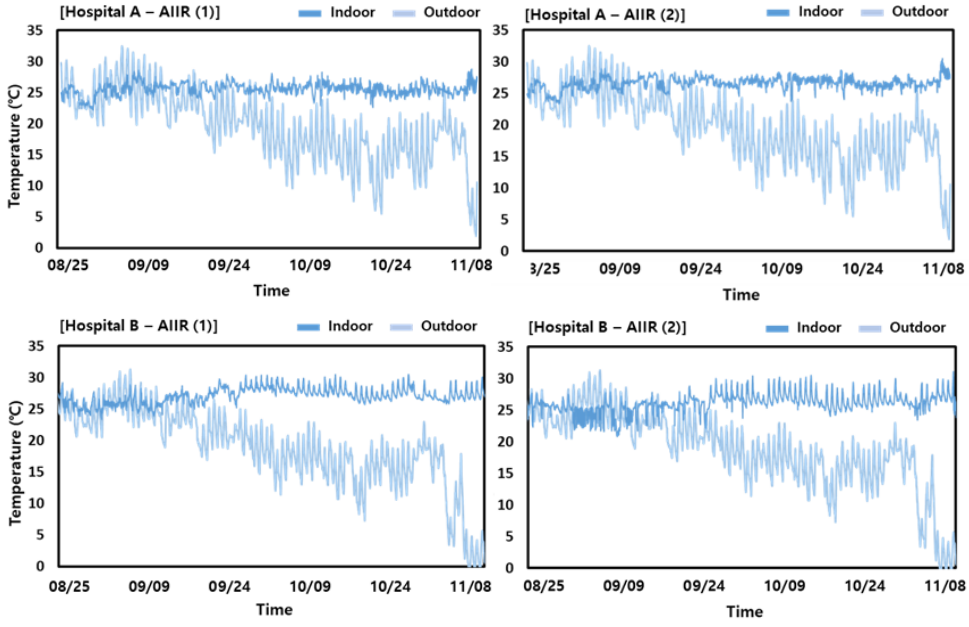


Figure 2. NPIWs Temperature

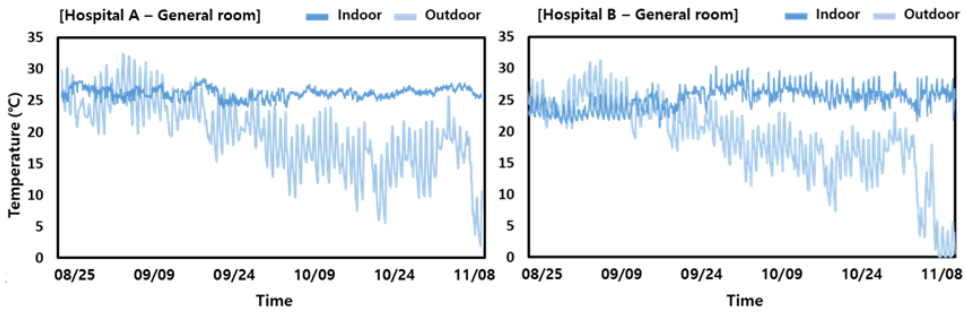


Figure 3. General Patient room's Temperature

질병관리청에서 제시한『국가지정 입원치료병상 운영과 관리 지침』(KDCA, 2022)에서 음압격리병실 내 적정 온도는 23±3°C이다. Figure 2는 A, B 병원 내 음압격리병실 4곳에서 측정한 실내온도와 외기온도를 나타낸 그래프이다. 하절기에서 중간기로 시간이 흐름에 따라 외기온도는 8월 평균 24.5°C에서 11월 평균 온도인 15°C 까지 약 10°C 정도 낮아졌으나, 실내온도는 하절기 B 병원 음압격리병실 (2)의 일부 구간을 제외하고 A 병원과 B 병원의 음압격리병실 평균 26.1±1.1°C로 비교적 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 국가지정 입원치료병상 운영과 관리 지침에서 제시한 적정 온도보다는 조금 높게 나타나지만, 큰 폭의 온도 변화 없이 일정하게 유지되고 있다. Figure 3은 A 병원과 B 병원의 일반병실에서 측정한 실내온도와 외기온도를 나타낸 그래프로, 음압격리병실과 유사하게 하절기와 중간기 모두 실내온도가 일정 범위 내에서 유지되는 것을 확인할 수 있었다.

Table 2. Average Temperature in NPIWs and General patient room

Temperature (°C)	Average ± Standard deviation	
	NPIW	General patient room
Hospital A	25.6 ± 0.9	26.1 ± 0.8
		25.9 ± 1.0
	26.5 ± 0.9	27.2 ± 1.1
Hospital B	24.9 ± 1.1	25.8 ± 1.7
	27.1 ± 1.1	25.4 ± 1.7
	26.1 ± 1.1	
	26.3 ± 1.5	25.4 ± 1.7
Average	26.1 ± 1.1	26.0 ± 1.3

Table 2는 A, B 병원의 음압격리병실과 일반병실에서 측정한 실내온도의 평균과 표준편차 값을 정리한 것이다. A 병원보다 B 병원에서, 음압격리병실보다 일반병실에서 편차가 크게 나타났으며, 특히 B 병원 일반병실의 편차가 크게 나타났다. 이는 B 병원 일반병실의 경우 0시부터 6시까지는 공조를 가동 중지하고, 식사시간에는 전외기방식, 이외에는 외기 30%, 재순환 70%과 같이 시간대별로 공조 조건을 다르게 하여 운영하는 것 때문이라고 판단된다.

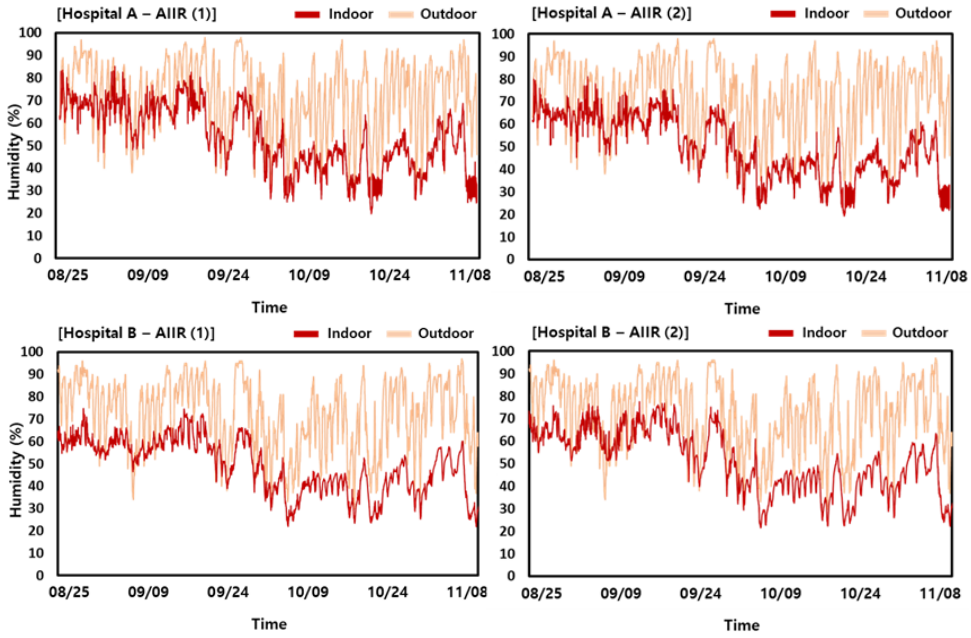


Figure 4. NPIWs Humidity

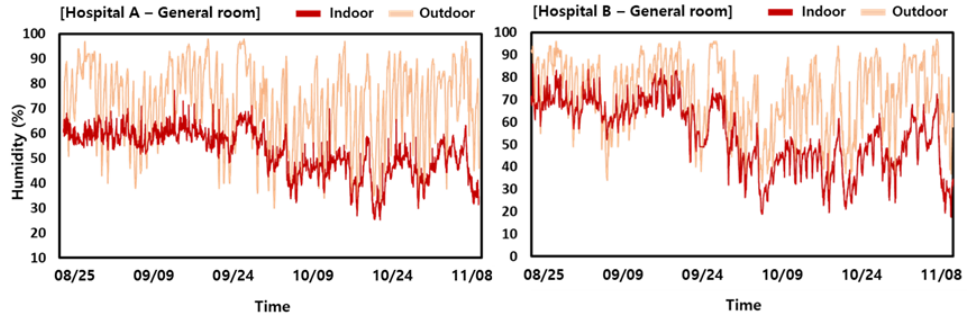


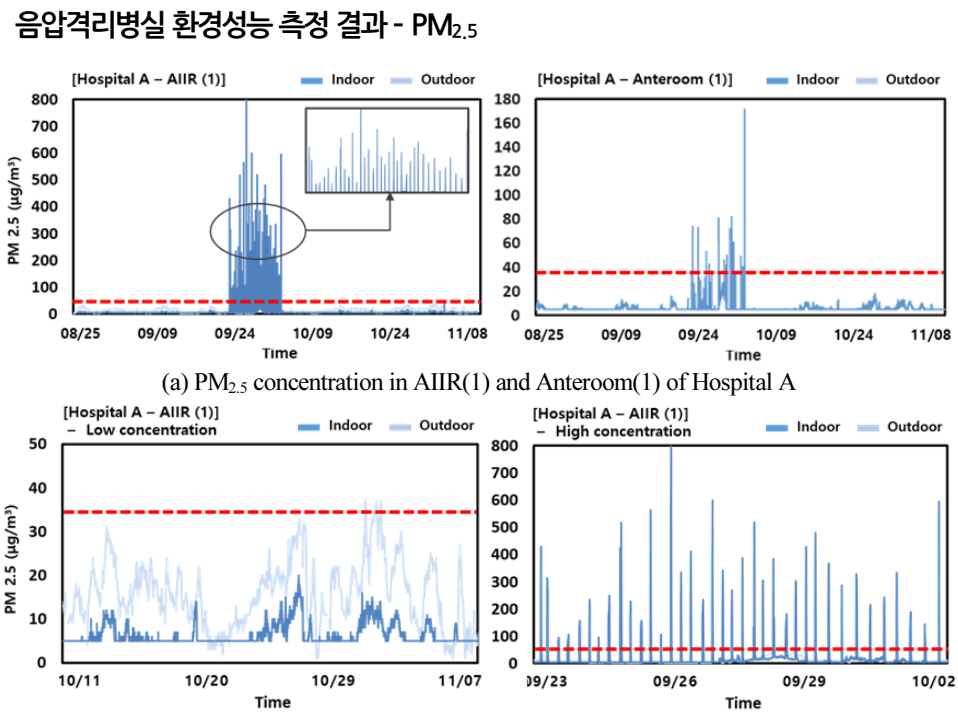
Figure 5. General Patient room's Humidity

Figure 4는 A, B 병원 내 음압격리병실에서 측정한 실내습도와 외기습도를 나타낸 그래프이다. 『국가지정 입원치료병상 운영과 관리 지침』에서의 음압격리병실 내 적정습도는 50±10%이지만, A, B 병원 모두 음압격리병실 내 실내습도가 범위 내로 유지되지 않고 외기습도의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 특히 A 병원 음압격리병실은 하절기에 평균 실내습도가 약 78%였으며, 10월에는 약 30%까지 실내습도가 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. B 병원은 10월경부터 실내습도가 약 20%까지 떨어지는 것으로 나타났다. Figure 5는 A, B 병원의 일반병실에서 측정한 실내습도와 외기습도를 나타낸 그래프로, 음압격리병실과 유사하게 실내습도 제어가 잘되지 않고 외기습도에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

Table 3은 A, B 병원의 음압격리병실과 일반병실에서 측정한 실내습도의 평균과 표준편차값을 정리한 것이다. 해당 데이터는 하절기부터 중간기까지 측정한 결과의 평균값이기 때문에 A, B 병원의 평균 실내습도값은 적정 범위 내에 있지만, 표준편차가 크기 때문에 현재 음압격리병실 내 실내습도는 적정 범위 내에서 관리되지 않고 있음을 확인할 수 있었다.

Table 3. Average Humidity in NPIWs and General patient room

Humidity (%)	Average ± Standard deviation	
	NPIW	General Patient room
Hospital A	53.7 ± 14.1	46.8 ± 8.5
	49.8 ± 13.3	54.4 ± 9.1
		51.7 ± 10.6
Hospital B	48.8 ± 18.9	45.8 ± 20.0
	42.0 ± 16.5	48.5 ± 19.6
	42.3 ± 17.4	
	44.4 ± 18.8	46.9 ± 19.9
Average	46.8 ± 16.5	49.0 ± 14.6



(a) $PM_{2.5}$ concentration in AIIR(1) and Anteroom(1) of Hospital A

(b) $PM_{2.5}$ concentration in Hospital A (Low/High)

Figure 6. $PM_{2.5}$ concentration in Hospital (A)

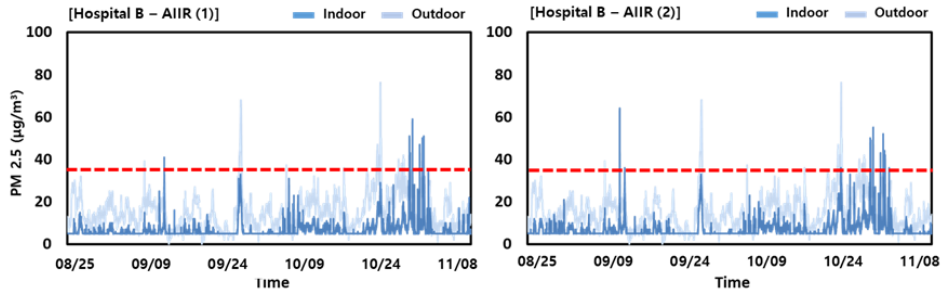


Figure 7. $PM_{2.5}$ concentration in Hospital (B)

현재까지 국내에서는 음압격리병실 내 미세먼지에 대한 기준이 별도로 제시되지 않았기 때문에, 본 연구에서는 실내공기질 관리법 시행규칙 중 의료기관 유지기준을 바탕으로 분석을 진행하였다. 실내공기질 관리법 시행규칙(ME, 2023)에서 의료기관 유지기준으로 제시하는 $PM_{2.5}$ 수치는 24시간 평균 35 ㎍/m^3 이하이다. Figure 6의 (a)는 A 병원 음압격리병실 (1), 음압전실 (1) 그리고 실외 $PM_{2.5}$ 농도를 나타낸 그래프이며, Figure 6(b)는 음압격리병실 (1)의 농도가 낮은 구간과 높은 구간의 경향을 확인 가능한 그래프이다. 측정 기간 중 실외 $PM_{2.5}$ 농도가 기준치인 35 ㎍/m^3 를 초과하는 경우는 드물었고, 실내 $PM_{2.5}$ 농도가 낮은 구간에서는 실외 $PM_{2.5}$ 농도와 유사한 경향으로 나타났다. A 병원의 음압격리병실 (1)에서는 약 10일간 $PM_{2.5}$ 농도가 약 50배 이상 규칙적으로 높게 증가하는 현상이 나타났다. A 병원 측에 해당 데이터를 기반으로 확인한 결과, 이러한 농도 급증 현상은 약 10일간 규칙적인 시간 간격을 두고 하루 4번씩 진행된 의료행위로 인해 발생한 것으로 파악되었다. 이때 음압격리병실 (1)과 인접한 음압전실 (1) 역시 같은 기간 동안 농도가 증가한 것으로 나타났으며, 이는 의료행위를 위해 의료진이 출입하며 문이 개폐 되었을 때 순간적으로 음압을 형성하지 못해 음압격리병실 내에서 발생한 PM 입자가 음압전실로 유출된 것으로 파악된다. Figure 7은 B 병원 음압격리병실 및 실외 $PM_{2.5}$ 농도를 나타낸 그래프이다. 실외 미세먼지 농도가 높았던 10월 25일 ~ 11월 4일에는 실내 농도 역시 기준치인 35 ㎍/m^3 이상으로 올라가는 case가 있는 것을 확인할 수 있었다. A 병원과 같이 큰 수치로 농도가 급증하는 현상은 거의 없었으며, 실내 $PM_{2.5}$ 농도가 낮을 때 B 병원의 음압격리병실 2개소 모두 외기의 영향을 많이 받는 것을 확인할 수 있었다.

Table 4. Average $PM_{2.5}$ / PM_{10} concentration in NPIWs and General patient room

	$PM_{2.5}$ / PM_{10} (㎍/m^3)	
	NPIW	General Patient room
Hospital A	8.3 / 9.3	17.2 / 20.9
	6.3 / 6.4	11.0 / 12.6
		31.8 / 39.3
Hospital B	7.1 / 7.1	11.5 / 12.7
	7.3 / 7.3	11.3 / 12.1
	7.3 / 7.4	
	6.9 / 7.0	10.7 / 11.0
Average	7.2 / 7.4	15.6 / 18.1

측정기간 동안 A 병원과 B 병원의 음압격리병실 및 일반병실 내 평균 $PM_{2.5}$, PM_{10}의 농도는 Table 4에서 확인할 수 있다. 음압격리병실은 일반병실보다 환기횟수가 크기 때문에 A 병원과 B 병원 모두 음압격리병실의 평균 농도가 일반병실보다 낮은 것을 확인할 수 있었다. 특히 A 병원의 음압격리병실 중 1개소는 $PM_{2.5}$와 PM_{10}의 평균 농도 차이가 다른 음압격리병실들보다 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었는데, 이는 네뷸라이저 사용 등과 같은 의료행위로 인해 큰 입자가 많이 발생하여 생긴 차이로 판단된다.

음압격리병실 환경성능 측정 결과 - CO_2

현재까지 국내에서는 음압격리병실 내 적정 CO_2 농도에 대한 기준이 별도로 제시되지 않았기 때문에, $PM_{2.5}$와 마찬가지로 실내공기질 관리법 시행규칙 중 의료기관 기준인 1,000 ppm 이하를 기준으로 음압격리병실 내 환경성능을 분석하였다.

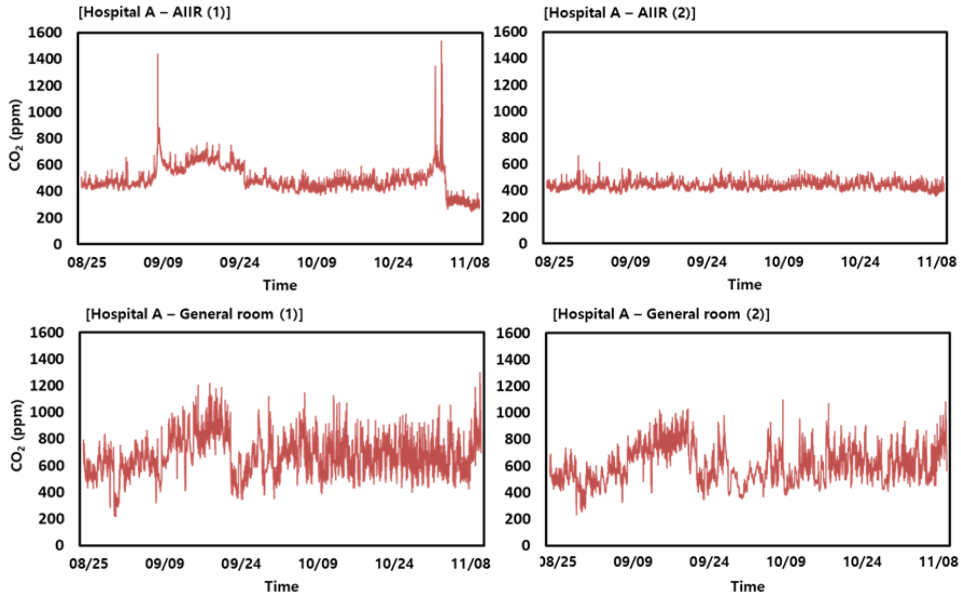


Figure 8. CO_2 concentration in Hospital A

Figure 8은 A 병원 음압격리병실 및 일반병실의 CO_2 농도를 나타낸 그래프이다. 병실 4개소 모두 1인실로 운영되고 있으며, 전반적으로 음압격리병실의 농도가 일반병실보다 낮게 유지되는 것으로 나타났다. 음압격리병실 (1)에서 1,400 ppm 이상으로 급격하게 증가하는 경우가 있는데, 이때 PM 농도는 변화 없이 이산화탄소 농도만 급증한 것으로 보아 사람이 센서와 근접하게 접근하여 발생한 현상으로 판단된다. 일반병실의 농도 편차가 음압격리병실보다 크게 나타났고, 1인실임에도 불구하고 9월 초에는 유지기준인 1,000 ppm 보다 높게 나타나는 경우도 빈번해 CO_2 농도 관리가 필요할 것으로 판단된다.

Figure 9는 B 병원의 음압격리병실 및 일반병실의 CO_2 농도를 나타낸 그래프이다. 음압격리병실 (1)은 1인실, 음압격리병실 (2)는 다인실이며, 일반병실은 2개소 모두 다인실이다. 음압격리병실의 경우 음압격리병실 (2)이 음압격리병실 (1)보다 더 낮은 농도로 나타났으며, 두 병실 모두 1,000 ppm 이하로 유지되고 있음을 확인할 수 있었다. 일반병실의 경우 24시간 내내 병실 출입문을 열어두었고, 총 환기량이 22,500 CMH로 충분하였기 때문에 다인실임에도 불구하고 CO_2 농도는 1,000 ppm 이하로 안정적으로 유지되었으며 두 실의 평균 농도도 유사하게 나타났다.

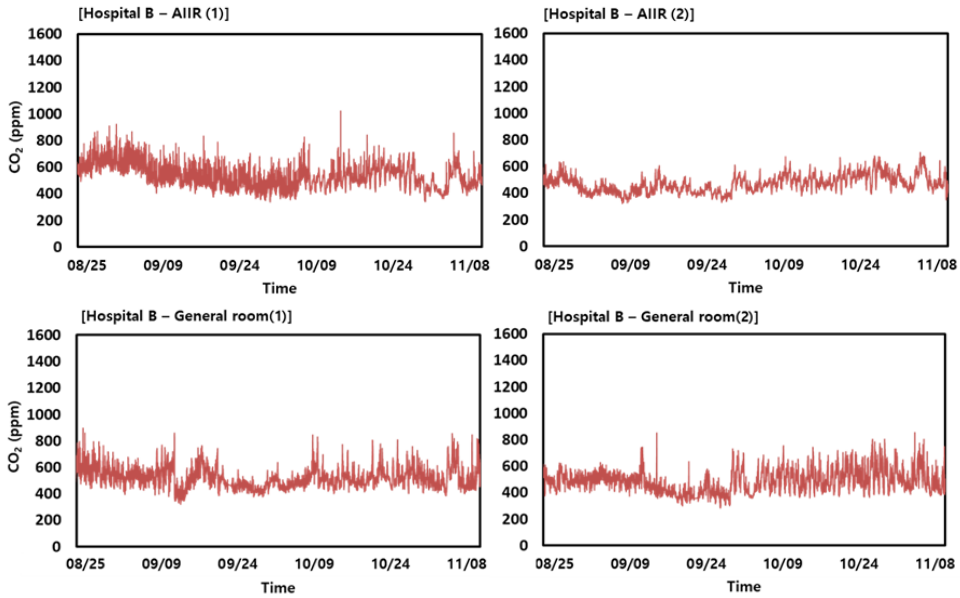


Figure 9. CO_2 concentration in Hospital B

Table 5. CO_2 average concentration in NPIWs and General patient room

CO_2 (ppm)	Average ± Standard deviation	
	NPIW	General Patient room
Hospital A	436.6 ± 27.1	599.0 ± 130.4
		664.1 ± 139.2
	485.0 ± 97.1	546.9 ± 118.5
Hospital B	523.6 ± 70.5	541.4 ± 146.4
	523.6 ± 78.8	538.1 ± 84.8
	486.6 ± 67.8	
	483.9 ± 65.7	498.7 ± 80.8
Average	489.9 ± 67.8	564.7 ± 116.7

Table 5는 A, B 병원의 음압격리병실과 일반병실에서 측정한 CO_2 농도의 평균과 표준편차값을 정리한 것이다. A 병원의 경우 일반병실보다 음압격리병실에서 평균 CO_2 농도가 낮게 나타났으며, 표준편차 역시 음압격리병실이 훨씬 더 작게 나타나 안정적으로 유지되고 있는 것을 확인할 수 있었다. B 병원의 경우 음압격리병실과 일반병실의 CO_2 농도 평균은 비슷하나, 일반병실에서 표준편차가 조금 더 크게 나타났다. B 병원의 경우 음압격리병실 4개소 중 2개소가 다인실로 사용되고 있으며, 일반병동과 공용전실로 사용되는 복도에 슬라이딩 도어 하나로만 구분되어 있기 때문에 음압 형성으로 인해 undercut 및 출입문 개폐시 공기가 유입되어 일반병실과의 CO_2 평균 농도가 크게 차이나지 않는 것으로 판단된다.

음압격리병동 및 일반병동 환경성능 특성 비교 분석

$PM_{2.5}$ 농도를 측정한 결과를 확인하였을 때, A 병원의 음압격리병실에서 의료행위로 인해 약 10일간 매일 규칙적인 시간에 $PM_{2.5}$의 농도가 이전 평균 농도보다 약 50배 이상 급증하는 현상이 나타났다. 이때 최고 농도는 기준치인 35 ㎍/m^{3}의 23배 이상인 816 ㎍/m^{3}으로 나타났으며, 처음 $PM_{2.5}$ 농도가 급증한 시점부터 약 50분 후에 초기농도로 회복하는 것을 확인할 수 있었다. B 병원 일반병실 및 음압복도(공용전실)에서도 유사한 현상이 나타났으며, 실내 $PM_{2.5}$ 농도는 Figure 10에서 확인할 수 있다. B 병원 일반병실의 경우 약 10일간 하루 3번씩 규칙적인 시간에 농도가 크게 증가하는 경향을 나타냈는데, 이러한 현상 역시 의료행위로 인한 것이며 이때 초기농도로 회복까지 소요되는 시간은 약 2시간 이상 소요되는 것으로 확인되었다. 또한, B 병원의 음압병동 내 공용전실인 복도에서 측정한 $PM_{2.5}$ 데이터에서도 유사한 현상을 확인할 수 있었으며, 9월 12일부터 16일까지 매일 오전 10시에 농도가 급증하였다. 이때 기존 농도값으로 회복하는 데까지 최대 7시간, 실내공기질 관리법 시행규칙 기준인 35 ㎍/m^3 이하까지는 최대 4시간 정도가 소요되는 것으로 나타났다. B 병원 음압격리병동 내 음압복도의 경우 차압 형성을 위해 음압격리병실보다 환기량이 작기 때문에 초기농도로의 회복까지 더 긴 시간이 소요되었다. 이때, 공용전실인 복도의 $PM_{2.5}$ 농도가 높게 유지될 경우 B 병원의 음압격리병실 출입문이 열리거나 undercut을 통해 유입될 수 있기 때문에 이에 대한 관리도 필요할 것으로 판단된다.

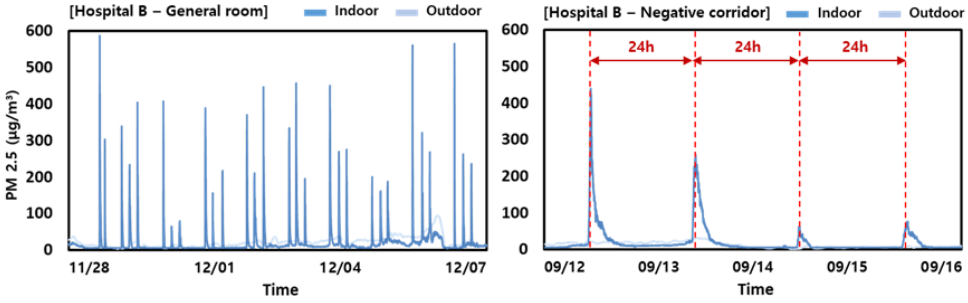


Figure 10. $PM_{2.5}$ concentration case analysis

결 론

본 연구에서는 음압격리병실 내 실내공기질 및 환경성능의 효과적인 관리를 위해, 간이 IoT 환경 센서를 이용하여 실제로 운영되고 있는 종합병원 A, B 내 음압격리병동 및 일반병동의 온도, 습도, $PM_{2.5}$, CO_2을 측정 및 비교분석하였다. A, B 병원 음압격리병실 및 일반병실 모두 실내 온도는 적정 온도로 잘 유지되었으나, 습도의 경우 적정 범위보다 높거나 낮은 습도로 유지되는 것을 확인할 수 있었으며 특히 B 병원에서 음압격리병실보다 일반병실의 습도 편차가 크게 나타났다. 습도 제어가 잘되지 않을 경우 미생물의 번식 및 미세먼지 발생의 원인이 될 수 있으며, 현재 운영되고 있는 음압격리병실 및 일반병실 모두 추가적인 습도 제어를 통해 환자에게 미칠 수 있는 부정적인 영향을 줄여야 할 필요가 있다.

CO_2와 $PM_{2.5}$를 측정한 결과, A 병원과 B 병원 모두 음압격리병실이 일반병실보다 평균 농도가 낮은 것으로 나타났다. 이는 음압격리병실의 환기량이 일반병실보다 크기 때문에 더 안정적인 농도를 유지할 수 있다는 것을 확인할 수 있었으나, 의료행위 혹은 소독과 같이 농도가 급격하게 올라가는 경우에서는 음압격리병실은 약 50분, 일반병실의 경우 2시간 정도 소요되었다. 특히 $PM_{2.5}$ 농도는 기준치의 50배 이상 초과하는 case가 빈번했으며, 음압격리병실이 더 빠르게 초기농도로 회복하지만, 회복 소요시간동안 환자에게 직접적으로 노출될 가능성이 있다. 일부 의료행위나 소독에 의해 발생한 경우 $PM_{2.5}$ 뿐만 아니라 인체에 유해한 물질을 포함하고 있는 확률도 크기 때문에, 이처럼 장시간동안 높은 농도로 환자에게 노출될 경우 면역력이 약해진 환자에게 부정적인 영향을 미칠 수 있다.

본 연구에서 측정한 데이터를 통해 음압격리병동 및 일반병동에서의 환경성능 특징을 분석할 수 있었으며, 그 결과 전반적으로 일반병동에 비해 음압격리병동에서 환경성능 관리가 더 잘 되고 있는 것으로 나타났다. 또한, 측정 결과에서 나타난 것과 같이 의료행위 혹은 소독 등과 같은 case가 발생하는 것을 확인하였으며, 이는 일시적인 환기풍량 증가 혹은 별도의 공기정화장치 가동과 같은 추가적인 제어가 필요한 것으로 판단되었다. 본 연구에서는 하절기와 중간기에 측정한 환경성능 데이터 분석만 진행하였기 때문에, 해당 내용을 바탕으로 추후 겨울철을 포함한 장기간의 데이터 수집 및 분석을 통해 계절별 환경성능 case에 따라 더 효과적으로 관리할 수 있는 방안을 연구해야 할 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2023년도 한국연구재단(과제번호: RS-2023-00209080) 연구비 지원에 의한 결과의 일부임.

References

1. Cho, J. (2019). Investigation on the contaminant distribution with improved ventilation system in hospital isolation rooms: Effect of supply and exhaust air diffuser configurations. Journal of Applied Thermal Engineering, 148, 208-218.
2. Guo, J. (2021). Multizone modeling of pressure difference control analyses for an infectious disease hospital. Journal of Building and Environment, 206.
3. Kim, J.Y., Hong, J.K. (2020). A Numerical Analysis on Contaminant Air Leakage According to Pressure Difference and Exhaust Location of Negative Pressure Isolation Room. Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 32(1), 1-12.
4. Sung, M.K. (2017). Mechanical Systems of Infection Control Facilities. Review of Architecture and Building Science, 61, 38-42.
5. Kim, G.H., Sung, M.K. (2022). Analysis on the Behavior of Inflow Contaminant in Negative Pressure Isolation Ward with Different Ventilation Rates in Anteroom. In proceedings of AIK Fall Conference, Architecture Institute of Korea, 42, 367-368.

6. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). (2022). Guidelines for Nationally-Designated Inpatient Treatment Unit, Available at: https://ncov.kdca.go.kr/ [Accessed: December 5, 2023].
7. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). (2023). About Coronavirus Disease 19 (COVID-19), Available at: https://ncov.kdca.go.kr/ [Accessed: January 10, 2024].
8. Ministry of Environment (ME). (2023). Enforcement Rule of the Indoor Air Quality Control Act. Available at: https://me.go.kr/ [Accessed: October 14, 2023].