KIEAE Journal, Vol. 25, No. 1, Feb. 2025, pp.19-24.

KIEAE Journal

Korea Institute of Ecological Architecture and Environment

131

통합 IAQ 관리시스템 적용을 통한 24시간 운영 공공건물의 실내공기질 개선 사례
- 강서구 소방서를 중심으로 -

A Case Study on the Improvement of Indoor Air Quality in Public Buildings Operated 24 Hours a Day through the Application of Integrated IAQ Management System - Focusing on Gangseo-gu Fire Department -

유정연* · 배상환**
Jungyeon Yu* · Sanghwan Bae**

** Main author, Postdoctoral Researcher, Dept. of Building Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, South Korea (starry1005@kict.re.kr)*
*** Corresponding author, Senior Researcher, Dept. of Building Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, South Korea (sanghwan@kict.re.kr)*

ABSTRACT

Purpose: In public buildings that are open 24 hours a day, the impact of indoor air quality on the health of occupants is greater than in general public buildings that are used during the day. The purpose of this study is to evaluate the actual performance of an integrated indoor air quality management system developed to manage indoor air quality in buildings. **Method:** To this end, the integrated indoor air quality system was applied through remodeling to a fire station building that operates 24 hours a day, and the improvement effect was evaluated by measuring indoor air quality for 3 months before and after application. **Result:** As a result of the study, the waiting room (accommodation) on the second floor of the fire station building was automatically controlled after remodeling from March to June 2024, compared to the state where only natural ventilation was performed before remodeling from March to June 2023. As a result, the percentage of time when CO_2 and $PM_{2.5}$ concentrations exceed indoor air quality management standards improved by 17.3% for CO_2 and 1.1% for $PM_{2.5}$. Before remodeling, the indoor $PM_{2.5}$ concentration increased or decreased depending on the external $PM_{2.5}$ concentration, but after remodeling, it was found to be maintained at a constant level below the standard.

KEYWORD

통합IAQ관리시스템
24시간 운영
공공건물
실내공기질

Integrated IAQ Management System
Operated 24 hours a day
Public Buildings
Indoor Air Quality

ACCEPTANCE INFO

Received Sep. 10, 2024
Final revision received Jan. 16, 2025
Accepted Jan. 22, 2025

ⓒ 2025. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

공공건물의 리모델링시 주요 개선 사항은 기존 창호를 고단열 창호로 교체하거나 건물의 단열성능과 기밀성능을 보강하는 등으로 건물의 냉난방 에너지 절감 기술의 적용이 주요하다. 그러나, 건물의 기밀성능이 향상될수록 실내공기질은 악화되기 쉽기 때문에 리모델링시 환기로 인한 열손실을 최소화하고 실내공기질을 향상시킬 수 있는 열회수 환기시스템 적용이 필요하다. 환기시스템 적용 초기에는 각각의 장치가 개별 운전되었으나, 현재에는 IoT 기술의 발전으로 Web을 통해 원격 모니터링 및 제어하는 통합 실내공기질 관리시스템이 개발되었다[1-4, 6].

공공건물 중 소방서와 같이 24시간 운영되는 시설에서는 사용자가 건물에 머무는 시간이 매우 길기 때문에 주간시간에 주로 사용되는 일반 사무용 공공건물보다 실내공기질이 건물 사용자의 건강에 미치는 영향이 더 커지게 되어 실내공기질 관리가 매우 중요하다. 건물 내에서 사용자의 건강에 악영향을 미치는 대표적인 유해 실내공기질 인자는 이산화탄소(CO_2)와 초미세먼지($PM_{2.5}$)로 최신 열회수 환기시스템은 이산화탄소와 초미세먼지 농도를 센싱하여 제어된다[4]. 이와 같은 열회수 환기시스템의 실내공기질 제어 기술은 많이 제안되고 있으나 실제 건물에서 장기간 성능평가가 수행된 사례는 많지 않다.

이에, 본 연구에서는 24시간 운영되는 소방서 건물을 대상으로 리모델링을 통해 통합 실내공기질 관리시스템을 현장 적용하고, 장기간 모니터링 및 데이터 수집을 통해 통합 실내공기질 관리시스템의 실내공기질 개선 효과를 평가하며, 건물관리자 및 사용자의 장기간 실내공기질 통합관리시스템의 이용행태를 관찰하여 실내공기질 통합관리시스템이 실내공기질 개선에 기여하는 바를 분석코자 한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

서울시 강서구에 위치한 소방서 건물을 대상으로 통합 실내공기질 관리시스템 리모델링 및 성능평가를 수행하였다. 리모델링 전·후 실내공기질 개선효과를 평가하기 위하여, 리모델링 전인 2023년 3월부터 6월까지 소방서 2층 대기실(숙소)에 실내공기질 센서를 설치하여 온도, 습도, CO_2 농도, $PM_{2.5}$ 농도를 분단위로 측정하였다. 리모델링 후에는 건물 전체에 환기시스템 및 실내공기질 센서를 적용하고, 통합 실내공기질 관리시스템을 통해 제어하였다. 리모델링 후 2층 대기실을 대상으로 리모델링 전과 동일한 계절인 2024년 3월 15일부터 6월 25일까지 실내공기질 데이터를 비교·분석하여 실내공기질 개선 효과를 평가하였다.

pISSN 2288-968X, eISSN 2288-9698
http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2025.25.1.019

2. 환기시스템 및 실내공기질 관리시스템

2.1. 선행연구 고찰

윤동원(2010)[1]은 실내공기질 통합관리시스템의 목표를 실내공기질을 센싱하여 재실자가 공조환기설비를 최적 제어함으로써 거주공간을 쾌적하고 편리하며 청정하고 안전한 상태로 만드는 것이라 밝히고 있다. 건물 전체의 실내공기질을 원격으로 관리하는 실내공기질 통합관리시스템은 대형건물을 중심으로 제안되었다. 손종렬(2015)[2]는 침투평가 기술을 활용한 대형건물 실내공기질 통합관리시스템 개발 연구에서 대기 중 오염물질이 건물 내로 유입되는 경로를 파악하여 실내공기질의 오염원을 측정할 수 있는 실내공기질 자동측정기를 개발하고 적용하였다. 주요 오염원 유입부는 공조시스템의 외기도입부 및 실내 급기구로 공조환기시 도입되는 외기를 통해 공조설비에서 걸러지지 않은 대기중 오염물질이 실내로 유입되어 실내공기질을 악화시키고 있음을 밝히고 있다. 오현주 외(2016)[3]은 대형건물에서 실내외 공기질센서와 원격 모니터링 시스템을 통하여 실외 미세먼지 농도를 실시간 모니터링 하였다. 공조장치 가동시 실내외 미세먼지 농도가 유사한 농도를 나타냄을 확인하였고 외부 미세먼지 농도 증가시 실내 미세먼지 농도 또한 동일하게 증가하고 있었다. 해당 공조기에는 미세먼지 제거효율이 30%~40% 수준의 미디엄필터와 프리필터가 설치되어 있어 공조기에 유입되는 미세먼지를 제거하지 못하였고 추가적인 대응방안이 필요하다고 밝히고 있다. 또한, 실시간 실내외 공기질 모니터링 및 공조시스템을 통합 제어할 수 있는 실내공기질 통합관리시스템의 개발을 위하여 측정된 실내외 $PM_{2.5}$ 농도 레벨에 따른 공조시스템 운전모드 제어 알고리즘을 구축하였다. 김지웅 외(2023)[4]은 지하상가를 대상으로 실내공기질 통합관리시스템을 적용하여 능동형 환기시스템 가동 전·후 실내공기질 개선효과를 평가하였다. 능동형 환기시스템은 $PM_{2.5}$ 및 CO_2 기준치에 따라 제어되며 측정은 환기시스템 가동전 7일, 가동후 7일에 대하여 PM_{10}, $PM_{2.5}$, PM_1, CO_2, Rn, CO, HCHO, TVOC의 농도 변화를 분석하였다. 능동형 환기시스템 가동 후에는 가동 전보다 8개 항목에서 평균 총 저감율이 약 44.1%를 나타내어 높은 개선효과를 나타내었다.

유정연 외(2024)[5]에서는 열회수형 환기장치의 미세먼지 집진효율 평가 및 개선방안 연구를 통해 환기장치 가동시 환기시스템 내부 누기로 인해 외부 $PM_{2.5}$ 농도 증가하면 실내 $PM_{2.5}$ 농도 또한 함께 증가하는 것을 실험을 통해 밝혀내었다. 이에 리모델링시 내부 기밀성능이 확보되고 헤파필터 적용을 통해 초미세먼지 제거성능이 확보된 환기시스템을 선정하고 적용하는 것이 매우 중요함을 확인할 수 있었다.

김성은(2022)[6]은 IoT 기반 실내공기질 실시간 최적화를 위한 연동제어 알고리즘의 개발 및 적용연구에서 실내·외 CO_2, $PM_{2.5}$ 농도 데이터를 수집하여 IAQ (Indoor Air Quality), OAQ (Outdoor Air Quality) 및 실내공기질 관리 기준 초과 여부를 판단하였다. 오염물질의 실내발생량, IAQ, OAQ, 공조 풍량 등에 따른 실내공기질 제어방법 개발하고 실측 데이터에 적용하여 1개월 단위 시뮬레이션 결과, CO_2는 기준치 초과 시간을 14.4% 감소시켰고, $PM_{2.5}$는 필터 효율 개선을 통해 6.9% 감소시키는 것으로 나타났다.

이와 같이, 건물 단위의 실내공기질 통합관리시스템을 통해 실내외 공기질의 변화에 대응하여 실시간으로 공조환기시스템을 제어하여 실내공기질을 관리하는 것이 매우 효과적임을 알 수 있다. 기존 공조시스템의 경우에는 초미세먼지를 제거할 수 있는 헤파필터가 부재하였지만 헤파필터가 적용된 환기시스템을 적용할 경우 실내 미세먼지 농도 또한 효과적으로 관리할 수 있다.

본 연구에서는 열회수환기시스템에 공기청정 모드가 결합된시스템을 적용 실내공기질 통합관리시스템을 통해 제어하여 실내 CO_2 관리를 위해서는 환기모드로 운전하고, 실내 $PM_{2.5}$ 관리를 위해서는 공기청정모드로 운전하여, 실제건물에서 3개월 이상 장기 실측 데이터를 통해 실내공기질 개선효과를 평가하였다.

2.2. 실내공기질 통합관리시스템

본 연구의 대상 건물은 3층 규모의 소방서로 리모델링을 통해 실내공기질 통합관리시스템을 적용하였다. 실내공기질 통합관리시스템은 Fig. 1.과 같이, 각 실에 환기를 공급하는 열회수 환기시스템과 실내공기질 센서, 통합 룸컨트롤러, MQTT서버 및 통합 웹 실내공기질 관리시스템으로 구성된다.

통합 실내공기질 관리 시스템은 3층 규모의 소방서 건물 전체에 적용 되었다. 본 연구에서 분석한 대상 실은 Fig. 2.와 같이 24시간 사용되는 2층 대기실(숙소, 6인실)이다. 고용노동부 사무실 공기관리지침 제3조[7]에 의하면 근로자 1인당 필요한 최소 외기량은 0.57m^3/min으로 2층 대기실의 필요외기량은 205m^3/h이다, 이에, 최대 풍량 250m^3/h의 환기장치를 적용하였다. 천장형 환기시스템이 적용된 다인실은 실의 규모가 크기 때문에 원형 실내공기질 센서를 별도로 실의 중앙 천장에 설치하여 실내공기질을 실시간으로 모니터링 하였다.

실내공기질 센서의 센싱항목은 CO_2, $PM_{1.0}$, $PM_{2.5}$, PM_{10}, VOCs, 실내온도, 실내습도이다. 천장형 환기시스템은 IoT 통합 룸컨트롤러를 통해 제어된다. IoT 통합 룸컨트롤러는 환기장치의 운전 상태 및 센싱된 실내공기질 데이터를 Wi-Fi를 통해 MQTT 프로토콜 웹서버로 전송한다. 이를 통해 Fig. 3.과 같이 해당 건물의 실내

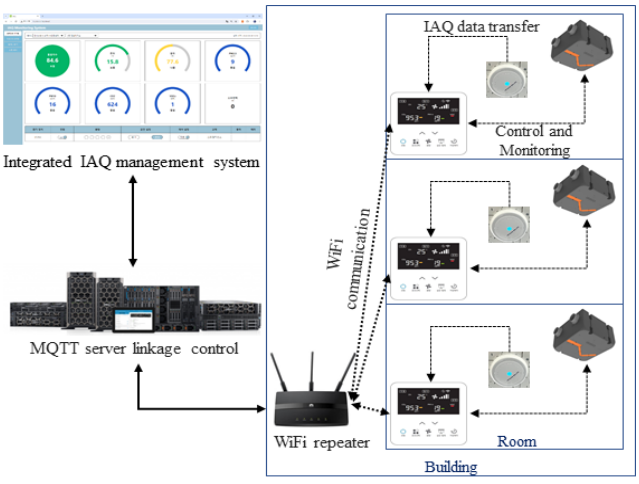


Fig. 1. Integrated IAQ management system configuration diagram

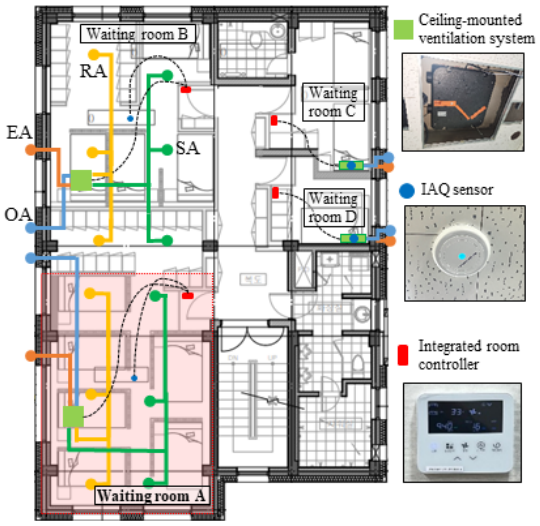
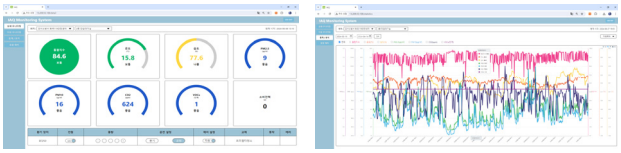


Fig. 2. Installation location of Integrated IAQ Management System and 2nd floor plan



(a) IAQ monitoring screen for waiting room A

(b) Indoor air quality graph screen for waiting room A

Fig. 3. Integrated IAQ management system for test buildings (From March 15th to April 15th)

공기질 정보 및 환기장치 정보가 통합 관리시스템에서 실시간 모니터링 되는 것이다. 또한, 건물 관리자 및 사용자는 실내공기질 통합관리시스템의 웹화면을 통해 실시간으로 건물 전체 환기장치의 작동 상태 및 실내공기질 상태 정보를 확인할 수 있으며 그 자리에서 손쉽게 환기장치의 작동상태 및 운전모드를 변경할 수 있다. 통합관리시스템에서 환기시스템의 작동상태를 변경하면 그 신호가 실시간으로 Wi-Fi를 통해 IoT 통합 룸컨트롤러로 전송되어 환기시스템이 제어된다. 또한, 실내공기질 통합 관리시스템은 해당 실의 실내공기질을 최대 1개월 단위로 그래프로 나타내며, 측정된 실내공기질, 환기장치 상태정보 및 운전모드 정보는 사용자가 10분단위 또는 1시간 단위로 정리된 데이터를 csv파일 형태로 다운로드 가능하다.

적용된 열회수 환기시스템은 천장형 열회수환기장치로 장비사양은 Table 1.과 같다. 공급 풍량은 150m^3/h, 200m^3/h , 250m^3/h이다. 또한, 해당 환기설비는 유정연 외(2024)[5]의 미세먼지 집진효율 평가방법에 의한 $PM_{2.5}$ 포집효율이 평균 91%을 나타내었다. 환기시스템의 외기도입부에는 프리필터, 헤파필터 및 카본탈취필터가 적용되어 있어 열회수환기모드시 외기로부터 유입되는 초미세먼지 및 냄새를 제거한다. 공기청정모드에서는 환기장치 내 헤파필터가 설치되어 있는 내부순환 경로를 통해 실내공기를 순환시켜 실내 $PM_{2.5}$를 제거한다.

환기시스템의 제어방법은 Table 2. 및 Table 3.과 같이 자동모드에서 1차로 CO_2 농도를 기준으로 제어된다. CO_2 농도가 보통 이상인 경우에는 열회수환기모드로 운전되어 신선외기가 도입되고 실내 CO_2가 외부로 빠르게 배출된다. 실내공기질 상태 조건이 보통에서

Table 1. Applicable ventilation equipment specifications

Division	Description		
Ventilation device type	Ceiling-mounted ventilation system		
Operation mode	Ventilation, Air cleaning		
Ventilation air volume level	1	2	3
Ventilation air volume (m^3/h)	150	200	250
Outdoor air filter	Pre-filter + HEPA filter + Carbon deodorization filter		
Equipment size (mm)	680(W)×640(D)×360(H)		

Table 2. Indoor air quality level according to concentration levels of CO_2 and $PM_{2.5}$ for ventilation system control

Control factor	Good	Normal	Bad	Very bad
CO_2 concentration (ppm)	800 and below	801~1200	1201~1500	1501 and above
$PM_{2.5}$ concentration ($\mu g/m^3$)	30 and below	31~80	81~150	151 and above

Table 3. Operation modes and air volume level according to indoor air quality level

CO_2 \ $PM_{2.5}$	Good	Normal	Bad	Very bad
Good	Off	Air cleaning (Level 1)	Air cleaning (Level 2)	Air cleaning (Level 3)
Normal	Ventilation (Level 1)	Ventilation (Level 2)	Ventilation (Level 2)	Ventilation (Level 3)
Bad	Ventilation (Level 2)	Ventilation (Level 2)	Ventilation (Level 3)	Ventilation (Level 3)
Very bad	Ventilation (Level 3)	Ventilation (Level 3)	Ventilation (Level 3)	Ventilation (Level 3)

매우 나쁨이 되면 환기풍량 레벨을 1에서 3으로 변화시켜 실내공기질을 제어한다. CO_2 농도가 좋음 상태로 낮아진 상태에는 2차로 $PM_{2.5}$ 농도를 기준으로 제어되는데, $PM_{2.5}$ 농도를 기준으로 실내공기질 상태가 보통~매우 나쁨이 되면 공기청정모드로 전환되어 외부공기 유입없이 실내 $PM_{2.5}$를 신속하게 제거한다. Table 2.와 같이 환기장치에서는 실내 CO_2 농도를 1000ppm 이하로 유지하기는 것을 목표로 CO_2 농도 센싱데이터가 800ppm을 초과할 경우 환기모드의 1단계 레벨의 풍량으로 가동되기 시작한다. 또한, CO_2 농도가 800 이하로 유지되면, 실내 $PM_{2.5}$ 농도를 35 $\mu g/m^3$ 이하로 유지하는 것을 목표로 제어 시작 농도인 30 $\mu g/m^3$를 초과할 경우, 공기청정 모드로 자동으로 전환된다.

실내 이산화탄소 농도의 목표제어기준은 1,000 ppm 이하이며 기준 이상일 경우 소방서 건물은 일반 사무소 건물로 고용노동부의 사무실 공기관리 지침[7]에 따른 사무실 오염물질 관리기준의 적용을 받는다. 해당 기준에서 실내 CO_2 농도기준은 1,000 ppm 이하이며, $PM_{2.5}$ 농도기준은 50 $\mu g/m^3$ 이하이다.

그러나, 본 연구에서는 소방서 건물의 특성을 고려하여 CO_2 농도기준은 해당 기준을 적용하였고, $PM_{2.5}$의 경우에는 조금 더 강화된 35 $\mu g/m^3$ 이하를 적용하여 제어하였다. 소방시설의 경우에는 소방관에게 화재 진압시 흡착된 분진 요인과 24시간 사용하는 건물로 사용자가 건물 내 머무는 시간이 일반 사무소 건물보다 길어지므로 실내 $PM_{2.5}$가 재실자의 건강에 미치는 영향이 큰 점을 고려하여 제어기준을 강화하였다.

ⓒ 2025. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment all rights reserved.

3. 실내공기질 통합관리시스템 적용결과 분석

3.1. 개요

실내공기질 통합관리시스템의 적용 결과를 평가하기 위하여, 2층 대기실(Fig. 2.의 Waiting room A)에 대하여 리모델링 이전인 2023년도 3월 15일부터 6월 25일까지 환기설비가 없는 자연환기 상태에서 실내공기질을 측정 결과를 분석하였다. 또한, 2024년도에 동일한 시기에 환기장치가 가동된 시간의 실내공기질을 비교·분석하여 개선 효과를 평가하였다. 2024년도 해당시기 중 환기장치가 미가동된 시간은 분석에서 제외되었다. 2층 대기실은 해당 기간 동안 환기장치를 자동모드로 설정하여 실내 CO_2 및 $PM_{2.5}$ 농도에 따라 환기장치가 자동으로 운전되도록 사용자에게 이용방법을 안내하였다. 실내공기질 개선효과 분석 대상 인자는 CO_2 및 $PM_{2.5}$로 한정하였다. 2023년도 및 2024년도 3월 15일부터 6월 25일까지의 실외 $PM_{2.5}$ 데이터는 Airkorea 사이트의 우리 동네 대기정보[8]에서 제공하는 데이터를 사용하였으며, 실외 $PM_{2.5}$ 측정장소는 소방서와 1.2km 떨어져 있다.

3.2. 실내공기질 통합관리시스템 적용결과

먼저, 2층 대기실의 실내 CO_2 농도 분석 결과, Table 4., Table 5. 및 Fig. 4.~Fig. 7.에서와 같이 자연환기를 수행한 2023년도에는 해당 기간에 CO_2 농도 기준인 1,000 ppm을 초과한 시간은 481시간으로 총 측정시간인 1,728시간 중 27.8%를 나타내었으나, 실내공기질 통합관리시스템을 통해 환기 제어된 2024년도에는 CO_2 농도 기준을 넘는 시간의 비율이 10.3%로 17.5%만큼 개선되었다. 2층 대기실의 실내 $PM_{2.5}$ 농도 분석 결과, 자연환기를 수행한 2023년도에는 해당 기간에 $PM_{2.5}$ 농도 기준인 35 $\mu g/m^3$을 넘는 시간의 비율이 1.8%였으나, 실내공기질 통합관리시스템을 통해 환기·공기정정 제어된 2024년도에는 $PM_{2.5}$ 농도 기준인 35 $\mu g/m^3$ 이하를 초과하는 시간의 비율이 0%로 1.8%만큼 개선되었다.

Table 4.와 같이 CO_2 농도 최대값은 2023년도에는 2,271ppm이었으나, 2024년도에는 1,228ppm으로 1,043ppm만큼 낮아졌다. 평균값은 2023년도에는 797ppm에서, 2024년에는 782ppm로 15ppm만큼 낮아졌다.

Table 5.와 같이 $PM_{2.5}$ 농도 최대값은 2023년도에는 323 $\mu g/m^3$이었으나, 2024년도에는 22 $\mu g/m^3$으로 301 $\mu g/m^3$만큼 낮아졌다. 평균값은 2023년도에는 12 $\mu g/m^3$에서, 2024년도에는 8 $\mu g/m^3$로 4 $\mu g/m^3$만큼 낮아졌다. 한편, 외부 $PM_{2.5}$ 농도는 2023년도 최대값은 135 $\mu g/m^3$, 평균값은 21 $\mu g/m^3$이었으나, 2024년 최대값은 68 $\mu g/m^3$, 평균값은 18 $\mu g/m^3$로 낮아졌다.

또한, Fig. 8. 및 Fig. 9.에서와 같이, 2023년 및 2024년 4월 5일부터 9일까지 외부 $PM_{2.5}$ 농도가 35 $\mu g/m^3$를 초과하는 시기에 대하여 외부 $PM_{2.5}$ 농도와 실내 $PM_{2.5}$ 농도의 상관도를 평가하였다. 2023년도에는 외부 $PM_{2.5}$ 농도가 증가할 경우 실내 $PM_{2.5}$도 함께 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 2024년도에는 외부 $PM_{2.5}$ 농도가 증가하여도 실내 $PM_{2.5}$ 농도는 기준 이내로 유지되고 있음을 확인할 수 있었다. 2023년도에는 R^2 값이 0.89로 높은 상관관계를 나타내었으나, 2024년에는 R^2 값이 0.26으로 상관도가 낮음을 확인할 수 있다.

2024년도에는 Fig. 10.에서와 같이 통합 실내공기질 관리시스템을 통해 1차적으로 실내 CO_2 농도가 801ppm 이상이 되면 환기모드로 가동되고, 800ppm 이하기 되면 공기청정모드로 가동되어 실내 $PM_{2.5}$ 농도를 낮은 수준으로 유지하였다. 이는 개발 환기시스템이 공기청정모드의 재순환경로에 헤파필터가 있지만, 외기도입부에도 미세먼지 포집성능이 우수한 헤파필터가 있으며 환기시스템 내부 누기율도 낮기 때문이다.

이에, 외기를 도입하는 환기모드시에도 환기시스템 내부 누기를 통해 외부 $PM_{2.5}$ 가 유입되어 실내 $PM_{2.5}$ 농도가 상승하는 경향은 나타나지 않은 것으로 분석되었다.

이와 같이, 리모델링을 통한 실내공기질 통합관리시스템의 적용결과를 장기 분석결과 CO_2 및 $PM_{2.5}$ 농도를 목표 기준이내로 효과적으로 관리하고 개선할 수 있음이 확인되었다.

또한, 리모델링 후에는 실내공기질 통합관리시스템에서 실시간으로 건물 전체 환기장치의 상태정보 및 필터 교체 등의 알람을 표시하여 건물관리자 및 사용자가 환기장치의 문제 발생시 빠르게 조치할 수 있었다. 사용자가 환기장치 가동시 실내공기질의 좋음, 나쁨 상태 정보를 실시간으로 인지하여 환기시스템을 적극적으로 사용하게 됨으로써 환기장치의 장시간 미가동으로 인한 실내공기질 저하

Table 4. Indoor air quality improvement effect after applying the air quality management system (CO_2 concentration)

Measuring items		IA CO_2		
		Natural ventilation	Ventilation system on	Amount of change
		(A)	(B)	(B-A)
Time exceeded standard (h)		481	168	-
Total measurement time (h)		1,728	1,626	-
Percentage of time exceeded by standard (%)		27.8	10.3	-17.5
CO_2 concentration (ppm)	Max	2,271	1,228	-1,043
	Mean	797	782	-15
	Min	402	421	19
	SD	360	174	-

Table 5. Indoor air quality improvement effect after applying the air quality management system ($PM_{2.5}$ concentration)

Measuring items		IA $PM_{2.5}$			OA $PM_{2.5}$	
		Natural ventilation	Ventilation system on	Amount of change	Natural ventilation	Ventilation system on
		(A)	(B)	(B-A)		
Time exceeded standard (h)		31	0	-	256	172
Total measurement time (h)		1,728	1,626	-	2,427	2,401
Percentage of time exceeded by standard (%)		1.8	0	-1.8	10.5	7.2
$PM_{2.5}$ concentration ($\mu g/m^3$)	Max	323	22	-301	135	68
	Mean	12	8	-4	21	18
	Min	5	3	-2	1	1
	SD	11	3	-	15	11

문제가 발생하지 않게 되었다.

4. 결론

본 연구에서는 실제로 24시간 운영되는 사무소 건물인 소방서를 대상으로 리모델링을 통해 실내공기질 통합관리시스템을 적용하고 적용 전·후 조건에 대하여 3개월간 실내공기질을 실측하여 개선효과를 평가하였다. 소방서 건물의 2층 대기실(숙소)에 대하여 실내공기질 통합관리시스템의 적용 및 자동제어를 통해 실내공기질이 개

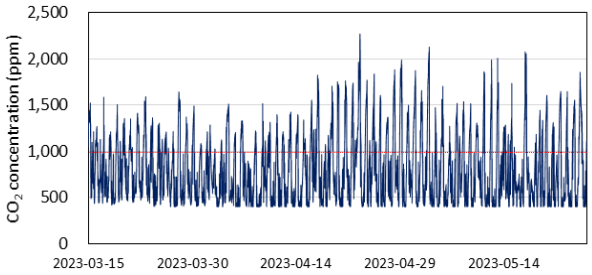


Fig. 4. CO_2 concentration in the waiting room A under conditions without ventilation equipment installed (15th March~25th June, 2023)

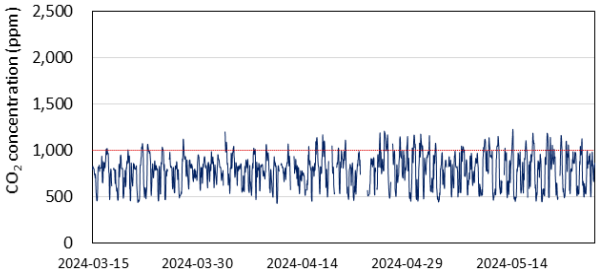


Fig. 5. CO_2 concentration in the waiting room A under ventilation installation conditions (15th March~25th June, 2024)

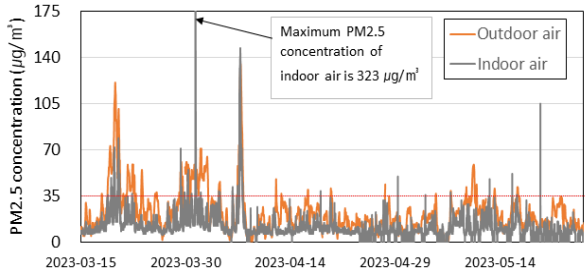


Fig. 6. $PM_{2.5}$ concentration in the waiting room A under conditions without ventilation equipment installed (15th March~25th June, 2023)

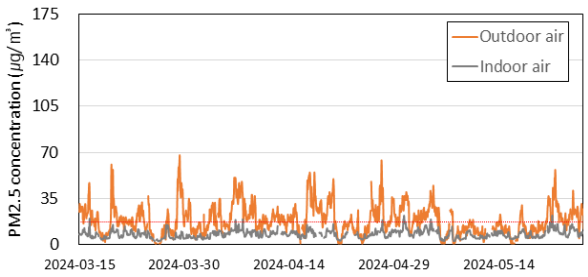


Fig. 7. $PM_{2.5}$ concentration in the waiting room A under ventilation installation conditions (15th March~25th June, 2024)

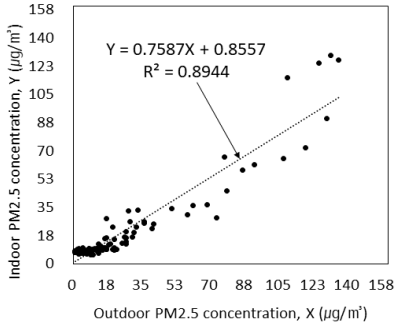


Fig. 8. Correlation between outdoor $PM_{2.5}$ concentration and indoor $PM_{2.5}$ concentration (5th~9th April, 2023)

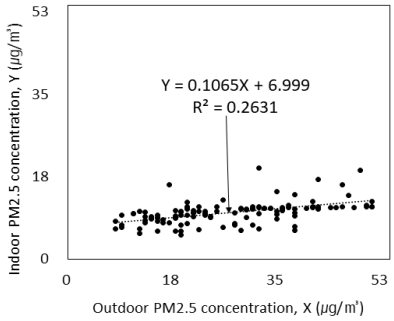
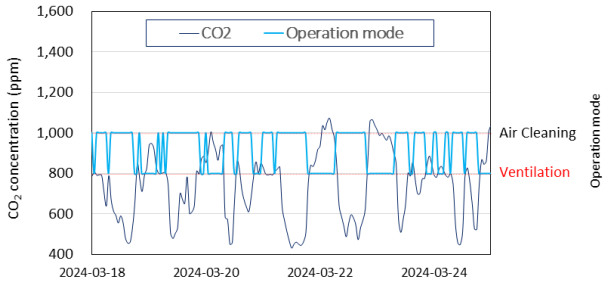
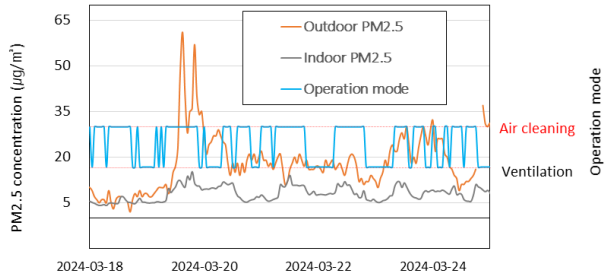


Fig. 9. Correlation between outdoor $PM_{2.5}$ concentration and indoor $PM_{2.5}$ concentration (5th~9th April, 2024)



(a) Ventilation system operation mode and CO_2 concentration distribution



(b) Ventilation system operation mode and indoor/outdoor $PM_{2.5}$ concentration distribution

Fig. 10. During automatic control operation, CO_2 concentration, indoor and outdoor $PM_{2.5}$ concentration, and ventilation device operation mode (19th~24th March, 2024)

ⓒ 2025. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment all rights reserved.

선된 효과는 다음과 같다.

첫째, 리모델링 전인 2023년도 3~6월 자연환기 조건에서 실내공기질 측정값과 리모델링 후인 2024년도 3~6월 실내공기질 통합 관리시스템을 통해 CO_2 및 $PM_{2.5}$ 농도기준에 따라 제어된 실내공기질 측정값을 비교·분석한 결과, CO_2 농도 기준인 1,000ppm과 및 $PM_{2.5}$ 농도가 기준인 35 $\mu g/m^3$을 초과하는 시간의 비율이 CO_2는 17.5%, $PM_{2.5}$는 1.8%만큼 감소되었다.

둘째, CO_2 농도 최대값은 리모델링을 통해 2,271ppm에서 1,228ppm으로 1,043ppm만큼 감소하였고, $PM_{2.5}$ 최대값도 리모델링을 통해 323 $\mu g/m^3$에서 22 $\mu g/m^3$로 301 $\mu g/m^3$만큼 감소하였다.

셋째, 리모델링 전인 2023년에는 실내 $PM_{2.5}$ 농도가 외부 $PM_{2.5}$ 농도에 따라 증감하였으나, 리모델링 후인 2024년에는 기준 이하로 일정한 수준으로 유지되는 것으로 나타났다. 이는 해당 환기시스템이 실내 $PM_{2.5}$ 농도 상승시 환기모드에서 공기청정모드로 전환되어 외부 $PM_{2.5}$ 유입없이 실내 $PM_{2.5}$를 빠르게 제거하였기 때문인 것으로 분석되었다.

이와 같이, 실내공기질 통합관리시스템을 실제 건물에 리모델링 적용하고 3개월 이상 장기간 적용하여 평가한 결과, 실내공기질을 대표하는 CO_2 및 $PM_{2.5}$ 농도를 효과적으로 관리할 수 있음이 확인되었다.

또한, 실내공기질 통합관리시스템 적용의 가장 큰 장점은 건물 관리자 및 사용자가 건물 전체의 실내공기질 및 환기장치 상태 정보를 실시간으로 파악하고 환기장치의 문제 또는 필터 교체 등의 이슈 발생시 알람 기능을 통해 빠르게 조치할 수 있어, 환기장치가 장시간 미가동되어 실내공기질이 관리되지 않는 상황을 방지할 수 있는데 있다고 분석되었다. 사용자가 실내공기질의 좋고 나쁨의 상태를 실시간 확인함으로써 환기시스템의 실내공기질 정화 효과를 인지하여 환기시스템을 적극적으로 사용하게 된 것이 실내공기질을 지속적으로 좋음 상태로 유지되는데 큰 기여를 한 것으로 분석되었다.

또한, 미세먼지 포집성능이 우수한 환기시스템 적용으로 환기시스템 가동시 환기설비를 통한 실내 미세먼지 농도가 증가하는 경향이 나타나지 않아 환기시스템 설치시 미세먼지 포집성능이 우수한 제품을 확인하여 설치하는 것이 중요함을 알 수 있었다.

본 연구는 24시간 운영되는 공공건물을 대상으로 환기시스템템 적용에 따른 실내공기질 개선효과를 평가한 사례연구로서, 향후 연단위 데이터를 기반으로 운전모드별 에너지성능 등을 포함한 종합적인 평가연구가 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgement

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행하였습니다(No. 20202020800360).

References

[1] 윤동원, 실내환경의 유비쿼터스-실내공기질 진단시스템과 통합관리시스템 개발 및 구축, 환경부, 2020. // (D.W. Yoon, Development on diagnosis system and total management system of indoor environment, Ministry of Environment, 2010.)

[2] 손종렬 외 3인, 침투평가 기술을 활용한 대형건물 실내공기질 통합관리시스템 개발 최종보고서, 환경부, 2015. // (J.R. Son et al., Development of integrate management system on the Indoor air quality using penetration assessment technology, Ministry of Environment, 2015.)

[3] 오현주 외 4인, 침투평가 기술을 활용한 대형건물 실내공기질 통합관리 시스템 개발 : 실내 공기질 관리 시스템 개발, 대한건축학회 학술대회논문집, 제36권 제2호, 2016.10, pp.1333-1334. // (H.J. Oh et al., Development of integrated management system on the indoor air quality using penetration assessment technology : Indoor air quality management system, Conference Journal of Architectural Institute of Korea, 36(2), 2016.10, pp.1333-1334.)

[4] 김지웅, 김기철, 이윤규, 지하상가 내 실내공기질 통합관리 시스템 운영을 통한 실내공기질 개선효과 분석, 대한건축학회 학술대회논문집, 제43권 제2호, 2023.10, pp.308-309. // (J.W. Kim, K.C. Kim, Y.G. Yun, An analysis of the effect of improving indoor air quality through the operation of the indoor air quality integrated management system in an underground shopping mall, Conference Journal of Architectural Institute of Korea, 43(2), 2023.10, pp.308-309.)

[5] 유정연, 배상환, 열회수형 환기장치의 미세먼지 집진효율 평가 및 개선방안, 한국생태환경건축학회 논문집, 제24권 제1호, 2024.02, pp.63-69. // (J.Y. Yu, S.W. Bae, A study on the evaluation and improvement of fine dust collection efficiency of heat recovery ventilation system, KIEAE Journal, 24(1), 2024.02, pp.63-69.)

[6] 김성은, IoT 기반 실내공기질 실시간 최적화를 위한 연동제어 알고리즘 개발 및 적용연구, 숙명여자대학교 석사학위논문, 2022. // (S.E. Kim, Development and application research of a linked control algorithm for real-time optimization of indoor air quality based on IoT, Master's thesis, Sookmyung Women's University, 2022.)

[7] 고용노동부, 사무실 공기관리 지침 (고용노동부고시 제2020-45호), 2020. // (Ministry of Employment and Labor, Office air management guidelines (MOEL Notice No. 2020-45), 2020.)

[8] 한국환경공단, 에어코리아, https://www.airkorea.or.kr/web. // (Korea Environment Corportation, Air Korea, https://www.airkorea.or.kr/web.)