

실간 차압제어 시스템의 부유입자 유출 제어 성능 분석

Containment Performance Analysis of Airborne Particles using Differential Pressure Control System

○조 희 운* 김 기 훈** 성 민 기***
Cho, Hee-Un Kim, Gi-Hoon Sung, Minki

Abstract

This study evaluated the effectiveness of a Differential Pressure Control System in isolating infectious patients, preventing particle leakage, and reducing indoor particle concentrations through experiments. The experiments measured room concentrations with and without the control system and the amount of particle leakage as doors opened and closed. It was found that the indoor concentration of particles decreased by 34% on average when the control system was operated, and the rate of particle leakage when the door was opened and closed was 33% lower when the system was operated than when it was not. Therefore, Differential Pressure Control System was found to be effective in preventing particle leakage from infected patients and reducing indoor particle concentrations.

키워드 : 실간 차압제어 시스템, 코로나19, 감염

Keywords : Differential Pressure Control System, COVID-19, Infection

1. 연구 배경 및 목적

2020년 3월 코로나19 팬데믹 이후 확진자 숫자가 감소함에 따라, 2023년 5월 한국 정부는 코로나19 종식 선언을 하였고 감염자의 격리는 의무에서 권고사항으로 전환되었다. 따라서 감염자와 비감염자의 활동 공간이 공유됨으로써 비감염자의 감염 위험이 증가하게 되었다. 비감염자의 감염 위험을 최소화하기 위해, 본 연구에서는 감염자가 체질하는 공간을 인접 공간 대비 음압으로 형성하는 실간 차압제어 시스템을 개발하였다.

본 연구의 목표는 실간 차압 제어 시스템의 부유입자 유출 저감 성능을 부유입자 확산 실험을 통해 정량적으로 평가하는 것이다.

2. 연구 방법

실험 대상은 세종대학교 7층에 위치한 1인 사무실이며, 실간 차압 제어 시스템 설치 후 2024년 1월(동절기)에 진행되었다. 실의 체적은 34.5m³이고 별도의 환기장치를 이용한 환기는 실시되지 않았다.

실간 차압제어 시스템의 개요도는 그림 1과 같으며 차압을

실시간으로 모니터링하여 팬 풍량을 제어해 설정된 차압을 유지한다. 또한 출입문이 개방될 경우, 풍량을 최대로 증가시켜 부유입자 유출을 최소화한다.

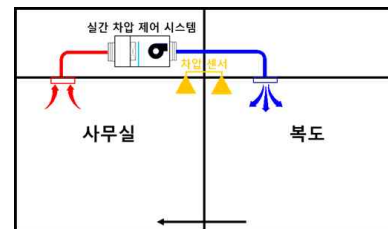


그림 1. 실간 차압제어 시스템 개요도

실험 계획은 그림 2와 같으며, 사무실과 복도 천장에 각각 배기기와 급기구가 위치한다. 사무실의 배기기로 배출된 공기는 HEPA필터를 통해 정화되어 복도로 급기된다. 부유입자(PAO; Poly- α -olefin)는 0.8 m 높이에서 입자발생기 (3079A, TSI)를 통해 일정한 유량(142 L/h)으로 Case 별 105분 동안 발생시켰다. 입자의 농도는 0.253~0.298 μ m 입경을 파티클카운터(11-D, GRIMM)를 사용해 측정하였다. Sampling Point는 사무실 배기구(2.3m) 그리고 복도 출입문 앞(1.5m)이다. Case는 표 1과 같이 구성하였으며, 각 Event 별 간격은 15분, 문 개방 시간은 15초이다.

표 1. 실험 Case

Case	시스템	차압 (Pa)	Event				
			1	2	3	4	5
Case 1	미가동	-2.8	IN*	문 개폐	문 개폐	문 개폐	OUT*
Case 2	가동	-5.3	IN	문 개폐	문 개폐	문 개폐	OUT

* IN : 복도에서 사무실로 이동
OUT : 사무실에서 복도로 이동

* 세종대 대학원 석사과정

** 세종대 대학원 박사과정

*** 세종대 건축공학과 교수, 공학박사

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering, Sejong University, mksung@sejong.ac.kr)

이 연구는 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임. (과제번호: 20212020800120)

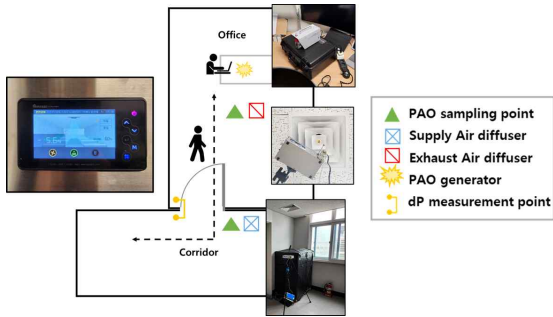


그림 2. 실험 대상 및 측정 위치

3. 연구 결과

실간 차압 제어 시스템의 가동 여부에 따른 출입 및 문 개폐 시 부유입자 유출량을 확인하였다. Case 1은 제어 시스템을 가동하지 않은 상태이지만 동절기 조건의 연돌효과에 의해 복도 기준 사무실의 차압이 음압(-2.8 Pa)으로 형성되었다. 입자 발생 후, Case 1의 사무실 평균 입자 개수 농도는 1,467,000 counts/L이다. Case 2는 제어 시스템을 가동하여 평균 차압 -5.3 Pa을 유지한다. 입자 발생 후, Case 2의 사무실 평균 입자 개수 농도는 977,000 counts/L이다.

표 2. 실내 대비 복도 유출 부유입자 농도 비율

Case	유출 부유입자 농도 비율 (%)				
	IN	문 개폐 (1회)	문 개폐 (2회)	문 개폐 (3회)	OUT
Case 1	52.8	3.52	28.1	74.8	25.1
Case 2	1.55	5.85	3.21	2.25	7.13

표 2는 복도로 유출된 입자를 정량적으로 확인하기 위해 실내 대비 복도 유출 입자 농도의 비율을 나타낸 것이다. Case 2는 실간 차압 제어 시스템을 가동하였기에 Case 1 대비 실내 평균 입자 농도가 34% 감소하였다. 복도 유출 입자 농도 비율은 Case 1이 평균 37%, Case 2가 평균 4%로 실간 차압 제어 시스템을 가동했을 때, 출입 및 문 개폐에 따른 입자 유출량이 33% 저감되었다.

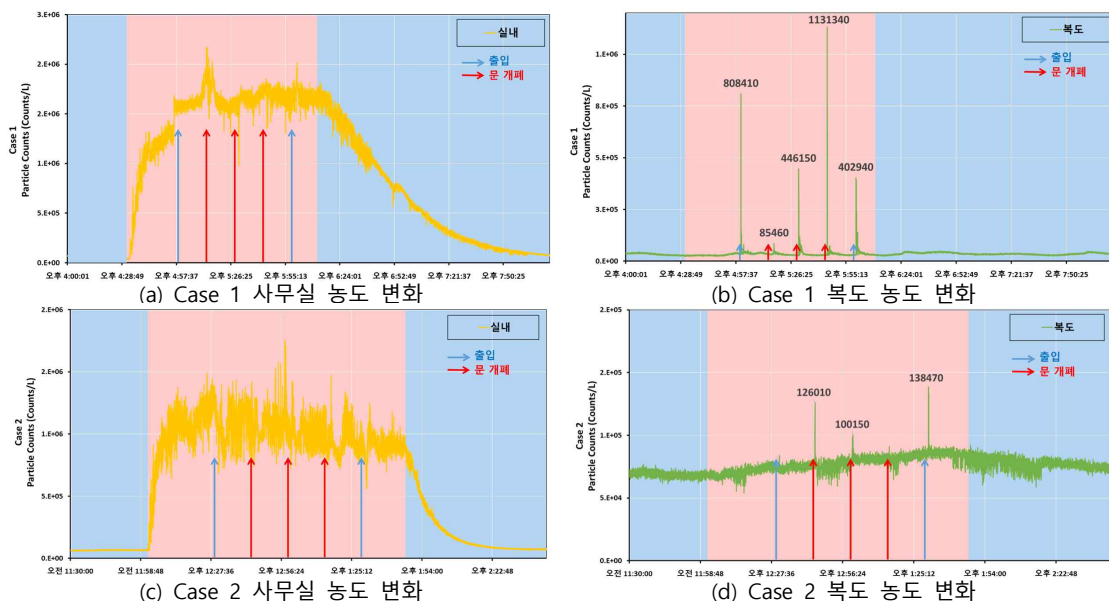


그림 3. Case 별 농도 변화 그래프

실간 차압 제어 시스템의 가동으로 사무실 공기가 정화되어 배출되었으며, 차압 형성으로 인한 유입공기량의 증가가 사무실 입자 농도 감소를 가져온 것으로 파악된다.

그림 3의 실내 농도 변화 그래프를 통해 Case 1은 입자 발생 종료 후, 배경농도로의 복귀 시간이 약 2시간 소요되었으나 Case 2는 약 1시간이 소요되었다. 또한 출입 및 문 개폐에 따라 입자 농도가 순간적으로 증가한 후 빠르게 감소하는 추세를 보였다. 실간 차압 제어 시스템의 가동과 문이 개방될 때 팬 속도가 최대치로 증가하는 시스템은 실내 부유입자의 유출을 저감하는데 효과적임을 보였다.

4. 결론

실내 부유입자 농도와 인접 공간으로의 부유입자 유출을 저감하기 위한 방안으로 실간 차압 제어 시스템을 설치한 결과는 다음과 같다.

- 실간 차압 제어 시스템을 가동한 Case 2의 사무실 평균 입자 농도는 가동하지 않은 Case 1 대비 34% 저감됨.
- 출입 및 문 개폐 시, 복도 부유입자 유출 비율은 실간 차압 제어 시스템을 가동한 Case 2가 평균 4%로 가동하지 않은 Case 1의 37% 대비 낮게 유출됨.
- 위 결과를 통해 실간 차압 제어 시스템은 실내 부유입자 농도 및 부유입자 유출을 저감하는 데에 효과적임.

본 연구에서는 실간 차압 제어 시스템의 가동 여부, 출입 및 문 개폐에 따른 입자 농도를 비교 분석하였다. 추후 연구에서는 다양한 실간 차압 조건에서 출입 및 문 개폐에 따른 유출량을 비교 분석할 예정이다.

참고문헌

1. 조성민, 김기훈, & 성민기. (2017). CFD 해석을 이용한 출입문 개폐와 인체이동에 따른 음압격리병실에서의 오염물질 유출량 분석. 대한건축학회 논문집-구조계, 33(10), 61-68.