



## 포스트 코로나 시대 감염병에 대비한 다중이용시설의 환기성능 개선방향 - 이용실태 및 환기성능 저해요인 중심으로 -

*Field Study of Ventilation Planning in Multi-Use Facilities for the Post-COVID-19 Pandemic Era  
- Focusing on Facility Usage Conditions and Ventilation Performance -*

김철\*  
Chul Kim\*

\* Professor, Dept. of Architectural Engineering, Pukyong National Univ., South Korea (chulkim@pkn.ac.kr)

### ABSTRACT

**Purpose :** This study aims to improve the ventilation performance of multi-use facilities based on a field study for the preparedness in the post-COVID-19 era, which can assist the advances on ventilation systems against airborne infectious diseases. **Method :** To analyze the potential weakness of airborne infections in multi-use facilities, a field study was conducted in 20 locations (i.e., 2 cafes, 9 restaurants, 3 indoor sports facilities, 2 PC cafes, and 1 supermarket) in Busan, Korea. The physical conditions, usage profiles and behaviors, architectural design, HVAC system, and ventilation planning standards were analyzed. Based on this, recommendations for ventilation planning were proposed for multi-use facilities during the post-pandemic era. **Result :** In this study, a field study diagnosed the ventilation planning of multi-use facilities and reviewed the obstacles and developed future directions to prepare for the air contaminant outbreaks. The results showed that In existing multi-use facilities, it is required to improve ventilation performance based on a multifaceted investigation considering the nature of the facility. The results will contribute to building preparedness for the next pandemic in multi-use facilities.

### KEYWORD

다중이용시설  
공기감염  
환기성능  
포스트 팬데믹

Small Business Facilities  
Airborne Infection  
Ventilation Performance  
Post Pandemic

### ACCEPTANCE INFO

Received Mar. 8, 2024  
Final revision received Mar. 29, 2024  
Accepted Apr. 4, 2024

© 2024. KIEAE all rights reserved.

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

지난 20년동안 전세계적으로 주기적으로 신종 감염병(SARS, 신종플루, MERS, COVID-19)이 발생하였다. 특히 지난 3년 동안 팬데믹은 세계적으로 많은 감염자와 사망자가 유발하였다. 이와 같은 감염병의 발생은 보건 시스템의 붕괴 위험을 초래하고 막대한 사회·경제적 영향을 미치며, 세계는 아직까지 코로나19 이전으로 회복되지 못한 상태이다.

질병관리청(코로나바이러스감염증-19, 2023.08.31.)[1]에 따르면 코로나19 국내 누적 확진자는 약 3,457만명으로, 대부분의 국민이 코로나19를 경험한 것으로 확인된다. 2022년 봄 사회적 거리두기가 철회되었으나 여전히 일평균 확진자 수는 수만명을 상회하고 있으며, 재확진자가 지속적으로 발생하고 있다. 코로나19는 엔데믹으로 점차 넘어갈 것으로 예상되나 다중이용시설을 중심으로 한 취약시설은 팬데믹 전후와 비교할 때 건축 환경적으로 여전히 개선되지 못한 상태이다.

한편, 코로나19 팬데믹 동안 시행된 장기간 사회적 거리두기 조치는 사회적, 경제적으로 큰 영향을 주었다. 유동인구의 감소와 경기 위축을 유발하였으며[2], 시민들이 장기화된 방역에 대한 피로도를

호소하도록 하였다. 따라서 포스트 코로나 시대에 미래 재난상황에 탄력적으로 대응하기 위해 사람들이 대부분의 시간을 보내는 건축 공간에서 바이러스 확산억제를 위한 환기성능의 개선은 필수이다. 따라서 본 연구는 포스트 코로나 시대에 불특정 다수가 이용하는 다중이용시설을 대상으로 시설현황을 진단하고 공기감염 확산요인 및 잠재적 위험요인을 분석하였다. 현장조사를 기반으로 향후 다중이용시설의 환기성능 개선을 위한 고려사항을 제시함으로써 감염병에 대비한 지속 가능한 건축환경 조성에 기여하고자 한다.

### 1.2. 연구의 방법 및 범위

다중이용시설은 업종, 시설 규모 및 공간 형태, 운영 방법 등에 따라 시설별 환기 성능이 크게 차이가 난다. 따라서, 지속 가능한 시설 환경 개선을 위해서는 다양한 사례조사를 통해 개선점을 도출할 필요가 있다. 본 연구의 수행 목표는 다음과 같다.

- 다중이용시설 관련 환기기준
- 다중이용시설의 건축환경 및 이용행태 조사
- 다중이용시설의 건축적·설비적 요인 분석
- 다중이용시설의 환기체계 구축방안 도출

본 연구의 결과는 다중이용시설의 잠재적인 감염병 취약 요인을 진단하고 향후 빌딩시스템의 환기체계 구축을 위한 개선방안을 도

출하기 위해 검토될 수 있을 것으로 기대된다.

### 1.3. 선행연구 분석

다중이용시설에 관한 선행연구는 실내공기질 모니터링[3], 실내 공기 우수시설 인증 사례분석[4], 감염확산방지를 위한 환기장치 적용효과[5, 6], 환기설비 현황조사[7] 등의 연구가 수행된 바 있다. 이태정 외[3]의 연구는 IoT센서를 이용하여 경기도 내 어린이집, 공공의료원, 노인요양원, 도서관 등 118개 시설을 대상으로 공기질을 분석한 결과 IoT기반의 모니터링이 현행 실내공기질 관리법의 연1회 현장 측정의 한계를 극복하고 실시간 실내공기질 관리에 도움이 될 수 있다고 분석하였다. 또한, 다중이용시설의 환기설비 설치와 관련하여 박상태[8]는 현행 실내공기질 관리법은 소규모 시설이 적용대상에서 배제되어 있으며 2006년 이전 건물에서는 환기시설이 거의 설치되지 않아 소규모 다중이용시설에서 환기 환경이 취약할 수 있음을 지적하였다. 최영진[9]은 2016년 국토교통부의 공동주택 환기설비 조사를 근거로 환기설비에 대한 유지관리 기준과 사용자 인식이 미흡함을 확인하였다. 정재원과 동혜원[7]은 대학 내 도서관, 업무시설, 연구실, 카페 등을 대상으로 다중이용시설의 환기설비 현황을 조사한 결과 대학 대부분의 업무, 교육시설에서 환기 가능한 공조설비가 설치되어 있지 않았으며, 전열환기가 설치된 건물에서도 필요환기량 만큼 설치되지 않는 경우를 확인하였다. 이에 따라 다중이용시설에서 현행 제도 상의 필요환기량 만큼이라도 우선적인 준수가 필요함을 강조하였다. 선행연구를 조사한 결과 다중이용시설의 공기질 인식을 위한 모니터링, 기계환기설비 개선을 위한 엔지니어링적 접근, 환기계획 및 환기량의 취약성 등이 지적되었으나 다양한 다중이용시설을 대상으로 건축계획, 공조 및 환기설비, 모니터링, 유지관리 등의 관점에서 현장조사한 경우는 드문 것으로 확인되었다. 따라서 본 연구는 중소규모 다중이용시설의 현황 파악과 환기성능 검토를 위한 기초연구로써 의의가 있을 것으로 기대된다.

## 2. 다중이용시설의 환기기준

### 2.1. 다중이용시설의 사회적 거리두기기준

팬데믹 기간동안 정부는 사회적 거리두기를 시행하고 시설별 권고기준을 발표해왔다. 사회적 거리두기 다중이용시설 세부지침은 공통사항과 시설별 지침(음식점, 의료시설, 문화여가시설, 종교시설, 체육시설, 교육시설, 쇼핑시설, 결혼 및 장례시설, 교통시설, 공동생활 및 숙박시설, 기타시설 등)[10]으로 구성되었으며, 사회적 거리두기 단계에 따라 영업시간, 이용객 밀도, 방역체계 등에 차별화 운영되었다(2022년 4월 18일 해제)[11].

팬데믹동안 다중이용시설은 불특정 다수가 이용하는 시설로 직접 접촉의 우려가 높아 강도 높은 사회적 거리두기를 요구받았다. 특히, 시설 종류, 규모, 이용형태, 공조시설 구성 및 운영방법 등을 포함한 다양한 건축적, 환경적, 행태적 요소들이 복합적으로 작용하여 방역과정에서 어려움이 지적되어 왔다. 공기감염의 의한 전파 의심 사례들이 늘어나면서 오랫동안 마스크를 착용하지 않고 이용하는 식당, 카페 등에서 장거리 전파에 대한 사회적 우려가 있었다[12].

코로나19 기간동안 방역 권고사항은 사회적 거리두기를 통해 물리적 거리를 벌리고, 직접 접촉을 최소화할 것을 지향하였으며, 건축, 설비 등 물리적 요소에 대한 개선 지침은 제공되지 않았다.

### 2.2. 국내 공조/환기설비 및 실내공기질 관련 기준

#### 1) 국토교통부 관계법령

국내에서 건축물의 공조 및 환기설비는 「건축법」 및 동법 시행령에 따른 “건축물의 설비기준 등에 관한 규칙(약칭 : 건축물설비기준규칙)” 의해 정의되고 있다.

세부적으로 「건축법」 제49조, 제62조, 제64조, 제67조, 제68조 및 「건축법 시행령」 제87조, 제89조, 제90조, 제91조의3에 따라 건축물 설비 설치를 위한 기술적 기준 등을 정의하고 있으며, 「건축물설비기준규칙」 제11조는 공동주택 및 다중이용시설의 환기설비에 관한 설치기준을 규정하고 있다. 다중이용시설은 시설 종류에 따라 필요환기량이 의무화(별표 1의6)(Table 1.)되어 있으며, 기계환기설비는 공급되는 공기 분포를 최대한 균등하게 하여 기류의 편차가 최소화할 수 있도록 지시하고 있다.

#### 2) 환경부 관계법령

건축물에서 실내공기질은 「실내공기질 관리법」에 의해 관리되고 있으며, 다중이용시설, 신축 공동주택을 대상으로 하고 있다. 「실내공기질 관리법 시행규칙」은 관련 오염물질, 실내공기질 유지기준(별표2)과 권고기준(별표3)을 포함하여, 신축공동주택의 실내공기질 측정 및 권고기준, 건축자재 오염물질 등을 규정하고 있다. 모니터링의 경우 다중이용시설의 소유자 등이 유지기준 오염물질의 경우 1년에 한 번, 권고기준 오염물질은 해당시 2년에 한 번 측정하도록 하고 있다. 하지만 유지기준 항목(PM2.5, PM10, CO<sub>2</sub>, HCHO, 총부유세균, CO)중, 총부유세균은 노유자시설에만 적용되며, 다중이용시설에서 발생 가능한 다양한 바이오 에어로졸에 의한 시설이용자 노출에 대해서는 충분히 고려되지 않고 있다. 또한, 외부 공기 환경 변화나 실내 이용형태, 재실밀도, 스케줄 등에 따라 유동하는 실내공기질에 대한 상시적 모니터링은 포함되어 있지 않다. 실내에서 높은 활동성을 갖는 실내체육시설이나 밀폐공간인 실내공연장, 업무 공간 등에 대해서는 단지 PM10(200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )만이 의무화되어 있어, 현행 법령에서 다중이용시설의 상시적 감염병 확산 방지에 대한 취약성이 확인된다.

Table 1. Minimum ventilation requirements

| Building Type                     |                     | Min ventilation rate(m <sup>3</sup> /ppl·hr) | Note       |
|-----------------------------------|---------------------|--|------------|
| Underground Facilities            | Underground station | 25   | -          |
|                                   | Underground market  | 36   | for stores |
| Cultural and gathering spaces     |                     | 29   | -          |
| Sales Facilities                  |                     | 29   | -          |
| Healthcare facilities             |                     | 36   | -          |
| Education & Research Facilities   |                     | 36   | -          |
| Senior & children care facilities |                     | 36   | -          |
| Offices                           |                     | 29   | -          |

### 3) 서울시 실내공기질 인증제도

‘실내공기질 관리 우수시설 인증제’는 2012년 서울시에서 도입한 다중이용시설의 실내공기질을 개선하고 자발적 관리를 촉진하기 위해 도입한 국내 유일의 실내공기질 관련 인증제도이다. 인증방식은 3가지 평가부문에서 총 100점 만점으로 구성되며 평가부문은 각 부문별로 최소 기준점수(9~33점)와 최소 총점기준(80점)을 모두 충족해야 한다. 평가부문은 3개 부문(실내공기 오염물질별 수준, 실내공기 환기시설 운영실태, 실내공기 유지관리체계)으로 구성되어 있으며, 실내공기 오염물질 6가지(PM10, PM2.5, CO<sub>2</sub>, HCHO, CO, 총부유세균) 외에 열쾌적, 환기구 및 환기설비 설치 유무, 실내공기 관리 조직 및 교육 등 관련사항을 정량적으로 평가하고 있다. 2023년 현재 서울시 인증을 받은 다중이용시설은 PC방, 노인요양시설, 도서관, 산후조리원, 어린이집, 의료기관, 학원 등으로 총 526곳이다[13]. 본 인증제도는 자발적 인증제도로써 감염병 및 실내공기 오염 관리를 위해 다중이용시설에서 활용할 수 있는 유효한 시스템으로 판단된다. 하지만 상시 모니터링을 통한 동적상태를 반영한 기간이 아닌 특정 시점 결과로 실내공기질을 판단된다는 점에서는 「실내공기질 관리법」과 동일하다.

## 3. 다중이용시설 건축환경 조사

본 연구에서는 다중이용시설의 공기감염 위험요인을 분석하기 위해 부산지역에 위치한 카페 2곳, 음식점 9곳, 실내체육시설 3곳, PC방 2곳, 마트 1곳 등 20곳을 대상으로 현장 조사를 진행하였다(Appendix A). 대상시설의 건립연도는 1970년대 1곳, 1980~90년대 6곳, 2000년대 12곳, 미확인 1곳이었으며, 시설규모는 100m<sup>2</sup> 미만 6곳, 300m<sup>2</sup> 미만 5곳, 500m<sup>2</sup> 미만 1곳, 500m<sup>2</sup> 이상 8곳이었다. 다중이용시설의 환기여건에 대한 종합적인 진단을 위해 건축디자인, 냉난방 설비, 환기설비, 운영 및 유지관리 등의 항목을 중심으로 업종별 실내환경 특성 및 환기환경의 취약점, 공기질 모니터링 여부 등에 대한 현장 조사를 수행하였다. 수행 조사기간은 2023년 12월 7~9일이었으며, 주요 조사항목 구성은 코로나19 팬데믹 시기 CDC, ASHRAE, ECDC, 질병관리청의 사회적 거리두기 등의 기준을 참고하여 공기오염물질 확산에 영향을 주는 요소를 선별하여 구성하였다. 주요 사항은 Table 2.와 같다.

Table 2. Multi-use facility field study categories

| Categories                  | Description  |
|-----------------------------|--|
| Facilities overview         | construction year, facility type, area, location                               |
| Heating & cooling equipment | heating and cooling system type, operation hours, filters, fresh air rate      |
| Ventilation                 | natural ventilation, mechanical ventilation, ventilation hours                 |
| Maintenance                 | facility management, maintenance manual, regular inspection, operating methods |
| Space                       | space layout, partitions, outdoor exposure                                     |
| Occupant usage              | Occupant, occupancy time and schedule, social distancing                       |
| IAQ monitoring              | CO <sub>2</sub> , PM2.5, PM10 monitoring                                       |
| Alternative equipment       | air purifier and sterilizer, air filters and capacity                          |

### 3.1. 다중이용시설의 공간구성 및 이용특성

다중이용시설의 공간구성은 실내 기류 형성, 환기 체계에 영향을 미친다. 대상시설은 대부분 지상시설(n=18/20)이었으며, 지하공간 입주시설도 2곳(식당, 서점) 포함되었다. 대상 시설의 실내공간 구획은 시설의 용도나 규모 등의 영향을 받으며, 실내 기류형성에 중요한 영향을 미친다. 대상시설 대부분은 부분적으로 내부 파티션이 있거나 실내구획(45%, n=9/20)있거나 중복도형 혹은 환기가 어려운 복잡한 실내구조를 갖는 경우(15%, n=3/20)로 나타났으며, 외기에 대해 2면 이상(외부와 2면 이상 접함) 접하거나(40%, n=8/20), 1면 자연환기가 가능하여(45%, n=9/20) 대부분으로 외기에 직접 면한 공간구조를 갖고 있었다.

감염병 발생시 시설의 이용특성은 다중이용시설의 잠재적인 위험도에 영향을 미친다. 시설의 방문자 이용특성의 경우 대부분의 시설(70%, n=14/20)에서 피크타임에 재실가능인원의 70% 이하를 유지하고 있는 것으로 나타났으며, 방문객의 체류 시간은 대부분 1시간 이하(60%, n=12/20)인 것으로 조사되었다. 반면 직원들의 체류시간은 파트타임을 포함하더라도 대부분 장시간 체류하고 있어 실내오염 발생시 직원들의 실내공기환경에 대한 노출도가 큰 것으로 확인되었다. 다중이용시설에서 실내활동에 따른 비말 발생 정도는 대부분 일상적 대화 수준의 침방울 발생(65%, n=13/20)으로 확인되었으며 일부 시설(의류판매, 서점, 도서관, 배달음식점 등)에서는 비말 발생 가능성이 낮은 것으로 조사되었다. 팬데믹 당시 주요 전파경로로 지적되었던 음식점의 경우 방문객들의 체류시간이 ‘1시간 이하’ 혹은 ‘1시간 초과’ 정도로 나타났으나 카페나 PC방, 실내체육시설, 도서관 등은 시설의 용도 특성상 대체로 1시간을 초과하는 긴 체류시간을 갖는 것으로 나타나 시설용도가 체류시간에 영향을 크게 주는 것으로 나타났다. 이러한 시설은 공기오염물질 발생시 재실자의 노출 가능성이 더 높을 것으로 판단된다. 특히 같은 실내체육시설 중 실내골프 연습장은 상대적으로 재실밀도가 낮고 활동량(MET)이 낮아 비말발생 가능성이 낮은 것으로 보이거나 볼링장이나 피트니스 시설의 경우 상대적으로 높은 활동량에 의한 비말 발생 가능성이 높은 것으로 조사되었다.

### 3.2. 다중이용시설의 환기성능 및 보완적 계획

다중이용시설의 환기는 자연 및 기계환기가 주로 사용된다. 20개 시설을 대상으로 환기수단 확보 여부를 조사한 결과 절반 이상(55%, n=11/20)의 시설에서 자연환기 혹은 기계환기 방식 중 1가지로 운영되고 있었으며, 자연환기 및 기계환기를 모두 병행하는 경우가 35%(n=7/20)로 확인되었다. 아울러 2곳(카페, 식당)의 경우 적정 환기수단이 부재한 것으로 조사되었다. 또한, 사용 전후 실내 오염물질이 다음 사용시간 동안까지 남아있는 경우를 방지하기 위한 시설 사용전후 외기환기의 경우 응답시설의 53%(n=9/17)가 2시간 미만의 외기환기를 한다고 응답하였으나 29%의 시설(n=5/17)의 경우 환기를 전혀 하지 않는 것으로 확인되었다. 65%(n=11/17)의 시설은 운영시간 외에 환기설비를 운영하지 않는 것으로 조사되어 사용 후 실내 오염물질이 충분히 제거되지 않는다면 미사용 시간동안 실내에 적체 및 확산될 수 있을 것으로 판단되었다. 환기설비 중 덕트의 경우

53%(n=9/17)가 외부공기 도입 덕트 개구부와 배기(배출공기)덕트 개구부가 2m 이내 이격되거나 이격 거리가 짧은 것으로 나타나 덕트 주변에 외부 오염이 있을 때 재유입에 대한 주의가 필요한 것으로 파악되었다. 환기성능을 보조하기 위한 보조적 장치(공기정화장치, 공기살균장치 등)의 경우 전체 시설의 65%(n=13/20)가 사용하고 있는 것으로 나타났으며, 이중 8곳은 운영시간동안 간헐적 운영을 하고 있었다. 7곳의 경우 환기보조장치를 설치하지 않거나 미가동하고 있었다. 또한, 필터의 경우 대다수의 시설(n=9/16)에서 미디움 필터를 사용하고 있었고 집진필터 수준의 필터(n=5/16)를 사용하는 경우도 31%로 확인되었다. 보조적 장치의 설비용량은 시설 내 환기가 열악한 공간을 대상으로 활용 가능한 수준(n=7/17)이거나 시설 규모 대비 부족한 경우(n=6/17)가 많아 국부적으로 실내공기질 개선시 효과가 있을 것으로 예상되었다. 시설 종류별로는 상대적으로 조리과정에서 공기오염물질이 발생하는 음식점에서 자연환기와 기계환기를 모두 이용하는 비율이 높았으며, 실내활동수준이 높은 실내체육시설의 경우 실내공기질 관리를 위해 사용전후 길게 외기환기를 하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 24시간 운영되고 밀폐된 공간인 PC방의 경우 별도의 환기시간을 확보하기 어렵기 때문에 상시적으로 환기팬을 가동하는 것으로 확인되었다.

### 3.3. 다중이용시설의 냉·난방설비

다중이용시설의 냉난방설비는 주로 전기를 이용하는 에어컨디셔닝 시스템(n=13/20)으로 중앙집중 방식 7곳(35%)이었으며, 거의 대부분 냉난방 겸용으로 구축되어 있었다. 냉난방설비의 운영방식은 65%의 시설(n=13/20)에서 시설 운영시간동안 에너지 저감을 위해 일부 재순환하는 것으로 나타났으며, 20%의 시설(n=4/20)에서는 항상 재순환 방식으로 운영하는 것으로 나타났다. 코로나19 팬데믹 당시 냉난방 장치의 재실자에 대한 직접 기류는 공조시스템에 의한 바이러스 확산 요인으로 지적되었다[5]. 실내기류를 발생시키는 기타 냉방기(천정형팬, 선풍기 등)의 경우 9곳(45%)의 시설에서 부분적 혹은 전면적으로 사용되고 있었다. 또한, 65%의 시설(n=13/20)에서 냉난방·환기설비에 대해 기류가 일부 재실자에게 직접 전달될 수 있는 것으로 확인되어 시설 여건에 따라 기류에 의한 오염물질에 노출될 수 있는 것으로 나타났다. 보조적 냉방기기(팬)는 높은 실내활동과 PC의 발열부하로 냉방 수요가 큰 실내체육시설(피트니스, 골프연습장)과 PC방에서 주로 사용되었다. 냉난방설비에 사용되는 에어 필터의 경우 미디움 필터나 집진필터가 주로 사용되는 것으로 확인되었으며, UVC 등의 살균장치를 설치한 시설은 발견되지 않았다. 시설 종류별로는 운영시간이 긴 PC방이나 대형시설에서 냉난방설비의 운영시간이 길었으며, 음식점 1곳, PC방 2곳, 실내골프장에서 100% 재순환 방식으로 냉난방 운영을 하고 있는 것으로 나타나 시설의 운영시간이나 냉난방 수요가 냉난방 운전방식에 영향을 주는 것으로 판단되었다.

### 3.4. 다중이용시설의 유지관리 및 모니터링

다중이용시설은 공간이용의 특성상 이용밀도나 사용빈도 등에서 다양성이 높다. 따라서 다중이용시설의 건강한 실내공기환경을 유

지하기 위해서는 지속적인 실내환경에 대한 모니터링과 시설유지관리를 통해 관련 법규의 최소 기준(예: 실내공기질 관리법, 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙) 이상의 실내공기질과 외기도입을 유지할 수 있어야 한다. 대다수의 대상시설은 실내공기질에 대해 관심을 갖고 관리를 하고 있었으며, 시설 내 환기설비 및 공기정화장치 등의 환기시설의 존재 유무(n=17/20)나 사용방법(n=15/20)에 대해 이해하고 있었다. 하지만 구체적인 실내공기질 관리방법에 대해 충분히 파악하지 못하는 경우(n=13/20) 많았고, 관리 매뉴얼이 부재(n=8/16)한 것으로 나타났다. 유지관리적인 측면에서 과반 이상의 시설에서 비주기적으로 냉난방(n=9/17), 환기설비(n=10/16)에 대해 청소 및 필터 교체 등의 유지관리 활동을 시행하고 있었으며, 거의 관리하지 않는 경우도 1~2개소가 있었다. 마지막으로, 대상시설의 실내공기질 관리는 정량적 모니터링 지표나 실시간 데이터에 기반을 두기보다는 수동적인 조치가 많았으며 거의 모든 장소에서 별도 모니터링이 수행되지 않았다.

## 4. 다중이용시설의 잠재적 공기감염 발생요인

현장 조사를 바탕으로 다중이용시설의 공기감염 발생요인을 분석하였다. 다중이용시설에서 공기감염은 재실자의 활동과 밀도, 이용시간, 실내온도 및 기류, 공조시스템 등 다양하고 복합적 요인들이 영향을 미친다. 호흡기에서 배출되는 에어로졸은 입자크기가 작고 가벼워 공기 중에 오랜 시간 체류하면서 원거리에도 전파될 우려가 있다. 팬데믹 기간 이후 코로나19의 감염경로는 대다수 커뮤니티 확산이었으며 대부분 경로 추정이 어려운 경우가 많았다. 팬데믹 초기부터 다중이용시설이 커뮤니티 확산에 용이한 고위험한 시설로 주목받은 이유는 다음과 같은 시설 특성에 근거한다.

- 커뮤니티 확산이 용이한 실내환경: 3Cs  
(혼잡한 장소, 밀접 접촉환경, 밀폐공간)[14]
- 긴 정주시간, 노 마스크 환경
- 다양한 실내 활동으로 인한 비말발생
- 복잡한 건축적 레이아웃과 열악한 환기공간

### 4.1. 다중이용시설의 물리적 환경과 공간적 이용특성

다중이용시설은 근린생활시설에 임대 형태로 운영되는 경우가 많으며 시설에 따라 독립형 시설인 경우도 있으나 도시에서는 집합상가로서 아파트나 상업 건물의 부속시설인 경우도 많다. 이 경우 실내공간은 대형 공간을 분할 사용하거나 중복도 형식 등으로 구획된다. 우리나라의 다중이용시설은 영세하거나 소규모 공간인 경우도 많아 피크타임에는 방문자들이 밀접 접촉하기 용이한 환경이 된다. 또한 다중이용시설의 업종들은 대면업무에 기반한 비즈니스가 많아 식당, 카페, PC방 등의 경우 취식하거나 이용하는 동안 1~2시간의 긴 실내 정주시간에 의해 비말이나 실내공기 오염물질 통한 직접적 노출 위험을 갖게 된다. 이러한 노출 위험성은, 팬데믹 초기 미국 내에서 레스토랑이 코로나19의 가장 대표적인 전파경로로 확인되면서[15] 지적된 바 있으며, 국내에서도 지난 3년간 꾸준히 발생한 소상공인시설의 집단감염 사례에서 확인된다[16]. 하지만 다중이용시

Table 3. Impact of METs and breathing rates on virus emissions in small business facilities

| Facility type           | Activity   | MET*                                | Breathing rates (m <sup>3</sup> /h) | Virus emission rates (quanta/h) |                         |               |                 |      |
|-------------------------|------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------|-----------------|------|
|                         |            |                                     |                                     | SARS-CoV-2 (Original)           | Alpha (British) variant | Delta variant | Omicron variant |      |
| Light < 3.0 METs        | Restaurant | 30% speaking                        | 1.0-2.0                             | 0.71                            | 3.4                     | 4.8           | 6.8             | 8.5  |
|                         | Office     | 20% speaking                        | 1.0-2.0                             | 0.65                            | 2.5                     | 3.5           | 5.0             | 6.3  |
|                         | Classroom  | Infected student 10% speaking       | 1.0-2.0                             | 0.6                             | 1.6                     | 2.3           | 3.2             | 4.0  |
|                         | Meeting    | 40% speaking                        | 1.0-2.0                             | 0.76                            | 4.3                     | 6.0           | 8.6             | 10.8 |
| Moderate < 3.0-6.0 METs | Shopping   | 20% speaking (light exercise level) | 3.0-5.0                             | 1.32                            | 4.2                     | 5.9           | 8.4             | 10.5 |
| Vigorous > 6.0 METs     | Sports     | Heavy exercise                      | 6.0-12.0                            | 3.30                            | 4.9                     | 6.9           | 9.8             | 12.3 |

\*MET values for physical activity levels (Mendes et al. 2018; Haskell et al. 2007; REHVA COVID-19 ventilation calculator)

설을 조사한 결과 밀집된 공간이나 접촉이 용이한 시설 이용특성은 포스트 팬데믹 시대에서도 여전히 유지되고 있으며, 운영 및 공간 이용적 측면에서 단기간 해결이 어렵다는 점이 확인되었다. 따라서 취약점에 대해 건축적, 설비적 개선을 통한 환기여건 개선 및 운영이 필요하며, 감염병 발생 상황에서도 탄력적 운영이 가능하도록 유도해나갈 필요가 있다.

#### 4.2. 다중이용시설의 실내활동과 비말발생의 관계

다중이용시설은 업종이 다양하고 동일 업종 내에서도 규모, 이용시간, 활동량의 차이가 크다. 실내활동량 높을 경우 재실자의 신체 대사율(metabolic rate)이 증가하며 이에 비례하여 비말 발생량과 바이러스 토출량이 크게 증가하게 된다. 따라서 동일한 재실인원이더라도 단순 정주하고 있는 카페보다 피트니스 센터에서 1인당 비말 및 바이러스 토출량이 여러 배가 될 수 있다. Table 3.[17]은 선행 연구를 기초로 다중이용시설에서 가능한 활동에 따른 대사율(MET: Metabolic Equivalent of Task)과 비말 발생에 따른 잠재적 COVID-19 변이별 방출률을 정리한 것이다. Orton et al. (2022)[18]에 따르면 건강한 성인 남녀 25명을 대상으로 운동수준(대화, 격렬한 운동, 매우 격렬한 운동)에 따른 호흡량을 분석했을 때, 운동량에 따라 발생중량 총합은 유사하지만 입자량 기준으로 더 많은 수의 비말 입자가 배출되는 것을 확인한 바 있다. Buonanno et al. (2020)[19]의 연구에서는 바이러스의 토출량은 비말 발생량과 비례하는 것으로 나타나 실내활동수준이 높은 다중이용시설(피트니스, 요가, PT시설 등 실내체육시설, 노래방 등)은 비말발생량 증가에 따른 재실자간 공기감염병 발생에 대한 유의가 지속적으로 필요한 것으로 판단된다.

#### 4.3. 다중이용시설의 HVAC시스템 및 환기량 구성

다중이용시설에서 많이 사용되는 냉난방시스템 유형은 독립형 에어컨 혹은 VRF시스템으로 설치의 편이성이 높고 개별적 관리 및 제어가 용이하다는 점에서 장점이 있다. 이러한 시스템은 신축 혹은 기존 건물에서 종류에 따라 단일 실외기를 통해 여러 개 실에 냉난방을 공급할 수 있으며, 특히, 중소형 상업용 건물에서 활용이 많다. 하지만 실내공기질에 대한 측면에서 독립형 에어컨 혹은 VRF시스템은 환기에 대한 기능이 없다는 단점이 있다. 따라서 상시적 공기감염

에 대한 위험을 낮추고 건물의 감염병 제어역량 개선을 위해서는 별도의 환기설비의 설치가 불가피하다. 계절적으로 다중이용시설 냉난방 설비는 하절기 및 동절기 에너지 저감을 위해 재순환 운영으로 공기오염물질의 재순환 우려가 있고, 특히 체류시간이 긴 다중이용시설(체육시설, PC방, 카페 등)은 위험도가 더 크게 증가한다.

한편, 냉난방 설비에서 나오는 직접 기류에 대한 재실자 노출은 여전히 감염병 확산에 대한 확산 요인이 될 수 있다. 일례로, 중국 광저우 식당의 집단 감염사례[5]는 코로나 바이러스가 식당 내 냉방장치에 의해 발생한 기류에 의해 장거리 이격된 방문자가 감염될 수 있음을 입증하였다. 유사하게 지난 2020년 전주에서 발생한 식당 집단감염[5]사례도 최초 확진자와 6.5m 이상 떨어진 곳에서 확진자가 발생함에 따라 냉방장치에 의한 실내기류가 장거리 비말감염을 유발할 수 있음을 보여주었으며, 물리적 거리두기 뿐만 아니라 실내 기류에 대한 제어와 배치도 중요함이 확인하였다.

포스트 팬데믹으로 접어들면서 방역지침은 완전히 해제되었으나, 다중이용시설의 공조시스템은 코로나 전후와 크게 변화하지 않았다는 점에서 잠재적 위험요인을 주목할 필요가 있다. 특히, 코로나19 시기 HVAC시스템은 공기감염의 요인으로 국내외에서 인정된 바 있고[13, 14], 질병관리청의 식당, 병원 등 집단감염시설의 공기역학적 실험 결과[9]에서도 공조시스템을 통한 수평, 수직적 멀티 존 사이의 잠재적 확산 가능성을 완전히 배제하기는 어렵다고 판단되었다. 그러므로, 포스트 팬데믹 시대에 다중이용시설의 잠재적인 공기오염물질 및 감염병 확산 예방을 위해서는 적정 환기를 구성하고 실내기류에 대해 제어할 필요가 있다[11, 20].

### 5. 다중이용시설의 환기체계 개선방향

지난 2021년 ASHRAE/USGBC은 미국 전국 4,124개 K-12 school를 대상으로 팬데믹 시기 실내공기질 개선 노력을 사후 평가한 바 있다. 보고서에 따르면, 팬데믹 기간 동안 방역 지침 준수에 대한 주요 장애요인 중 하나로 HVAC시스템이 외기 도입률 높이드록 계획되지 않았다는 점을 지적하였다[21]. 지난 3년 동안의 팬데믹에도 불구하고 국내에서 아직까지 포스트 팬데믹을 위한 연구가 많지 않은 편이다. 또 다른 팬데믹에 대비하기 위해서는 고위험군인 다중이용시설을 중심으로 취약시설에 대해 실태 조사와 개선방안을 마

련할 필요가 있다. Table 3.은 본 연구의 현장조사 결과를 바탕으로 도출한 포스트 코로나 시대 감염병에 대비한 환기체계 구축을 위한 저해요인과 고려사항으로 다음과 같이 요약될 수 있다.

- “건축물의 설비기준 등에 관한 규칙”에서는 기계환기설비를 설치해야 하는 다중이용시설과 필요환기량을 규정하고 있으나, 중소규모 시설은 기준에서 소외되어 있어 다중이용시설의 다수를 차지하는 중소규모시설의 최소한 환기량 확보를 위한 제도적 개선이 필요함.
- 다중이용시설의 감염병 발생에 대비하여 오염물질의 배출, 확산억제, 희석, 제거 등의 엔지니어링 접근 방법에 따른 시설 적용 및 환기 운영을 위한 계획이 수립될 필요가 있음.
- 미래 감염병 대응을 위해 환기용량 및 설계과정에서 탄력적인 시설 운영을 지원할 수 있도록 계획될 필요가 있으며, 국부적으로 환기가 열악한 취약 공간의 경우 보완적 환기 운영방안의 수립이 필요함.
- 시설의 환기능력 개선은 감염병 예방의 중요한 요소로 복잡한 실내 레이아웃 및 파티션 구성은 실내 환기효율의 저해요인으로 작용하므로 지양하는 것이 좋으며 사회적 거리두기를 고려한 적정 채실밀도의 계획이 요구됨.

- 잠재적 공기오염원(예: 주방공간, MET가 높은 실내 피트니스 공간)에 대한 배출 계획이 필요하며, 오염원 발생 공간은 급배기 조절을 통해 음압을 유지하는 것이 유리함. 공조시스템 운영시 실내 기류에 채실자가 직접 노출을 줄이는 설비 운영이 필요함.
- 다중이용시설의 사용 전후 실내 오염물질 적체를 방지하기 위해 적정 환기량 확보가 필요하며 (예: well-mixed 공간의 경우 3ACH 이상) 실내 레이아웃이 복잡한 경우는 더 많은 환기횟수나 시간을 보장할 필요가 있음.

코로나19 발생 후 실내에서 주기적인 환기의 중요성이 강조되었으나 여전히 다수의 다중이용시설들은 자연환기 성능이 열악하거나 기계환기설비가 없고 혹은 충분히 유지관리가 안된 경우가 많다. 특히, 다중이용시설은 공간이 협소한 경우가 많아 물리적으로 기계환기 설치공간의 제약이 있는 경우가 많다. 따라서 다중이용시설의 감염병 발생에 대비한 환기체계가 구성 및 운영될 필요가 있으며, 환기체계 개선을 위해 Table 4.와 같은 전략적 방향을 고려할 필요가 있다.

또한, 환기가 열악한 공간에서는 이를 보완하기 위해 공기청정기 등을 보조적 수단으로 활용할 수 있으나 이는 공기 오염원의 종류와 장치의 운영 및 유지관리 수준에 따라 결정될 필요가 있다. 다중이용시설의 실내공기질을 개선하기 위해서는 궁극적으로는 계획단계부

Table 4. Barriers and recommendations for pandemic preparedness in multi-use facilities

| Barriers                        | Description   | Recommendations   | Description  |
|---------------------------------|---|---|--|
| Institutional barriers          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Current standards define minimum ventilation rate per capita, which makes it difficult to reflect spatial factors in multi-use facilities</li> <li>• In a pandemic situation, type-2 or type-3 ventilation are more vulnerable than type-1 to increase and control ventilation rates</li> </ul>  | Minimum requirement   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compliance for Regulations for building standards, etc and Indoor Air Quality Control Act</li> <li>• Regular maintenance and ventilation training on HVAC systems</li> </ul>  |
| Architectural planning barriers | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poor ventilation performance is found in underground spaces, highly enclosed or complex indoor compartments, core zones, and locally poorly ventilated indoor spaces</li> <li>• Insufficient ventilation window and opening areas also causes poor ventilation performance</li> </ul>  | Prevent airborne contaminants from entering and spreading from the outside  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avoid configuring complex interior layouts to support social distancing</li> <li>• Ensure sufficient distancing between occupants</li> </ul>  |
| HVAC system barriers            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• EHP heating and cooling with no ventilation, requiring a dedicated ventilation unit</li> <li>• High-performance filters or medium filters in HVAC system are required</li> <li>• Insufficient capacity of ventilation equipment</li> <li>• Direct airflow exposure of occupants from heating and cooling equipment</li> </ul>                                    | Control the indoor transmission of indoor airborne contaminants             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Install exhaust ducts in potential contaminant source areas and plan for adequate exhaust air rate</li> <li>• Install partitions in occupied spaces in extended-stay facilities (i.e., dining and cafes, etc.)</li> <li>• Prevent direct airflow exposure of HVAC systems to occupants</li> </ul>   |
| Facility type barriers          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Increased risk of occupant exposure to airborne contaminants in extended-stay facilities and high activity (MET) facilities depending on the facility's usage and type</li> </ul>  | Exhaust and concentration dilution of air contaminants via fresh air intake | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilation capacity planning for flexible scaling of ventilation (i.e., adequate ventilation capacity for long-stay facilities, high metabolic rate facilities)</li> <li>• Immediate outside exhaust in the event of an infectious substance outbreak (i.e., increase ventilation exchange rates and exhaust air volume)</li> <li>• Dilution plan for infectious substance outbreaks in indoor air (i.e., resilient scaling of outdoor air intake)</li> <li>• Plan to remove infectious substances from indoor air (i.e., sterilization using high-performance filters, UVGI, and photocatalysis)</li> </ul> |
| Administrative barriers         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Irregular maintenance of heating, cooling, and ventilation systems</li> <li>• Intermittent operation of natural and mechanical ventilation</li> <li>• Air recirculation to reduce energy consumption of air conditioners and heaters</li> <li>• Insufficient training and lack of manuals on proper ventilation methods for facility operations staff</li> </ul> |   |  |
| Occupant barriers               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Difficult to maintain social distancing in indoor environments depending on the facility usage and activities.</li> </ul>  | Prevent the spread of air contaminants to neighboring spaces                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maintain clean space positive pressure through HVAC system zoning and supply &amp; exhaust air volume controls</li> <li>• Fresh air for at least 2 hours before and after occupancy of the facility or 3 ACH or more air change</li> </ul>  |

터 건축 및 설비적 환경을 개선하는 것이 중요하며, 특히 감염병 발생 시 탄력적으로 운영 가능한 공조 및 환기 운영 환경을 구축하기 위해 노력할 필요가 있다. 이를 위해 다중이용시설에서 환기 성능 계획 시 필요한 환기 능력에 대한 목표 수준(예: 제도적 기준에 따른 최소 환기요구량, ASHRAE Epidemic Task Force의 감염병 발생을 고려한 최소 환기요구량, 보완적 수단 병행시 동등 환기량 등)을 설정하고 재난발생 시 탄력적으로 운영할 필요가 있다.

## 6. 결론

다중이용시설은 다수의 다양한 계층 및 연령대의 사람들이 이용하는 시설로서 시설의 특성상 대면업무를 수행하고 그 과정에서 직·간접적인 접촉이 발생할 수 있다는 점에서 바이러스 전파 위험이 높은 시설로 지적되어 왔다. 다중이용시설은 시설 종류에 따라 외기 접근성, 환기시설의 유무, 공간의 위치(지상/지하), 평면의 형태(중복도식/편복도식 등)이 상이하하며, 환기여건과 공기환경의 수준에서 현격한 차이가 있어 개선에 어려움이 많다. 이에 따라 본 연구에서는 다중이용시설을 대상으로 환기 성능 파악을 위해 현장 조사를 통해 건축적, 설비적, 관리적 요소를 점검하였으며 이를 통해 장애요인과 개선방향을 검토하였다. 대상시설 검토결과, 다중이용시설에서 잠재적인 공기오염물질에 대한 예방태세를 강화하기 위해 불필요한 직접 접촉을 줄이는 환경이 중요하지만 시설 용도 및 활동에 따라 불가피할 경우 오염물질의 잠재적인 공기전파를 줄이고 억제 및 방출하는 환기계획이 필요한 것으로 확인되었다. 또한, 본 연구는 부산 지역 20개소의 다중이용시설을 대상으로 조사한 결과로 향후 전국적인 포괄적 실태조사를 통해 기존 다중이용시설에 대한 일반적 현황 파악하고 장기적으로 제도적 측면에서 포스트 코로나 시대에 감염병에 대비한 다중이용시설의 환기체계 개선을 위한 건축물의 환기설계기준을 개선해 나갈 필요가 있다.

## Acknowledgement

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2022년)에 의하여 연구되었음

## References

[1] 질병관리청, 코로나바이러스감염증-19, 2023.08.31. // (Korea Disease Control and Prevention Agency, COVID-19 virus infection, 2023.08.31.)  
 [2] 주재욱 외, 2020, 코로나19 확산이 서울 지역에 미친 경제적 손실, 정책리포트 제322호, 서울연구원. // (J.U. Joo et al., 2020, The economic impact of the COVID-19 outbreak on the Seoul region.)  
 [3] 이태정 외, IoT 기반 데이터를 이용한 경기도 다중이용시설의 실내 공기질 특성 분석, 한국대기환경학회지, 제37권 제5호, 2021.10, pp.777-789. // (T.J. Lee et al., Analysis of indoor air quality characteristics of multi-use facilities in Gyeonggi-do using IoT-based monitoring data, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 37(5), 2021.10, pp.777-789.)  
 [4] 김영진, 김선혜, 다중이용시설의 환경부 실내공기 우수시설 인증 사례분석 및 제도 개선 제언, KIEAE Journal, 제22권 제2호, 2022.04, pp.63-68. // (Y.J. Kim, S.H. Kim, A case study of national indoor air certification for multi-purpose facility, and suggestions for improvement,

KIEAE Journal, 22(2), 2022.04, pp.63-68.)  
 [5] 장소미 외, 열회수형 환기장치 적용 시 다중이용시설의 환기횟수에 따른 냉·난방부하와 감염률, 설비공학논문집, 제33권 4호, 2021.04, pp.199-207. // (S. Jang et al., Thermal load and the probability of infection according to the ventilation rate of multi-use facilities applying ERV, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 33(4), 2021.04, pp.199-207.)  
 [6] 임태규 외, 소규모 다중이용시설 집단 감염 확산 방지 대응 직립형 열회수환기장치 실증 운영 사례, 대한설비공학회 2021년도 동계학술발표대회 논문집, 2021.11, pp.417-424. // (T.G. Lim et al., Demonstration operation of upright type heat recovery ventilation system(Hueven SII) to prevent the spread of infection in small-sized multi-use facilities, 2021 Winter Conference of Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 2021.11, pp.417-424.)  
 [7] 정재원, 동혜원, 다중이용시설의 환기설비 현황 및 개선 방향, 설비저널, 제50권 제3호, 2021.03, pp.66-75. // (J.W. Jung and H.W. Dong, The status and improvement directions of ventilation systems in multi-use facilities, Magazine of the SAREK, 50(3), 2021.03, pp.66-75.)  
 [8] 박상태, 소규모 다중이용시설에 환기설비 설치 사례, 설비저널, 제51권 제3호, 2022.03, pp.36-47. // (S.T. Park, Case study: Ventilation installation in small multi-use facilities, Magazine of the SAREK, 51(3), 2022.03, pp.36-47.)  
 [9] 최영진, 다중이용시설에 설치된 환기설비의 유지관리 방안, 설비저널, 제51권 제3호, 2022.03, pp.50-60. // (Y.J. Choi, Ventilation system maintenance for multi-use facilities, Magazine of the SAREK, 51(3), 2022.03, pp.50-60.)  
 [10] 질병관리청, 코로나바이러스감염증-19 대응지침(지자체용) 제12판. // (Korea Disease Control and Prevention Agency, COVID-19 Guidance (for local governments) 12th edition.)  
 [11] 연합뉴스, 18일부터 사회적 거리두기 전면 해제... 2년1개월만, 2022.04.15. // (Yonhap News, Social distancing ends on the 18th... in 2 years and 1 month, 2022.04.15.)  
 [12] Yu et al., Impact on airborne virus behavior by an electric heat pump (EHP) operation in a restaurant during winter season, Building and Environment, 200, 2021.  
 [13] 서울특별시, 실내공기질 인증시설통계, 2024. // (The City of Seoul, Indoor air quality certified facility statistics, 2024.)  
 [14] WHO, Avoid the Three Cs, 2020.  
 [15] D. Cyranoski, How to stop restaurants from driving COVID infections, Nature, 587, 2020.  
 [16] 질병관리청, 집단사례별 위험도평가 및 공기역학적 특성분석, 2021. // (Korea Disease Control and Prevention Agency, A study on the risk assessment and aerodynamic characteristics analysis of COVID-19 group infection cases- Final report. 2021.)  
 [17] William et al., Physical activity and public health: Updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association, August 2007.  
 [18] Orton et al., A comparison of respiratory particle emission rates at rest and while speaking or exercising, Communications Medicine, 2, 2022.  
 [19] Buonanno et al., Estimation of airborne viral emission: Quantitative emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment, Environment International, 141, 2020.  
 [20] ECDC, Heating, ventilation and air-conditioning systems in the context of COVID-19, First update, 2020.  
 [21] WHO, Transmission of SARS-CoV-2: Implications for infection prevention precautions, 2021.

Appendix A. Summary for building ventilation system performance in multi-use facilities

| Categories   |   |   | n   | 1)  | 2)  | 3)  | 4)  |
|--|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| Space use and social distancing  | Construction year   | 1) 1970s 2) 1980s 3) 1990s 4) 2000s   | 19  | 5%  | 16% | 16% | 63% |
|  | Facility type   | 1) Detached building 2) Tenanted (above ground) 3) Tenanted (under ground)  | 20  | 65% | 25% | 10% | n/a |
|  | Facility area (m <sup>2</sup> )   | 1) <100m <sup>2</sup> 2) <300m <sup>2</sup> 3) <500m <sup>2</sup> 4) ≥500m <sup>2</sup>   | 20  | 30% | 25% | 5%  | 40% |
|  | Horizontal plan layout  | 1) Open space or well ventilated<br>2) Partially interior partitions or compartmentalized rooms<br>3) Central hallway floor plans or complex rooms that are difficult to ventilate              | 20  | 40% | 45% | 15% | n/a |
|  | Horizontal plan layout  | Vertical airflow transfer (stack effect) through vertical spaces (i.e., elevators, stairwells, PDs, etc.)<br>1) Never 2) Occasional 3) Frequent   | 20  | 75% | 20% | 5%  | n/a |
|  | Outdoor exposure  | 1) 2 or more sides open to the outside<br>2) 1 side facing the outside<br>3) No access to the outside   | 20  | 40% | 45% | 15% | n/a |
|  | Contaminant exposure from neighborhood (i.e., fitness center)   | 1) Potential to spread from neighboring spaces<br>2) Low likelihood of spreading through the built spaces   | 20  | 45% | 55% | 0%  | n/a |
|  | Social distancing   | 1) Always maintain 2 meters between occupants<br>2) Occupants can stay at least 1 meter apart<br>3) Unable to maintain 1 m distance between occupants   | 20  | 15% | 45% | 40% | n/a |
|  | Occupancy density and stay hours  | The number of occupants per unit area (1m <sup>2</sup> ) at peak times<br>1) 30% or less of the design capacity<br>2) 70% or less of the design capacity<br>3) More than 70% of design capacity | 20  | 20% | 50% | 30% | n/a |
|  |   | The average stay time of employees in major spaces<br>1) Less than 30 minutes 2) Less than 1 hour 3) More than 1 hour   | 20  | 0%  | 15% | 85% | n/a |
| The average stay time of visitors in major spaces<br>1) Less than 30 minutes 2) Less than 1 hour 3) More than 1 hour |   | 20  | 5%  | 60% | 35% | n/a |     |
| Droplet production by indoor activity levels   | The amount of droplets (splashing) in the space<br>1) Hardly any droplets<br>2) Drooling at a casual conversation level<br>3) Active drooling (i.e., singing, dancing, vigorous exercise, cheering, etc.) | 20  | 25% | 65% | 10% | n/a |     |
| Indoor air quality management  | Ventilation methods   | 1) Natural + mechanical ventilation with outdoor air<br>2) Natural ventilation or mechanical ventilation with outside air<br>3) No adequate ventilation   | 20  | 35% | 55% | 10% | n/a |
|  | Overall ventilation performance   | 1) Good ventilation in most spaces (i.e., cross ventilation)<br>2) Poor ventilation in some rooms/corners<br>3) Poor in most spaces   | 20  | 45% | 55% | 0%  | n/a |



Appendix A. Summary for building ventilation system performance in multi-use facilities (continued)

| Categories   |                               | n   | 1)   | 2)  | 3)   | 4)  |     |
|--|-------------------------------|---|--|-----|------|-----|-----|
| Indoor air quality management  | Ventilation system O&M        | Administrator designation for ventilation and air purification equipment, etc:<br>① Yes / ② No  | 17   | 65% | 35%  | n/a | n/a |
|  |                               | Recognition of the presence of ventilation and air purifiers by a administrator:<br>① Yes / ② No  | 20   | 85% | 15%  | n/a | n/a |
|  |                               | Existence of IAQ manuals for ventilation and air purification systems:<br>① Yes / ② No  | 16   | 50% | 50%  | n/a | n/a |
|  |                               | Regular inspection and maintenance of ventilation and air purification equipment:<br>① Yes / ② No   | 20   | 75% | 25%  | n/a | n/a |
|  | Supplemental IAQ equipment    | Air purifier operation<br>1) Full-time operation during open hours<br>2) Intermittent operation<br>3) Not operational / not applicable  | 20   | 25% | 40%  | 35% | n/a |
|  |                               | Air purification equipment filter type<br>1) Always use HEPA filters or better<br>2) Medium filter or equivalent<br>3) Use a filter that is less than or equal to a HEPA filter                       | 16   | 13% | 56%  | 31% | n/a |
|  |                               | Capacity of air purification equipment<br>1) Meets facility needs<br>2) Sufficient for hard-to-ventilate spaces in the facility<br>3) Inadequate capacity   | 17   | 24% | 41%  | 35% | n/a |
|  | Heating and cooling equipment | Heating and cooling system type   | 20   | 35% | 65%  | n/a | n/a |
|  |                               | Recirculation and fresh air rate  | 20   | 15% | 65%  | 20% | n/a |
|  |                               | Air movement  | Use of other cooling devices that generate indoor airflow (i.e., ceiling fans, electric fans, etc.)<br>1) Not used 2) Partially used 3) Fully used | 20  | 55%  | 25% | 20% |
| Occupant exposure to direct wind from HVAC units<br>1) Indirect or no breeze (0.4 m/s or less)<br>2) Directed at some occupants<br>3) Directed at many occupants |                               |   | 20   | 30% | 65%  | 5%  | n/a |
| Air filter and sterilizers   |                               | Use of antibacterial/antiviral filters in air conditioning (HVAC) systems<br>1) HEPA filter or better always used<br>2) Medium filter or equivalent<br>3) Filters below the level of a dust collector | 17   | 12% | 59%  | 29% | n/a |
|  |                               | Use of UVC in Air Conditioning (HVAC) system<br>1) Used always for sterilization<br>2) Intermittently used for sterilization or never used / not installed  | 17   | 0%  | 100% | n/a | n/a |