https://doi.org/10.15682/jkiha.2023.29.1.43

포스트 코로나 시대 신종 감염병 대비를 위한 기존 의료시설의 비상시 운영사례 조사 및 분석

Investigations on the emergency operation status of existing medical facilities to prepare for emerging infectious diseases in the post-COVID-19 era

이세진* Lee, Sejin | 이원석** Lee, Wonseok | 김은석*** Kim, Eunseok | 여명석**** Yeo, Myoungsouk

Abstract

Purpose: To accommodate the increasing number of patients during the COVID-19 pandemic, numerous portable HEPA filter units (PHUs) were installed in the general wards of existing medical facilities(EMFs) to convert them into emergency conversion facilities (ECFs). The purpose of this study was to build a dataset in preparation for emerging infectious diseases in the post-COVID-19 era by analyzing the construction and operation of ECFs. **Methods**: Field investigations were conducted during ECF operation periods based on the analysis of heating, ventilation, and air conditioning (HAVC) system design documents for six ECFs across Korea. Interviews were conducted with facility managers during the field investigations. **Results**: When constructing an ECF within an EMF, the installation status and characteristics of the existing system should be considered. Field investigations and verifications of the operation of HAVC systems must be conducted beforehand for smooth ECF operations. If heating and cooling are required with indoor air circulation type equipment in an ECF zone, the implementation of a heating and cooling method that can satisfy the comfort requirements of the occupants while minimizing cross-contamination is essential. When using PHUs that do not meet the performance standards required by medical equipment, the noise level resulting from such equipment operation must be evaluated and improved. **Implications**: For EMFs, various guidelines that can be referred to for the construction and operation of ECFs must be developed to prepare for emerging infectious diseases in the future.

주제어: 임시음압격리병실, 긴급전환시설, 이동형 음압기, 사례연구, 현장조사
Keywords: Temporary negative pressure isolation ward, Emergency conversion facility, Portable HEPA filter unit, Case study, Field investigation

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

2003년 중증급성호흡기증후군(SARS)부터 평균 5년 주기로 신종 감염병이 발생하고 있는 가운데, 국내에서는 2015년 중동호흡기 증후군(MERS) 사태 이후 본격적으로 신종 감염병 확산 예방 및 관리 대응 체계를 갖추면서 전염성 감염병 환자를 수용하는 음압격리병실 구축 및 운영에 대한 관심이 높아졌다.

그러나, 2019년 코로나바이러스 감염증(COVID-19)의 발생과 이후 COVID-19 팬데믹으로 인해 그동안 구축된 국가지정음압격리병상의 환자 수용 능력이 한계에 달하면서, 관련 환자를 수용하는 방안 중 하나로서 이동형 음압기를 설치하는 등 기존 의료시설의 일반병실을 임시음압격리병실로 전환하여 비상체제로 병원을 운영한 사례가 다수 있었다.

특히, COVID-19 확진자 수가 타 도시 대비 많았던 서울시에서는 시립병원을 감염병전담병원으로 지정하여 각 병원의 입원환자 구역을 단기간 내에 대규모 긴급전환시설로 구축하여 환자를 수용하기도 하였다. 다만, 국내외적으로 이처럼 기존 의료시설을 대상으로 이동형 음압기를 활용한 대규모 긴급전환시설의 구축 및 운영에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구는 국내 기존 의료시설 중 위와 같은 긴급전환시설을 구축한 현장을 대상으로 하여 운영사례 분석을 통해 향후 포스트 코로나 시대 신종 감염병 발생 시 대규모 긴급전환시설 구축이 요구되는 상황을 대비할 수 있는 기초자료를 확보하고자 하였다.

* 회원, 박사수료, 건축학과, 서울대학교 (주저자: qkqhtpwls@snu.ac.kr)
** 회원, 석사과정, 건축학과, 서울대학교 (wsl95@snu.ac.kr)
*** 회원, 부연구위원, 서울특별시 공공보건의료재단 (eskim@seoulhealth.kr)
**** 이사, 교수, 건축학과, 서울대학교 (교신저자: msyeo@snu.ac.kr)

www.kci.go.kr

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구에서는 일반병실에 이동형 음압기를 설치하여 전염성 감염병 환자를 수용할 수 있도록 한 임시음압격리병실과 관련된 긴급전환시설의 구축 및 운영사례에 대해 다루고자 하였다. 연구 방법은 다음과 같다.

1) 이동형 음압기를 활용하여 일반병실을 임시음압격리병실 전환한 사례를 중심으로 국내외 기존 연구 문헌을 고찰하였다.

2) 긴급전환시설 운영사례로서 기존 의료시설 중 병동 규모 이상의 대규모 긴급전환시설 구축 및 운영 경험이 있는 국내 종합병원 6개소를 대상으로 조사 분석을 진행하였다.

설계도서를 바탕으로 긴급전환시설이 구축된 구역의 기존 공조설비 조닝 및 계획을 분석하였으며, 이를 바탕으로 현장조사를 통해 해당 구역의 평시 및 비상시 공조설비 운영현황에 대해 비교 분석하였다.

3) 조사 대상 병원의 시설관리자 면담을 통해 긴급전환시설 구축 및 운영 시 실제 현장에서 요구되었던 점을 조사하였으며, 이를 통해 향후 고려되어야 할 시사점을 도출하였다.

2. 기존 문헌 고찰

본 연구에서 다루고자 하는 긴급전환시설은 기존 의료시설 내 일반병실에 이동형 음압기를 설치하여 임시음압격리병실로 전환한 형태의 시설로서 이와 관련된 국내외 사례 연구는 다음과 같다.

2.1 국내 긴급전환시설 관련 사례 연구

국내의 최근 긴급전환시설에 대하여 현장 조사 및 측정을 진행한 연구는 해당 시설이 일반 입원환자 구역으로 재전환 된 후 일부 병실 및 복도에 한정하여 진행되었으나, 현장 측정 조건을 통해 대상 건물 해당층의 공조설비를 긴급전환시설 운영 당시와 같게 가동하였다고 밝혔다(이원석 외, 2022).

세부적으로는 해당층의 병실과 복도의 중앙식 급배기는 모두 가동을 중지하였고 병실 내 화장실 배기 설비는 가동하였으나, 긴급전환시설 내 모든 급배기구는 밀폐하지 않은 상태였다. 다만, 이 사례에서는 기존 공조설비의 운전 방식에 대해서만 고려하였고 전체 입원환자 구역 중 긴급전환시설이 구축된 당시 규모와 범위 또는 해당 구역에 적용된 기존 공조설비의 조닝과 중앙 급배기 공조유닛의 형식, 그에 따른 평시 공조설비의 운영현황 등은 분석 내용에 포함하지 않았다.

또한, 전염성 감염병 환자 중 중증 환자 수용을 위하여 입원환자 구역 내 일부 병실에 이동형 음압기를 설치하고 임시음압격리중환자실을 구축한 사례도 조사되었다(Lee, et al., 2020).

이 사례에서는 중환자용 의료기기의 설치와 필요 면적을 고려하여 대상 공간을 선정하고 병실 전실 설치를 위한 적정 공간 구획을 검토하는 등 소요 공간 계획에 대해 적극적으로 검토하였다. 병실과 전실 출입문에는 차압계를 설치하여 실시간으로 실간 차압을 모니터링 할 수 있도록 하였으며, 격리 상황에서 정신과적 문제가 발생하여 환자가 병실을 이탈할 경우를 대비하고 출입을 제어하기 위하여 출입문에 자동제어가 가능한 잠금장치를 설치하는 등 비교적 정밀하고 효율적으로 운영할 수 있도록 시설을 구축하였다. 그러나, 해당 시설 내 급배기 및 냉난방을 포함한 모든 기존 공조설비에 대한 정보 또는 가동/밀폐 여부 등에 대한 조건에 대해서는 다루지 않았다.

2.2 국외 긴급전환시설 관련 사례 연구

국외의 관련 사례 연구 중 하나는 기존의 일반병실에 이동형 음압기를 설치할 때 병실 공간을 플라스틱 비닐 재질의 가림막으로 구획하여 임시 전실로 활용하는 시스템을 대상으로, 현장에서 입자상 물질의 확산실험을 수행하고 해당 시스템의 검증하고자 하였다(Mousavi, et al., 2020).

이 연구에서는 병실과 임시 전실에 각각 이동형 음압기를 배치하여 장비 가동 여부와 비닐 가림막의 상태에 따른 임시음압격리병실의 성능에 대해 고찰하였으나, 앞의 국내 사례 연구와 마찬가지로 실험 조건으로서 기존 공조설비에 대한 정보 또는 가동/밀폐 여부 등에 대한 조건에 관해서는 서술하지 않았다.

긴급전환시설을 구축하는 방안으로서, 병동 입구에 임시 전실을 설치하고 그 내부에 운전 풍량이 약 1,104 ㎥/h인 이동형 음압기 두 대를 설치하여 해당 장비와 기존 공조설비 운전 방식의 조합으로 병동 단위의 구역을 임시음압격리병동으로 구현한 사례도 보고되었다(Miller, et al., 2017).

해당 구역을 담당하는 공조유닛은 전공기 방식의 정풍량 시스템으로 운전되는 공조기(Air Handling Unit, AHU)로, 긴급전환시설 구축을 위하여 임의로 리턴 공기를 재순환하지 않는 전외기 방식으로 셋팅하였다. 이러한 상태에서 중앙 급기 풍량은 평시 공급 풍량 대비 약 60%까지 줄인 상태로 공급하였고 중앙 배기는 평시 작동 풍량으로 운전하였다. 결과적으로 복도-임시 전실-병동 내부 구역의 실간 차압은 CDC 기준 이상으로 구현하였으나, 병동 내부에 위치한 병실 등에서 기류 역류 현상이 나타나는 것으로 확인되었다. 이 사례의 경우, 전술한 사례 연구들과는 다르게 긴급전환시설 내 중앙 급배기를 위한 기존 공조설비의 유형과 운전 방식에 대하여 비교적 상세히 다루고 있었다. 그러나 현장 조건으로서 기존 공조설비의 조닝과 계획 및 이에 따른 평시 공조설비 운영현황에 대한 분석은 포함하지 않았다.

이상의 국내외 연구사례들은 기존 의료시설의 입원환자 구역 내 이동형 음압기를 설치하여 구축된 임시음압격리병실 및 병동의 성능을 검증하고자 하는 단일 사례 연구를 기반으로 하고 있다.

기존 의료시설을 대상으로 전체 시설 중 일부 구역을 긴급전환시설로 구축한다는 점에서 기설치된 공조설비 조닝과 계획, 공조유닛의 분류와 그에 따른 평시 및 비상시 운영현황 등에 대해 조사 분석한다면 추후 긴급전환시설 성능 및 실내 환경 분석 시 근거자료로 활용할 수 있을 것으로 예상된다. 추가로, 복수 사례에 대한 비교분석을 수행함으로써, 향후 팬데믹과 같은 상황에서의 긴급전환시설 구축 및 운영에 관한 개선 방향을 도출할 수 있을 것이다.

www.kci.go.kr

3. 기존 의료시설 운영사례 비교분석

기존 의료시설 운영사례는 COVID-19 팬데믹 동안 이동형 음압기를 활용하여 병동 단위 이상의 대규모 긴급전환시설을 구축한 사례로서, 2020년 3월경부터 2022년 5월경까지 해당 시설 내 일반병실 대부분을 임시음압격리병실로 전환하여 운영한 경험이 있는 종합병원을 대상으로 하였다.

운영사례 비교분석은 기본적으로 해당 시설의 협조를 통해 긴급전환시설 운영 현장 방문이 가능한 6개소를 대상으로 하였으나, 기존 공조설비 조닝 및 계획 조사는 설계도서를 근거로 하여 현황 도면이 불확실하거나 누락된 2개소를 제외한 4개소를 대상으로 진행하였다.

또한, 평시 및 비상시 공조설비 운영현황에 대해서는 조사 대상으로 선정된 6개소를 대상으로 현장 조사와 시설관리자 면담을 수행하여 그 유형을 분류할 수 있었다. 그러나 병실과 병실 화장실 공간을 중심으로 한 운영현황 도식화 및 분석은 현장과 설계도서의 상호 확인이 가능했던 4개소에 대해서만 다루게 되었다.

상기한 조사 및 분석은 2021년 9월부터 10월, 2022년 4월부터 5월에 걸쳐 약 4개월가량 진행되었다.

3.1 기존 공조설비 조닝 및 계획

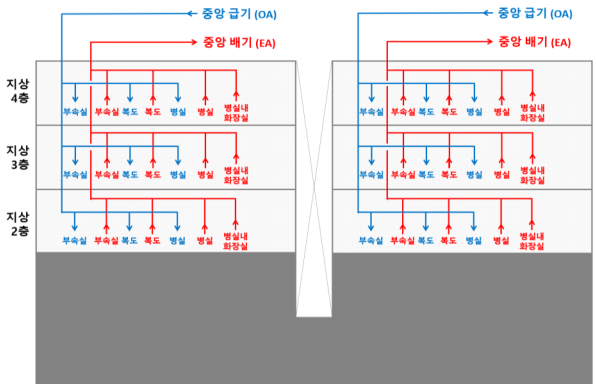
각 조사 대상에서 긴급전환시설이 구축된 구역은 다인실 또는 1인실로 활용되던 일반병실이 배치된 구역으로서, 본 절에서 다루는 기존 공조설비 조닝 및 계획은 해당 병원에서 평시에 운영하는 입원환자 구역에서 개별 냉난방기를 제외한 중앙 급배기설비 현황을 나타낸다.

1) 입원환자 구역의 중앙 급배기 조닝

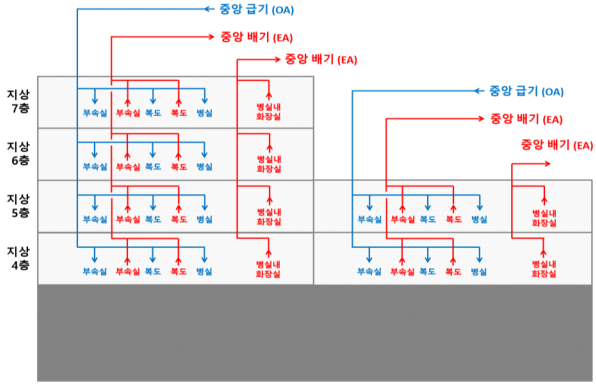
A와 B병원의 입원환자 구역은 건물 중앙부에 위치한 중정 또는 개방 공간을 중심으로 하여 층별로 두 개 병동으로 공간을 구분하고 연결된 복도로 동선을 연결하는 공간 조닝을 기본으로 하고 있다.

A병원의 경우 전체 시설 중 상부 3개 층이 입원환자 구역으로 계획되었으며, ㅁ자형 건물의 중정을 중심으로 하여 각 층별로 두 개 병동으로 구역이 구분되어 있다. 이러한 공간 조닝을 기반으로 해당 구역의 중앙 급배기를 담당하는 공조유닛은 층별로 구분된 병동 3개 층을 수직으로 묶어 조닝하여 1기씩 총 2기를 배치한 형태로 확인되었다([그림 1]-(a)).

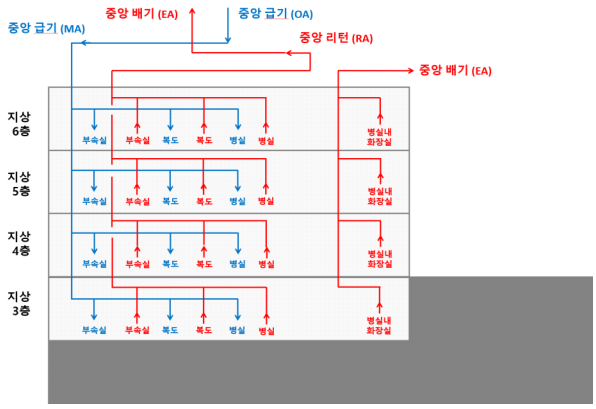
B병원은 전체 시설 중 상부 4개 층이 입원환자 구역으로 계획되었으며, ㄷ자형 건물의 개방 공간으로 구분된 두 구역의 병동을 수직 조닝하는 형태로 중앙 급배기 공조유닛을 배치하였다. B병원의 입원환자 구역 중 상부 2개 층은 하부 2개층과 달리 수평적으로 연결된 병동이 없기 때문에 공조유닛은 각각 2개층, 4개층을 담당하고 있다([그림 1]-(b)).



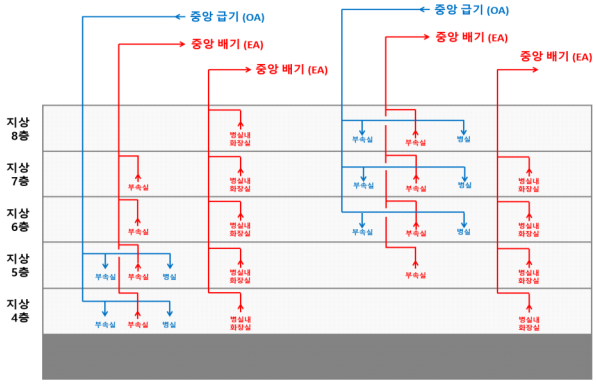
(a) A병원 입원환자 구역 기존 공조 현황



(b) B병원 입원환자 구역 기존 공조 현황



(c) C병원 입원환자 구역 기존 공조 현황



(d) D병원 입원환자 구역 기존 공조 현황

[그림 1] 조사 대상 시설의 입원환자 구역 기존 공조 현황

www.kci.go.kr

C병원은 앞의 A, B병원보다 상대적으로 시설 규모가 작은 병원으로서, 전체 시설 중 상부 4개 층이 입원환자 구역으로 계획되었고 층별로 1개 병동으로 구성되어 있다. C병원의 중앙 급배기 공조유닛은 총 1기로 해당 구역 전체를 담당하도록 조닝되어 있다([그림 1]-(c)).

D병원은 4개 병원 중 가장 규모가 큰 시설이다. 장방형의 건물로서 내부적으로는 층별로 크게 동편과 서편 두 곳의 병동부로 구분되어 있으나, 공조 조닝으로는 전체 시설 중 5개 층으로 되어있는 입원환자 구역 중 한 개 층에 배치된 두 병동을 묶어 하부 2개 층과 상부 3개 층으로 수직 조닝하여 각 1기씩 중앙 급배기 공조유닛이 배치되어있는 것으로 확인하였다. 각 공조유닛에 중앙 급배기를 담당하는 층 외 입원환자 구역 내 다른 층의 일부 부속실 배기도 포함된 것으로 조사되었다([그림 1]-(d)).

2) 병실 및 공용공간의 급배기구 배치

각 병원의 병실 내 급배기구 배치 계획에 대해 조사한 결과, A와 C병원은 병실 내 중앙 급배기 공조유닛과 연결된 급배기구를 모두 배치하는 것으로 계획된 것을 확인하였다. B와 D병원의 경우 병실 내 급기구만 배치하여 병실 내에서 화장실을 제외한 별도의 배기구는 계획되지 않은 것으로 조사되었다.

공용공간의 급배기구 배치를 살펴보면 A와 B, C병원은 병실 앞 복도에 급배기구가 모두 배치된 것으로 확인하였다. 이와는 다르게 D병원은 병실 앞 복도에 급배기구가 모두 배치되지 않았고, 병실 앞 복도와 연결된 간호근무실(NS) 및 휴게공간 등에 급기구만 배치된 것으로 조사되었다.

3) 병실 내 화장실 배기 계획

일반적으로 병실 내 화장실 배기는 중앙 급배기 공조설비와 계통이 분리된 중앙 배기 설비로서, 병원별로 입원환자 구역 내 여러 층을 묶어 수직 조닝하는 방식을 바탕으로 하였다.

C, D병원은 중앙 급배기 공조설비와 마찬가지로 수직 조닝한 메인 덕트에 층별로 분기하여 수평적으로 연결한 반면, B병원의 경우에는 병실 내 화장실 배기 덕트를 같은 층 내에서 분기하지 않고 수직으로만 연결되도록 하였다.

다른 세 병원의 사례와는 다르게 A병원의 병실 내 화장실 배기 계통은 층별 병실 내로 분기된 배기 덕트에 연결되어 중앙 급배기 공조설비와 결합된 형태로서, 일반적이지 않은 방법으로 계획된 것으로 조사되었다([그림 1]-(a)).

3.2 평시 및 비상시 공조설비 운영현황

본 절에서는 병실 및 병실 내 화장실 공간 범위을 중심으로 조사 대상별로 입원환자 구역에 적용된 중앙 급배기 공조유닛 등의 분류 및 병실 내 개별 냉난방 형식을 포함하고, 이를 바탕으로 해당 구역을 평상시 일반병실로 운영한 경우와 비상시 이동형 음압기를 설치하여 긴급전환구역으로 운영한 경우로 나누어 고찰하였다.

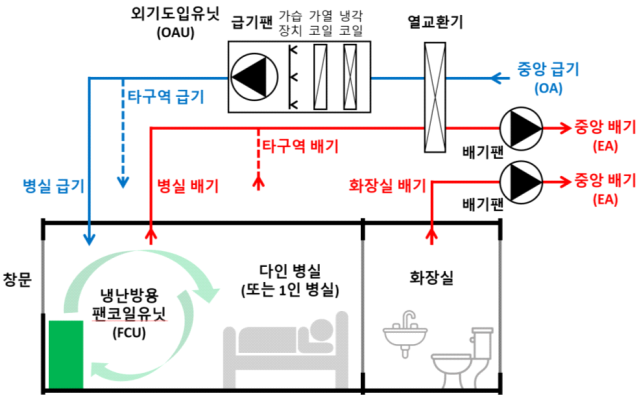
1) 평시 공조설비 운영현황

조사 대상 중 AHU를 사용하고 있는 C병원을 제외한 대부분의 병원은 환기 부하를 담당하는 용량으로 설계된 급배기 분리형 외기도입유닛(Outdoor Air Unit, OAU)을 기본 구조로 한 시스템을 적용하고 있는 것으로 확인되었다([그림 2]).

이와 같은 중앙 급배기 공조유닛에 B, D병원을 제외한 대부분의 병원은 급기 되는 외기와 배기간의 열교환을 위하여 판형(Plate Type) 열교환기가 설치되어 있었다. 다만, D병원의 경우 본 연구를 통해 조사된 구역은 입원환자 구역 중 일부 구역으로, 조사되지 않은 다른 구역은 설계도서 상 판형 열교환기가 설치된 것으로 확인하였다. 다른 병원들과는 다르게 A병원은 열교환시 급배기간의 직접적인 섞임이 없는 히트파이프형(Heat Pipe Type) 열교환기를 사용하는 것으로 조사되었다.

일반병실로 운영 시 설계도서 상 외기도입율은 급기량 기준으로 시간당 약 2~4.5회 정도이며, 팬 용량은 배기 풍량보다 급기 풍량을 더 크게 설계하여 병실을 가압 공간으로 운영되도록 하였다.

일반적으로 환기부하만 담당하도록 설계된 OAU만 가동할 경우 병실 내 냉난방 부하를 처리하기에는 부족한 상황으로, 해당 구역 내에서는 실내 공기 순환형 냉난방 설비로서 상치형, 로보이형 및 천장형 팬코일유닛(Fan Coil Unit, FCU)이나 천장형으로 설치된 전기구동 히트펌프(Electric Heat Pump, EHP)를 사용하여 냉난방 부하를 처리하는 방식으로 운영하였다.



[그림 2] 조사 대상 시설의 평시 공조설비 운영현황 예시

2) 비상시 공조설비 운영현황

COVID-19 팬데믹 동안 비상 체제로서 입원환자 구역 내 일반병실마다 이동형 음압기를 설치하여 임시음압격리병실로 활용하는 등 해당 구역을 긴급전환구역으로 운영할 때는 병원별로 기존 공조설비 운영 방식이 다르게 나타났다. 이러한 운영방식은 크게 중앙 급배기를 평시와 같게 가동한 사례와 중앙 급기만 가동한 사례 및 중앙 급배기 가동을 모두 중단한 사례로 나누어 볼 수 있었다([표 1]).

www.kci.go.kr

[표 1] 기존 의료시설 입원환자 구역 내 기존 공조설비 현황을 바탕으로 한 비상시 공조 운영현황 조사 결과 요약

구분		1) A병원	2) A-1병원*	3) A-2병원*	4) B병원	5) C병원	6) D병원
병실 급기	중앙	외기도입유닛 - 급기량 조절	외기도입유닛 (리턴팬 내장형) - 급기량 조절	외기도입유닛 (리턴팬 내장형) - 급기량 조절	외기도입유닛 - 급기량 조절	일반공조기 자연외기 도입유도	a) 외기도입유닛 b) 외기도입유닛 (리턴팬 내장형)
병실 및 화장실 배기	중앙	병실 및 화장실 통합 배기 계통	병실 배기 계통	병실 배기 계통	화장실 배기 계통	병실 배기 계통	화장실 배기 계통
			화장실 배기 계통	화장실 배기 계통		화장실 배기 계통	
	개별	이동형 음압기	이동형 음압기	이동형 음압기	이동형 음압기	이동형 음압기	이동형 음압기
					화장실 개별 배기팬		
중앙공조 열교환기		히트파이프형	판형	판형	N/A	판형	a) N/A b) 판형
병실 및 복도 냉난방		중앙 급기	중앙 급기	중앙 급기	중앙 급기	중앙 급기	중앙 급기
		휀코일유닛 전기구동히트펌프	휀코일유닛	휀코일유닛	휀코일유닛	휀코일유닛 전기구동히트펌프	휀코일유닛

* 설계도서 중 현황 도면이 부정확하거나(A-1병원), 누락된 경우(A-2병원)로서 현장 조사 및 시설관리자 면담 내용을 바탕으로 추정하였음.
** 기존 공조설비 중 비상시 가동을 중단한 상태로 운영된 것은 위 표 중 음영으로 표시함.

(1) 중앙 급배기 가동 사례

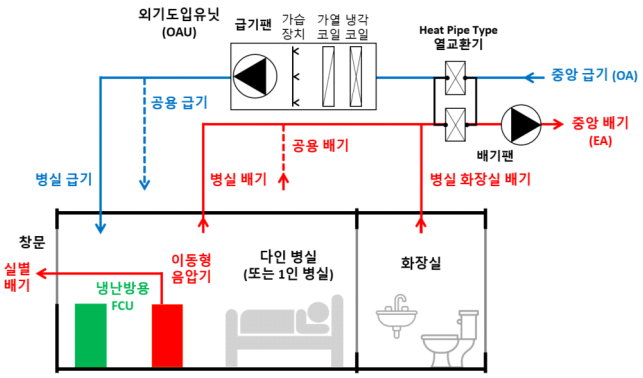
A병원은 긴급전환구역 구축 시, 병실 내 이동형 음압기를 설치하고 기존 공조설비를 평시와 같이 가동하였다. 이 경우 중앙 급배기 공조유닛으로서 급배기 분리형 OAU를 가동하면서, 급배기간 열교환 시 교차오염의 우려가 없는 히트파이프형 열교환기가 설치되어 있으므로 이와 같은 운영방침을 도입할 수 있었을 것으로 판단된다([그림 3]).

그러나 이러한 운영 방식은 이동형 음압기를 통한 병실 내 감염원 배기 시 병실 내 배기구로 기류가 분산되어 일정한 공기 흐름이 와해 될 수 있으며, 이동형 음압기와 같은 배기 장비 운전 압력으로 인해 병실 내 배기구 및 이와 연결된 화장실 배기의 역류를 일으켜 예상치 못한 경로로 감염원이 확산될 가능성이 있을 것으로 예상된다.

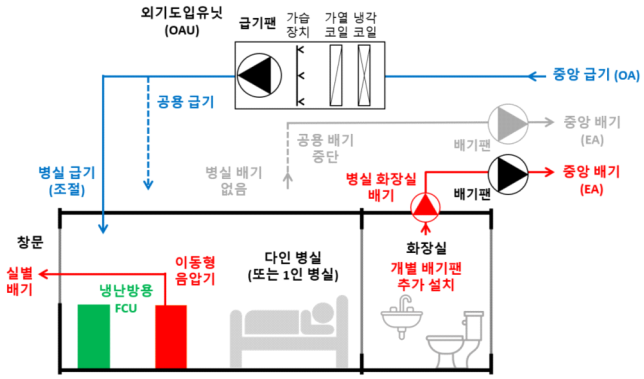
(2) 중앙 급기 가동 사례

B병원의 경우, 비상시 기존 공조설비 중 중앙 급기만 가동하고 배기는 중단하는 방식을 채택하였다. 전술한 바와 같이 B병원의 기존 공조설비 현황을 살펴보았을 때 당초 병실 내 배기구가 계획되어있지 않았으므로, 비교적 간단하게 병실 공기의 배기 루트를 이동형 음압기를 통한 방식으로 단일화할 수 있던 것으로 보인다. 이때, 가동 상태를 유지한 중앙 급기는 배기 풍량에 대한 Make-up Air로 활용되었다([그림 4]).

현장조사 시, B병원은 「국가지정 입원치료병상 운영과 관리지침」에 제시된 실간 차압 유지에 어려움이 있어, Make-up Air로 활용되는 중앙 급기량을 줄이는 방향으로 조절하고 병실-화장실간 차압 확보를 위하여 기존에 사용하던 화장실 배기 설비 가동을 유지한 채로 화장실 내 배기구마다 개별 배기팬을 추가 설치한 것으로 조사되었다.



[그림 3] 비상시 중앙 급배기 가동 사례 공조 현황



[그림 4] 비상시 중앙 급기가동/배기중단 사례 공조 현황

www.kci.go.kr

특히, 화장실에 개별 배기팬을 설치하는 조치를 통해 병실 내 이동형 음압기 설치 시 기존의 연구에서 확인되었던 화장실 배기 역류 현상을 방지하고 복도-병실-화장실에 이르는 실간 차압을 모두 기준치인 –2.5 Pa 이상으로 유지할 수 있을 것으로 예상된다.

그러나, 원칙적으로 배기는 Draw-through 방식으로 작동할 수 있도록 배기 덕트 말단에 팬을 설치하여 배기 덕트 내 압력을 음압으로 형성시키고 배기가 덕트에서 누출되지 않도록 하여야 한다. 화장실에 설치된 개별 배기팬은 이와는 반대 개념인 Blow-through 방식이 되는데, 이 경우에는 화장실 배기를 담당하는 중앙 배기 설비를 가동하고 있더라도 배기 덕트 내 압력이 양압으로 형성되고 오염된 공기가 누출되어 해당 덕트 계통이 설치된 경로를 통해 다른 공간으로 확산될 가능성이 있다.

(3) 중앙 급배기 중단 사례

C, D병원은 긴급전환시설 운영 시 기존 공조설비의 덕트 계통 및 공조유닛 내 감염원 교차오염을 우려하여 중앙 급배기 가동을 모두 중단한 사례이다. C병원은 화장실 배기 설비는 가동을 유지한 반면, D병원은 화장실 배기 까지 모두 가동을 중단한 상태로 조사되었다([그림 6]).

급기 및 배기를 중단할 때는 병실 내 급배기구를 헤파필터 등으로 밀폐하여 덕트 내 교차오염 가능성을 효과적으로 차단할 수 있는 방식을 도입하여야 하지만(Robert, et al., 2021), 이 사례에서 D병원은 급배기구를 밀폐하지 않았으며 C병원은 임시 철물로 막아두어 밀폐 성능 저하가 우려되었다([그림 5]-(a)).

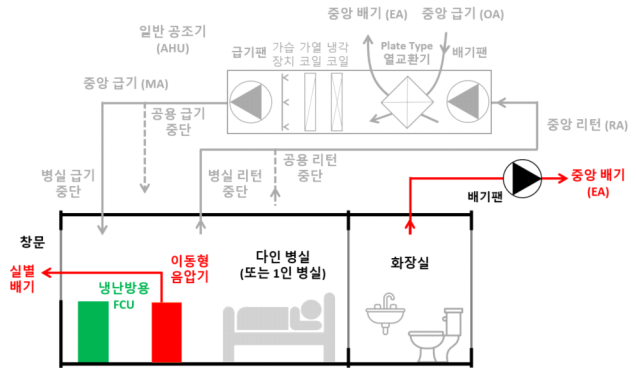
더불어, 이러한 운영 방식에서 가장 우려되는 점은 별도의 Make-up Air를 도입할 방법이 매우 제한적이어서 병실 내 환기 횟수가 확보되지 않을 가능성이 있다.

현장조사 시 C병원의 경우, 이러한 문제를 보완하기 위하여 병실 앞 복도의 창문을 개방하여 외기를 도입하고자 하였으며, 개방한 창문에는 필터를 설치하여 되도록 일정한 양의 외기 도입을 유도하고 빗물 또는 미세먼지 등 외부 오염물질의 유입을 방지하고자 한 것으로 확인되었다([그림 5]-(b)).

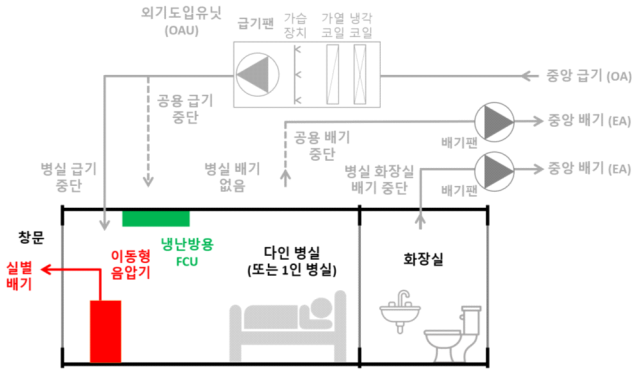
(a) 병실 내 급배기구 밀폐 현황

(b) 병실 앞 복도 창문 개방 및 필터 설치 현황

[그림 5] 비상시 C병원 중앙 급배기 중단 후 조치 사항



(a) C병원의 비상시 공조설비 운영현황



(b) D병원의 비상시 공조설비 운영현황

[그림 6] 비상시 중앙 급배기 중단 사례 공조 현황

이상의 모든 긴급전환시설 사례에서는 평시 운영현황과 같이 병실 내 냉난방 부하를 감당하기 위하여 FCU 또는 EHP 운전을 중단할 수 없었던 것으로 조사되었다.

「국가지정 입원치료병상 운영과 관리 지침」과 「코로나19 중증환자 긴급치료병상 시설기준(병동형)」에서는 음압격리병상 구축 시, 습식 코일(Wet coil)이 적용되어 하절기 서식균이 발생할 수 있는 FCU 및 EHP는 설치하지 않도록 하고 있다. 또한, 이러한 냉난방 시스템은 실내 공기 순환형 장치로서 병실 내 오염된 공기가 장치를 통과하면서 교차오염을 일으킬 수 있어 오염구역 내에서의 사용이 지양되어야 한다. 그러나, 각 사례의 평시 공조설비 운영현황을 고려하였을 때 병실 내 이러한 냉난방 장치 가동은 불가피한 것으로 판단된다.

3.3 소결

기존 의료시설의 입원환자 구역을 활용하여 대규모 긴급전환시설을 구축한 사례에 대해 공조설비 중심으로 설계도서 분석 및 현장조사를 수행한 결과를 정리하면 다음과 같다.

조사 대상 시설의 기존 공조설비는 설계도서상 대부분 입원환자 구역 내에 층별로 배치된 병동을 수직 조닝하여 공조유닛을 배치한 것으로 확인되었다. 또한, 실내 환경 조절을 위한 설비 계획은 기본적으로 환기 부하를 담당하는 공조유닛과 냉난방 부하를 담당하는 실내 공기 순환형 냉난방기로 구성된 것으로 나타났다.

www.kci.go.kr

그러나, 병실 및 공용공간의 급배기구 배치와 병실 내 화장실 배기 계통뿐만 아니라 열회수용 열교환기의 유무와 형식 등 세부적인 측면에서는 병원별로 상이한 것으로 조사되었다. 이와 같은 원인에 의하여 비상시에는 각 병원 현황에 맞게 자체적인 판단으로 운영하였기 때문에 운영 방식이 서로 차이를 보이는 것으로 분석된다.

따라서, 긴급전환시설 구축 시 반드시 기존 설비의 설치 현황 및 특성을 고려하여야 하며, 각 시설별 특성을 반영하여 계획된 비상시 공조설비 운영 방식은 현장 조사 및 검증을 통해 보완되어야 할 것으로 판단된다.

또한, 실내 환경 조절을 위한 기존 설비 계획을 고려하였을 때, 임시음압격리병실을 사용하는 재실자의 쾌적을 만족하면서 설비 교차오염을 최소화할 수 있는 냉난방 방식의 개발 및 도입이 고려되어야 할 것으로 보인다.

4. 긴급전환시설 구축 및 운영 관련 시사점 도출

본 연구에서 다루고 있는 긴급전환시설은 기존 의료시설의 공간을 활용하였기 때문에 단기간에 대규모 병상의 구축이 가능하였다. 그러나, 해당 시설은 당초 전염성 감염병 환자를 위해 계획된 시설이 아니므로 일반병실로 구성된 입원환자 구역을 개조하거나 기존의 공조설비와 함께 이동형 음압기와 같은 추가로 도입된 장비를 활용하는 측면에서 실제 각 현장의 현황에 맞게 구축 및 운영된 점이 특징적이다.

따라서, 본 장에서는 조사 대상 6개소에 대해 각 병원별 시설관리자 면담을 진행하여 긴급전환시설 구축 및 운영 시 현장에서 발생한 문제점과 요구사항에 대해 고찰하였다.

4.1 시설관리자 면담 개요

시설관리자 면담은 각 조사 대상별로 긴급전환시설을 구축하여 운영하는 중, 해당 시설을 활용하여 COVID-19 환자를 수용한 경험이 누적되면서 시설 구축 당시부터 운영 시점까지 제기된 의견을 취합하고 개선점을 도출하고자 하는 목적으로 수행하였다.

면담 내용은 크게 조사 당시 시설관리자 경험상 긴급전환시설 구축 및 운영 시 우려되는 점과 이동형 음압기 사용 관련 문제점, 향후 신종 감염병 대비를 위해 시설 구축 시 필요한 사항 등으로 구분하여 정리하였다([표 2]).

상기한 내용을 바탕으로 한 면담은 각 현장에서 2021년 10월경 약 1개월 동안 총 9회에 걸쳐 진행되었다.

4.2 시설관리자 면담 결과

1) 긴급전환시설 구축 및 운영 시 우려 사항

시설관리자 입장에서 긴급전환시설 구축 시 가장 중요하였다고 제기된 점은 조사 대상 사례와 같이 기존 의료시설을 활용하여 단기간 대규모로 구축할 때 참조할 수 있는 국내의 관련 사례 및 지침이 미비하다는 것이었다.

구체적으로는 국내 의료시설 설비 현황을 반영하여 이동형 음압기를 설치한 임시음압격리병실의 성능 검증 방법, 냉난방 설비를 포함한 기존 공조설비의 운영 및 관리 방법, 복도 및 병실 전실 또는 PPE 탈의실 등 부속실의 설치 및 운영 방법 등에 대한 지침이 필요하다고 답하였다.

특히, 긴급전환시설 구축 당시 교차오염의 우려로 FCU 또는 EHP와 같은 기존 냉난방기 가동을 중단하였을 때 냉난방 부하를 거의 감당할 수 없었다고 하였다. 시설 운영 상황에 따라 동절기 및 하절기 실내 환경 유지를 위하여 불가피하게 냉난방기를 가동한 상태이므로 이와 관련된 대안이 요구되기도 하였다.

이외에도 기존 시설을 격리시설로 임시 개조한 상태에서 운영할 때 화재 발생 시 대처 방안에 대한 필요성이 제기되기도 하였다.

2) 이동형 음압기 장비 사용 관련 문제점

현장에서 이동형 음압기 설치 시 경험한 문제점으로는 이전의 우려 사항에서 제기되었던 것처럼 관련 지침이 부재하다는 의견이 대표적이었다.

이와 관련한 내용으로는 실별 기밀도 확인 등 장비 설치에 따른 유효 성능을 확보하는 데 필요한 사전 작업, 장비의 공기 토출구와 연결된 배기 덕트를 외기에 노출되도록 설치할 때 병실의 외피 및 개구부 형식에 따른 배기 덕트 설치 및 주변 밀폐 방안, 장비 설치 후 또는 정기 점검 시 점검 기준, 병실 외 음압으로 유지될 필요가 있는 공간에 해당 장비를 활용하는 방법 등에 관한 내용이 언급되었다.

또한, 긴급전환시설의 운영이 장기화되면서 장비의 상시 가동에 따른 잦은 고장뿐만 아니라 장비에 내장된 헤파필터를 교체하거나 장비 고장 및 교체, 철수 등에 따른 작업상황 시 작업자의 감염에 대한 불안을 호소하였다.

장비 가동 시에는 특히 실내 소음도 상승으로 인한 민원이 상당하였고, 이로 인해 재실자의 장비 무단 조작 또는 정신적 취약계층의 소음 노출에 따른 격리 이탈 및 장비 파손 위험 사례가 보고되기도 하였다.

실내 환경에 관한 문제점은 장비 매입 시 의료용 시설에 적합한 장비인지 확인할 수 있는 성능 표준이 부재하였고, 의료용으로 생산되는 장비도 한정적이었으며, 장비 수급 문제로 서로 다른 사양의 장비를 매입할 수밖에 없어 나타난 문제점으로 파악되었다. 실제로 현장에 도입된 장비 중 의료용 장비와 공업용 장비의 성능 차이가 실내 환경 불균등을 유발했던 것으로 조사되었다.

다만, 장비 성능 표준의 경우 현재 이와 관련된 민간 표준인 「SPS-C KACA 0031-7423:2021(이동형 음압기와 양압기)」가 제정되어 있으므로 이동형 음압기를 활용한 긴급전환시설의 실내 환경에 관한 문제점은 점차 해소될 여지가 있을 것으로 예상된다. 한편, 조사 대상 시설에서 장비를 매입한 시점은 해당 표준이 제정되기 이전이므로 현재 보유하고 있는 장비 자체로는 이러한 문제가 재발할 수 있다고 판단된다.

www.kci.go.kr

[표 2] 기존 의료시설을 활용한 긴급전환시설 구축 및 운영에 관한 시설관리자 면담 내용 요약

구분		시설관리자 의견 요약 결과
긴급전환시설 구축 및 운영 시 우려 사항	지침 및 표준	• 기존 의료시설 활용 단기간 대규모 긴급전환시설 구축 시 참조 가능한 국내 관련 사례 및 지침 미비 - 국내 의료시설 설비 현황 반영 임시음압격리병실 성능 검증 - 냉난방 설비를 포함한 기존 공조설비 운영 및 관리 - 복도 및 병실 전실 또는 PPE 탈의실 등 부속실 설치 및 운영 방안 등
	병실 냉난방	• 교차오염 예방 차원 기존 냉난방기(FCU 및 EHP) 가동 중단 시 냉난방 부하 제거 불가
	방재	• 기존 시설 임시 개조 및 운영 시 화재 발생 대처 방안 필요
이동형 음압기 장비 사용 관련 문제점	지침 및 표준	• 이동형 음압기 장비 설치 및 관리 지침 미비 - 장비 설치에 따른 유효 성능 확보를 위한 사전 작업 - 병실 외피 및 개구부 형식에 따른 배기 덕트 설치 및 주변 밀폐 방안 - 장비 설치 후 또는 정기 점검 시 점검 기준 - 병실 외 음압 유지 필요 공간 내 장비 활용 방안 등 • 의료용 장비 선정 시 참조 가능한 성능 표준 미비
	안전관리	• 장비 상시 가동에 따른 잦은 고장(예: 베어링 부위) • 헤파필터 교체 및 장비 고장 및 교체, 철수 등 작업상황 시 작업자 안전관리 대책 미비
	병실 소음	• 장비 작동에 의한 실내 소음도 상승 - 재실자에 의한 장비 무단 조작 문제 발생 - 정신적 취약계층의 소음 노출에 따른 격리 이탈 및 장비 파손 위험
향후 신종 감염병 대비 긴급전환시설 구축 시 필요 사항	현장 검증	• 기존 공조설비 설치 현황 및 평시 운영현황 반영 전환방식 개선 및 정립 필요 - 비상시 설비 운영현황 현장 검증
	지침 및 표준	• 운영 시 발생 가능한 시나리오 대처 필요 - 진료 상황(의료진 진출입 등) 및 돌발 상황(격리 환자 이탈 및 화재 등) • 긴급전환시설 장기 운영 대비 단계별 전환 전략 수립 필요 - 환자 수 증감에 따른 전염성 감염병 환자 및 일반 환자 동시 수용 경험에 따른 필요성 - 단기간 대규모 전환에 따른 전환방식, 필요예산, 소요일수 등이 고려된 전환 절차
	재전환 (원상복구)	• 일반병실 운영 재개 전 설비 소독 및 안전성 점검 방안 필요 - 소독 방법 및 효과, 필요성, 소요예산 등 • 이동형 음압기 철거 시 보관 및 유지관리 대책 필요
	리모델링	• 단기적 리모델링 계획 - 기존 시설 노후도 및 장비 내구연한에 따른 기존 공조설비 보수 및 교체 - 격리시설에 요구되는 자동제어설비 설치 • 중장기 리모델링 계획 - 향후 주기적인 시설 전환 시 요구되는 소요 공간 및 설비 성능 반영
	에너지	• 시설 전환 시 에너지 소비량 증감 분석 필요
	협의체	• 전염성 감염병 관리 시설의 계획 및 점검 시 해당 분야 엔지니어 협업 필요

3) 향후 신종 감염병 대비 긴급전환시설 구축 시 필요 사항

긴급전환시설 구축 및 운영 경험을 바탕으로 향후 유사한 시설을 구축해야 하는 상황에 대비하여 필요할 것으로 언급된 사항은 다음과 같다.

먼저, 병원별 기존 공조설비 설치 현황과 평시 운영현황을 반영한 전환방식 개선 및 정립을 위한 현장 검증의 필요성이 제기되었다. 이에 더하여, 의료진 진출입과 같은 진료 상황 또는 격리 환자의 이탈 및 화재와 같은 돌발 상황 등에서 참조할 수 있는 시나리오와 대처 방안이 요구되었다.

또한, 팬데믹 상황에서도 지역사회에서 의료시설의 역할을 원활히 수행할 수 있도록 전염성 감염병 환자와 일반 환자를 모두 수용하는 방안으로서, 긴급전환시설의 장기 운영에 대비하여 환자 수 변동에 따른 입원환자 구역의 단계별 전환 전략 수립이 필요할 것으로 예상하였다.

시설의 단기간 대규모 전환과 관련해서는 전환방식에 더하여 특히 필요예산과 소요일수 등이 반영된 전환 절차에 대한 논의가 필요하다고 보았다.

긴급전환시설을 일반 입원환자 구역으로 재전환 시 요구되었던 사항에 대해서도 언급되었는데, 일반병실 운영을 재개하기 전 설비의 소독 및 안전성 점검 방안과 이에 필요한 소요 예산뿐만 아니라 철거된 이동형 음압기의 보관 및 유지관리 대책이 요구되었다.

근본적으로는 더욱 효율적인 대비를 위한 리모델링이 필요하다고 하였는데, 단기적 관점으로서는 시설의 노후도와 내구연한에 따른 기존 공조설비의 보수 및 교체가 고려되어야 하고 격리시설에 요구되는 자동제어설비 설치가 검토되어야 한다고 답하였다. 장기적 관점으로는 향후 주기적인 시설 전환 시 요구되는 소요 공간 및 설비 성능을 반영한 중장기 리모델링 계획의 수립의 필요성이 제기되었다.

www.kci.go.kr

이외의 사항으로는 지속가능한 운영을 위해서 시설 전환 시 에너지 소비량 증감에 대한 분석이 필요할 것으로 예상하였으며, 자체적으로 긴급전환시설과 같이 전염성 감염병 관리를 위한 시설을 계획하거나 점검하는 경우 해당 분야 엔지니어와의 협업이 반드시 필요하다고 보았다.

4.3 소결

긴급전환시설 구축 및 운영 경험이 있는 시설관리자 면담을 통해 취합된 주요 의견을 분류하여 정리하면 다음과 같다.

먼저, 기존 의료시설을 활용하여 긴급전환시설을 구축할 때 현장에서 참조할 수 있는 관련 지침이 미비하다는 점이 부각되었다. 이러한 지침은 국내 의료시설의 입원환자 구역에 일반적으로 적용된 중앙 급배기 공조유닛 및 냉난방 장치 등을 포함한 기존 공조설비 현황을 반영하면서, 시설별로 상이한 설비 설치 현황에서도 참조할 수 있어 목표한 성능에 도달할 수 있는 방향으로 수립되어야 할 것으로 판단된다.

여기에 더하여 긴급전환시설 운영 시 진료상황 및 돌발상황 뿐만이 아니라 환자 수 변동에 따른 단계별 전환, 일반병실로의 재전환 등 다양한 시나리오에 대처할 수 있는 내용이 포함된다면 지침의 활용도가 높아질 것으로 예상된다.

다음으로는 이동형 음압기 장비의 도입-설치-운영 등 각 단계에서 긴급전환시설에 요구되는 성능을 만족하기 위해 활용할 수 있는 장비 성능 및 현장 점검 기준이 필요한 것으로 파악되었다. 특히, 실내 환경 측면에서는 설치 현장에서의 장비 작동에 의한 소음도 평가 및 개선이 시급한 것으로 보였으며, 이외에도 긴급전환시설 운영 중 장비와 관련된 작업상황을 고려한 안전관리 대책 수립이 요구된다.

마지막으로, 기존 의료시설을 활용하기 위해서는 단기적으로 시설의 노후도를 고려한 보수 및 설비 교체 중심의 리모델링이 고려되어야 하고, 보다 적극적으로는 전환을 위한 소요 공간 및 설비 성능이 반영된 중장기 리모델링 계획이 검토되어야 할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 향후 포스트 코로나 시대 신종 감염병 발생에 대비할 수 있는 기초자료를 제공하고자, COVID-19 환자 수용을 목적으로 팬데믹 비상시 기존 의료시설에 구축된 긴급전환시설을 대상으로 그 운영사례를 조사 분석하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 대부분의 사례에서 기존 공조설비는 조닝 및 병실 내 환경조절 측면에서 유사하게 구성되어 있으나, 세부적으로는 병원별로 상이하여 비상시 공조설비 운영 방식의 차이가 나타나게 된 것으로 확인되었다.

이처럼 긴급전환시설 구축 시에는 반드시 기존 설비의 설치 현황 및 특성을 고려하여야 하고, 서로 다른 비상시 공조설비 운영 방식에 대해서는 감염원 확산 및 교차오염 가능성을 최소화하기 위한 현장 조사 및 검증이 선행되어야 한다.

2) 실내 공기 순환형 설비로 병실의 냉난방 부하를 제거하도록 계획된 기존 의료시설에서 긴급전환시설을 구축할 때, 재실자 쾌적을 만족하면서 설비 교차오염을 최소화할 수 있는 냉난방 방식의 개발 및 도입이 필요할 것으로 판단된다.

3) 의료용 장비로서 요구되는 성능 표준을 만족하지 못하는 이동형 음압기를 도입하여 긴급전환시설을 운영할 때, 장비 작동에 의한 병실 내 소음도 평가 및 개선이 시급할 것으로 예상된다.

4) 기존 의료시설을 활용한 긴급전환시설의 구축 및 운영 시 국내 현황을 반영하여 현장에서 참조할 수 있는 관련 지침은 미비한 실정이다. 조사 결과 비상시 공조설비 운영 전략뿐만 아니라 운영 시나리오, 장비 성능, 현장 점검, 작업자 안전관리 등 다양한 측면에서의 지침 및 표준의 개발이 요구되었으므로 향후 긴급전환시설 관련 지침 및 표준 개발 시 기초자료로서 참조할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

보건복지부, 2020, 코로나19 중증환자 긴급치료병상 시설기준[병동형]

이원석, 이세진, 김희강, 여명석, 2022, "이동형 음압기를 적용한 긴급전환형 임시음압격리병실의 실내 환경 측정 분석", 의료·복지 건축, 28(4), 89-97쪽

질병관리본부, 2019, 국가지정 입원치료병상 운영과 관리 지침

한국공기청정협회, 2021, SPS-C KACA 0031-7423:2021(이동형 음압기와 양압기)

Robert D. Booth; LT.Samantha J. Ponce; Gregory J. Corso; CAPT. Shelley K. Perkins, 2021, "Current/Updated Health Care Facilities Ventilation Controls and Guidelines for Management of Patients with Suspected or Confirmed SARS-CoV-2 (COVID-19)", ASHE, USA

Lee, J. K.; Jeong, H. W., 2020, "Rapid expansion of temporary, reliable airborne-infection isolation rooms with negative air machines for critical COVID-19 patients.", American journal of infection control, 48(7), p.822-824

Miller, S. L.; Clements, N.; Elliott, S. A.; Subhash, S. S.; Eagan, A.; Radonovich, L. J., 2017, "Implementing a negative-pressure isolation ward for a surge in airborne infectious patients.", American journal of infection control, 45(6), p.652-659

Mousavi, E. S.; Pollitt, K. J. G.; Sherman, J.; Martinello, R. A., 2020, "Performance analysis of portable HEPA filters and temporary plastic anterooms on the spread of surrogate coronavirus.", Building and environment, 183, p.107186

접수 : 2023년 2월 16일
1차 심사완료 : 2023년 2월 21일
게재확정일자 : 2023년 2월 21일
3인 익명 심사 필

www.kci.go.kr