

大韓建築學會論文集 2024. 1

JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Vol.40 No.1

www.aik.or.kr

計劃, 設計, 歷史·建築論, 都市·地域, 環境設備, 構造, 材料, 施工

제 40권 제 1호(통권 423호)

지하공간의 리모델링 전·후 공간구조 분석과 길 찾기에 관한 연구	백대화 · 임리사	3~11
안소니 비틀러의 워프드 스페이스와 나선형 공간 비교연구	이재인	13~24
주택정비 사업에서의 건축협정 특례 적용 실태 및 특성 분석	이여경 · 오민정 · 이주경	25~34
Transformer와 LSTM을 순차적으로 적용하여 분석한 주택 가격 지수 예측 연구	윤도경 · 신동윤	35~44
HBIM 구축 프로세스의 개선을 위한 효율적인 모델링 방법 제안	배진철 · 양관목 · 전한중	45~52
택티컬 어바니즘 국내외사례의 실증비교 연구	박종호 · 양승우	53~64
2010년대 익선동 한옥 마당 상부구조물의 위법적 설치와 회복 방향	윤현철 · 류성룡	65~75
호흡기 감염병 제어기술 실험용 시뮬레이터 설계 연구	김진영 · 이상원 · 심약기 · 여명은 · 김성완 · 신상도 · 여명석 · 조항만	77~88
도시 및 건축 분야의 국내 전통시장 연구 동향 분석	이다니엘 · 안대환	89~100
도시모지의 법제도적 유형에 관한 연구	기세호 · 백진	101~112
전통목조건축물의 보 방향 도리보강재 연구	김소미 · 전봉희	113~124
산지사찰 사동중정형 배치의 현대적 변화 유형과 특성	김민정 · 전봉희	125~134
행정중심복합도시 대중교통중심축의 가로벽 의미 해석 연구	박용국	135~144
서울 저층주거지의 지역사회 계속거주를 위한 자연발생 노인 커뮤니티(NORC) 및 서비스지원프로그램(NORC-SSP) 도입 가능성 기초연구	김예리 · 박소현	145~156
폭염기 한강변 저온공기의 확산에 따른 건축물 군집유형별 온도 및 풍속 변화 시뮬레이션 연구	배용규 · 이재준	157~168
준 정적 건물에너지 해석 평가 도구의 쟁점들	이승주 · 조형곤 · 유영서 · 박철홍 · 박철수	169~176
건물에너지 절감을 고려한 실내 온열환경 영향요인 및 제어 전략에 관한 문헌고찰	이수정	177~187
사무소 건물에서 냉난방 및 조명에너지 동시 절감을 위한 외피 설계 요소 분석	김혜진 · 안채연 · 양인호	189~200
공공건축물 그린리모델링 사업에 의한 열성능 및 실내온열환경 개선효과분석	신수영 · 김혜진 · 서동현 · 최윤정	201~212
폭염에 대한 국내 주거용 건축물의 취약성 분석	최승훈 · 함희정 · 이승수 · 김호정	213~223
건물부문 온실가스 배출량 요인 분석과 감축 이행실적 지표 연구	정영선	225~234
피복두께와 강섬유 혼입률에 따른 초고성능 콘크리트의 균열거동과 인장증강효과	주조린 · 이문석 · 손동희 · 최창식 · 최현기 · 배백일	235~243
비산물에 대한 지붕 강판의 내충격 성능 평가	유장열 · 정다와 · 유기표	245~254
네르비 접근법을 이용한 슬래브의 리브패턴 설계	이상진	255~262
불국사 마찰 소산형 에너지 저감 석축의 동적 응답 특성에 관한 실험적 연구	유다혜 · 오상훈	263~270
황산 중화 액상레드머드를 사용한 고로슬래그 시멘트 모르타르의 수화 특성	강석표 · 박규은 · 김상진	271~278
VE 품질모델 기법을 활용한 공동주택 노후화 평가 기준 추출 및 AHP 중요도 분석	양진국	279~285
건축 안전사고 사례기반 액티비티별 위험도 분석	박형진 · 이준성 · 서명배 · 이승연	287~295
딤러닝과 경로계획 기반의 주택 평면도 3D 모델링 방법	미아오쉬 · 엄신조	297~303

호흡기 감염병 제어기술 실험용 시뮬레이터 설계 연구

- 응급의료기관 공간 모사를 중심으로 -

Exploring a Simulator for Experimenting With Respiratory Infectious Disease Control Technology

- Focusing on Simulating Emergency Medical Institution Spaces -

김진영*	이상원*	심약기*	여명은*
Kim, Jin Young	Lee, Sang Won	Shen, Ruoqi	Yeo, Myung Eun
김성완**	신상도***	여명석****	조항만*****
Kim, Sungwan	Shin, Sang Do	Yeo, Myoungsok	Zo, Hangman

* 서울대 건축학과 석사과정, M.S. Student, Dept. of Architecture and Architectural Engineering, Seoul National University, Korea

** 서울대병원 의공학과 교수, Professor, Dept. of Biomedical Engineering, Seoul National University Hospital, Korea

*** 서울대병원 응급의학과 교수, Professor, Dept. of Emergency Medicine, Seoul National University Hospital, Korea

**** 서울대 건축학과 교수, Professor, Dept. of Architecture and Architectural Engineering, Seoul National University, Korea

***** 서울대 건축학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Architecture and Architectural Engineering, Seoul National University, Korea

(Corresponding author : zohangman@snu.ac.kr)

Abstract

This study delved into the foundational aspects of planning an experimental simulator for respiratory infection control technology. Utilizing this information, a design plan was proposed to replicate the environment of a regional emergency medical center. The challenges presented by infectious diseases, especially in emergency rooms, have prompted the development and testing of various infection control medical technologies. However, legal constraints prevent the demonstration of these technologies in real medical settings. Hence, there's a demand for simulation spaces to conduct experiments like performance verification. The proposed simulator aims to replicate an emergency medical institution for respiratory infection control technology experiments, facilitating testing in the developmental stage before practical application. The design plan, based on a spatial analysis of Seoul National University Hospital's emergency medical center, was outlined. Requests from research teams were gathered, and conflicting requirements were reconciled to form an integrated design plan. Considering the absence of a specific design plan for medical technology experiments in academic contexts, it is anticipated that this comprehensive spatial planning for infectious disease response and related medical experiments will serve as a valuable reference in the future.

키워드 : 감염병, 응급실, 의료기술, 실험용 시뮬레이터, 건축 설계, 의학 연구

Keywords : Infectious Diseases, Emergency Rooms, Medical Technology, Laboratory Simulators, Architectural Design, Medical Research

1. 서론

1.1 연구의 배경

2023년 5월 11일 정부는 COVID-19 팬데믹의 위기를 극복하였다고 공식 선언하며, 코로나를 유행성 독감과 동

이 연구는 2023년도 대한건축학회논문집 Vol.39 No.11에 게재된 「의료기술 실험용 시뮬레이터 건축 계획 연구」를 토대로 하여 후속 실행 설계연구로 작성된 것임.

이 연구는 2022-2023년도 국가연구개발사업의 일환으로 보건복지부 재원 범부처방역연계감염병연구개발재단 감염병의료안전강화기술개발사업 지원에 의한 결과임. 과제번호:HG22C0020

일하게 일상적 방역과 의료체계로 대응할 것을 시사했다. 그러나 보통 3~4년의 주기로 새로운 감염병의 발생과 확률을 고려할 때, 이를 대비하기 위한 의료시설과 기술 개선의 필요성이 요구되고 있다.

감염병의 발생과 유행은 의료시스템의 큰 장애를 일으킨다. 이러한 현상은 특히 환자와 의료진과 보호자가 뒤섞여 있는 응급실에서 심각하게 발생한다. 공중보건 위기 상태에서 응급실은 병원의 최전방에서 일차 방어선으로 기능하며 COVID-19 유행기간 대부분의 감염병 환자는 병원의 응급실을 먼저 방문하는 경향이 있었다. 국내의 경우 신종플루와 메르스 사태를 통해 감염병 구급차 도입

등의 개선을 통해 소수의 감염병 환자에 대해서는 대응이 가능한 편이었다(Han et al., 2022). 그러나 COVID-19의 경우 응급실과 같은 의료시설에서 확진자와 접촉한 의료진의 2차 감염 사례가 발생함에 따라 의료 공백이 발생하였다(Lee et al., 2020). 이처럼 응급실을 통해 입원한 환자들로부터 코로나 병원감염이 파급되어 의료기관에서 집단 감염으로 쉽게 증폭될 수 있는 만큼 의료기관의 관문인 응급실에서 감염관리 수행은 매우 중요하다(Lee, 2021).

COVID-19 이후로 응급실을 포함한 의료시설에서의 활용을 위한 여러 감염병 제어기술들이 개발 중에 있다. 그러나 실제 의료현장에서 해당 기술들의 성능시험을 진행하기엔 여러 제약이 따른다. 정식 허가를 받지 않은 체 개발 중인 의료기술 및 의료기기는 허가, 신고, 심사에 관한 규정에 따라 식품의약품안전처의 승인 없이는 사용할 수 없으며, 의료진을 제외하고는 의료현장에서 의료행위는 법적으로 엄격히 금지되어 있기 때문이다(Regulations on the Approval, Declaration, and Evaluation of Medical Devices, 2023).

현실적인 문제들로 인해서 신생 감염 제어기술들의 개발과 현장 도입은 늦어지고 있다. 만일 새로운 감염병의 대유행이 다시 발생한다면 공공의료 시스템의 치명적인 결함으로까지 이어질 가능성이 있다. 해당 문제의 극복을 위해서 본 연구에서는 국가개발 연구과제의 일환으로 개발단계의 호흡기 감염병 제어기술을 실제 현장에 적용하기 이전에 성능 확인을 위한 물리적 테스트베드(Testbed)로서의 시뮬레이터 건축 계획안을 마련하고자 한다.

1.2 연구의 목적

본 연구에서는 호흡기 감염병 제어기술 실험을 위한 시뮬레이터의 기본 개념을 정립하고 해당 시뮬레이터의 건축 계획상의 특징들을 분석한다. 이를 바탕으로 감염병 제어기술의 적용에서 우선시되어야 하는 응급실 공간을 선정하고, 이를 안정적인 실험공간으로 모사하는 시뮬레이터 설계안 도출을 목적으로 한다. 위 과정을 통해 감염병 의료기술 실험에 특화된 시뮬레이터 건축 전반의 기초 자료 제공 및 설계안을 제시하는 것이 본 연구의 주요한 목적이다.

해당 시뮬레이터 건축 계획의 핵심 요소와 조건을 식별하기에 앞서, 의료기술 실험용 시뮬레이터의 기본 개요를 분석하고 건축 특성을 정리함으로써 건축 계획 전반에 대한 이해를 일차 목표로 한다. 이를 통해 의료기술 실험용 시뮬레이터 건축의 주요 원칙을 수립하고, 필요조건들을 파악하고자 한다. 이차적으로 의료기술 실험용 시뮬레이터 건축 계획에 있어 일반 건축 계획과는 다르게 특별히 고려되어야 하는 특징들의 정리·분석한다.

본 연구를 통해 최초의 감염병 제어기술 실험을 위한 의료용 시뮬레이터 계획 사례를 제시하여 그동안 건축계에서 주목받지 못해온 실험용 시뮬레이터 분야를 건축 설계 연구의 차원으로 불러들이고자 한다. 이에 더해 의료기술 실험용 시뮬레이터의 체계적 설계와 안정적 구축

및 운영을 위한 기본 자료를 마련하고자 함에 본 연구의 최종적인 목적이 있다.

1.3 연구의 범위와 절차

의료기술 실험용 시뮬레이터란 ‘의료기술의 시현 및 성능평가 등의 실험을 위한 의료환경 모사 공간’을 뜻한다(Lee et al., 2023). 호흡기 감염병 제어기술이란 의료 공간 내에서 코로나와 같은 호흡기 감염병의 2차 감염을 방지, 제어하는 의료기술을 지칭한다. 즉 본 연구에서 다루어지는 시뮬레이터는 ‘호흡기 감염병 제어기술의 실험을 위해 응급의료기관을 모사한 공간’으로 한정한다.

본 연구에서의 시뮬레이터 모사 대상 공간은 권역응급의료센터이자 국가연구개발사업의 감염병 제어기술 적용대상지인 서울대학교병원 응급의료센터(이하 응급실)로 지정하고 이를 대상으로 한 시뮬레이터 계획안 제시를 연구의 범위로 한다.

연구의 절차로는 첫째, 선행연구를 통해서 호흡기 감염병 제어기술 실험을 위한 시뮬레이터 계획 시에 고려해야 할 기본 요구사항들을 파악한다. 둘째, 호흡기 감염병 제어기술과 해당 기술 실험을 위한 시뮬레이터의 활용 목적에 대해 탐구한다. 셋째, 모사공간의 선정 및 실험 주제별 요구사항 분석을 진행한다. 마지막으로 위 내용들을 기반으로 호흡기 감염병 제어기술 실험용 시뮬레이터 계획안 제시의 순서로 연구를 진행한다.

2. 감염병 제어기술 실험용 시뮬레이터 관련 학술 연구

보건의료 분야에서 실행되는 의료 시뮬레이션의 구성 요소의 3가지 중 하나로 ‘교육공간과 장비’를 부분적으로 언급한다. 여기서 교육공간이란 시나리오에 따라 다양한 배경을 설치할 수 있으며, 마이크로 연결되어 시뮬레이션 동안 의사소통이 가능하고 기자재와 장비를 상주시킬 수 있는 공간이다(You, 2005). 그러나 이는 특정 의료기술의 실험목적으로 계획되는 공간이 아니며, 의료행위 교육을 목적으로 계획된다는 점에서 본 연구에서 중점적으로 다루어지는 시뮬레이터와는 큰 차이가 나타난다.

현재까지 국내외에서 발표된 감염병 의료기술 실험을 위한 건축계획 연구 자료는 그 수가 많지 않다. 이에 본 연구에서는 일반 의료 시뮬레이터, 시뮬레이터 공간 모사 계획, 시뮬레이터 실내 환경 및 감염병 대응의 연구를 분석한다. 이후 선행연구를 토대로 호흡기 감염병 제어기술 실험용 시뮬레이터의 시설 기준을 도출해 내고자 한다.

2.1 일반 의료 시뮬레이터

건축 계획적인 측면에서 의료 실험을 위한 시뮬레이터 계획을 구체적으로 연구한 사례는 Lee et al.(2023)의 연구가 유일하다. 해당 연구는 의료기술 실험용 시뮬레이터 건축을 위한 기초 자료로서 ‘안정성, 가변성, 대표성, 표준성’의 시뮬레이터 건축의 기본 특성과 이를 토대로 ‘실험공간, 통제공간, 전이공간, 보조공간’의 층위로 구성된 시뮬레이터의 기본 구조를 제안한다. 의료기술 실험

용 시뮬레이터는 설계과정에서 실험 주제들의 요구사항들을 조율하여 공간 조건 및 성능 조건을 계획하여야 한다. 즉 의료기술 실험을 목적으로 계획되는 시뮬레이터는 일반적인 설계 절차와의 차이점이 나타남을 설명하며, 그 밖에 시뮬레이터 설계에서 고려해야 할 핵심 요소들에 대해 나열하고 있다.

2.2 시뮬레이터 공간 모사 계획

Ludwig et al.(2009)는 연구 시설 내부 응급의료 지원의 전체적인 과정을 훈련하기 위한 시뮬레이터 HSC(Human Simulation Center)를 계획하였다. HSC는 레지던트, 간호사, 구급대원들 간이 의료체계 이해를 위해 사고 현장부터 수술실까지 전체 의료 프로세스를 시뮬레이션한다. 시뮬레이터는 사고 현장, 환자 이송, 환자의 소생과 수술을 묘사하기 위한 4개의 실로 구성되며, 중간 위치에 각각의 실을 관찰할 수 있는 튜터룸을 두었다. 튜터룸과 실들의 사이는 유리창으로 마감되어 직관적인 관찰이 가능하다. 23세대 관찰 카메라를 설치하여 시뮬레이션을 모니터링하거나 제어할 수 있도록 계획하였다.

Bjare et al.(2022)는 시뮬레이터¹⁾를 설치하여, 라디에이터와 바닥 냉난방 시스템을 조작 변인으로 두어 실내 공조 환경 실험을 진행하였다. 해당 시뮬레이터는 4.2m*4.0m*2.4 m의 크기로 계획되었으며 PC-제어 시스템을 통해 풍량과 급기의 온도, 외기의 비율을 조절할 수 있도록 계획되었다. 일반적인 사무실과 주거 공간을 모사하기 위해 2개의 책상, 조명, 컴퓨터 및 체온과 동일하게 가열된 인체 마네킹을 설치하였다. 내부에는 창문을 통한 열교현상을 측정하기 위해 한쪽 벽면에 8개의 복사 냉난방 PVC 패널로 구성된 창문을 설치하였다. 실내 온도를 통제 변인으로 설정하여 22도로 유지하고 환기 풍속과 급기 온도, 창문 온도를 조작 변인으로 두어 실험을 진행하였다.

2.3 실내 환경 시뮬레이션 및 감염병 대응

Song&Kim(2022)은 감염병 환자 수술 중 의료진의 2차 감염을 방지하기 위해 수술실의 급배기구 변경 시나리오 도출 후 CFD(Computational Fluid Dynamics) 시뮬레이션으로 효용분석을 진행하였다. 명지병원의 음압 수술실을 테스트베드로 하여 시나리오별로 감염물질에 노출 정도를 측정하기 위해 호흡 높이에 따라 0.8m~1.5m의 범위에서 8곳의 측정 포인트를 계획하여 시뮬레이션을 진행했다. 실내 발열 부하는 통제 변인으로서 무영등과 인체발열 등을 고려하여 계획하였으며, 급기온도는 공조기 설정대로 25도를 유지하였다. 급배기구 리모델링 시나리오에 대한 CFD 시뮬레이션 결과 배기를 환자 발치로 집중시키고 배기구의 면적을 축소하여 흡입 유속을 증대시킬 때 환자에게서 발생하는 감염원 확산을 효과적으로 방지할 수 있었다.

Cho(2022)은 팬데믹 기간 동안 지속적으로 운영할 수 있는 이동형 음압격리병실을 개발하였다. 해당 모듈은 복

도, 전실, 격리병실 및 화장실을 포함하고 있으며 총 8.0m*3.0m*2.4m의 크기로 구축되었다. 음압격리병실 모듈은 복도에서 전실, 격리병실, 화장실 순서로 차압을 형성하여 기류가 차례대로 이동하도록 급기, 배기 시스템을 구상했다. 모듈의 급기풍량 환기횟수 6-ACH(Air Change per Hour)의 전 외기 시스템을 적용하였다. 격리병실의 배기는 환자베드 양옆에 위치하여 오염물 제거에 용이하도록 하였다. 해당 모듈은 임시 건축물이나 안전성 확보를 위해 법적 요구 성능을 전부 준수하였으며, 성능 확인을 위해 환기 시스템의 CFD 시뮬레이션을 진행하였다.

2.4 선행연구 소결

본 연구는 선행연구 분석을 통해 의료기술 실험용 시뮬레이터의 기본 특성인 ‘안정성, 가변성, 대표성, 표준성’ 및 감염병 제어기술 실험용 시뮬레이터의 시설기준 10가지를 추출하였다. 이를 토대로 ‘호흡기 감염병 제어기술’과 ‘응급의료기관 공간 모사’의 특성을 ‘기류의 안정성, 기류의 가변성, 응급의료공간의 대표성, 응급의료공간의 표준성’으로 확대 발전시켰다. 위의 기본 특성을 근거로 하여, 도출된 10개의 시설기준을 평가하였을 때의 연관성은 다음과 같다(Figure 1).

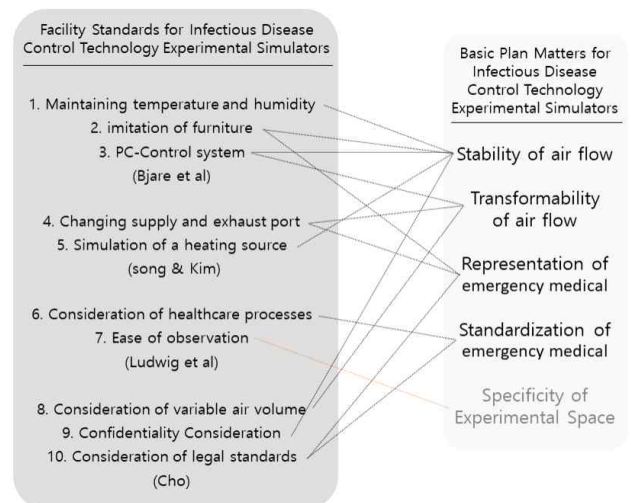


Figure 1. Relationship between facility standards and developed basic structures

선행연구의 분석에서는 호흡기 감염병 제어기술 실험용 시뮬레이터의 10가지 시설기준을 도출하고, Lee et al.(2023)의 의료기술 실험용 시뮬레이터의 4가지 기본 계획사항을 본 연구에서의 시뮬레이터 구상 목적에 맞게 발전시켰다. 여기에 Lee et al.(2023)에서 정립한 다양한 층위의 의료 시뮬레이터 기본 구조를 바탕으로 하여, 응급실 공간을 모사한 호흡기 감염병 제어기술 실험용 시뮬레이터 설계안을 제시한다.

3. 호흡기 감염병 제어기술의 이론적 고찰

3.1 호흡기 감염병 제어기술의 구분

1) 덴마크 공과대학교 국제 실내 환경 에너지 센터 내부 위치

호흡기 감염병 제어기술이란 호흡기 비말을 통한 감염원 전파 제어를 위해 사용되는 의료기술을 의미한다. 호흡기 감염병 제어기술은 1. 공간 내 감염원 확산 방지(Blocking) 2. 공간 내 감염원 제거(Eliminating) 방식으로 분류할 수 있다. 현재 개발단계에 있는 호흡기 감염병 제어기술은 9개로 구분이 가능하며, 개별 기술 적용 시 건축에서의 고려사항은 다음과 같다(Table 1).

Table 1. Overview of respiratory infectious disease control technology

Types	Technologies	Characters	Architectural considerations
Blocking	Air-curtain	Emitting strong air to partially block the airflow	Enabling mechanical installations around doorways by providing spatial allowances
	Air-shower	Removal of contaminants by spraying high-speed air	Creating physical buffer zones between rooms
	Softwall-clean room	Constructing a space using Vinyl with particle control technic	Allocating space for cubicles with minimum dimensions of 2.5m*2.5m*2.3m
Blocking & Eliminating	Negative-positive pressure control	Maintaining the pollution area at lower atmospheric pressure	Carefully plan the airtight sealing of the opening.
Eliminating	Physical particle filtering	Filtering viruses and contaminants through a HEPA filter	Integrating HEPA filters into existing HVAC systems.
	UV sterilization	Microbial disinfection through UV	Using UV-resistant materials for interior finishes, especially for transparent windows.
	HVAC system control	Prevention of microbial spread through exhaust system modification	Ensure adequate performance of the AHU and provide a viable duct system.
	Chemical disinfection	Automatic dispensing of disinfectants such as hydrogen peroxide and ethanol	Selecting interior materials that resist chemicals and contamination
	Biological Examination	Continuous monitoring by collecting microorganisms through filters	Setting up infrastructure for monitoring and sensor equipment

확산 방지 방식(blocking)의 감염제어 기술인 소프트월 클린룸(Softwall-clean room)은 입자제어 기술이 반영된 비닐로 감염원의 유입을 막고 무균상태의 공간을 구축한다. 이때 설치 공간의 개별적 특성을 분석 후에 설치하는 것들을 고려해야 한다. 예를 들어 병상의 유닛을 감싸는 방식으로 설치시 개별병상의 유효치수인 2.5m*2.5m의 유효 폭을 확보해야 한다. 음압제어기술 (Negative-positive

pre -ssure control)의 경우 지정 공간을 양압으로 하여 바이러스의 유입을 막거나(Blocking), 맞닿아있는 공간을 음압으로 하여 지정 공간 내에 있는 감염원을 음압 공간으로 배출(Eliminating)할 수 있다. 이렇듯 음압제어기술은 기술의 활용(성능)폭이 넓기 때문에 중요한 호흡기 감염병 제어기술이라고 할 수 있다.

Table 2에서 제시된 개발단계의 제어기술 중 에어 커튼(Air-curtain)과 에어 샤워(Air-shower), 생물학적 검사(biological examination)는 시뮬레이터에서의 성능 시험 대상에서 제외되었다. 에어 커튼은 CFD 실험 결과 성능이 미비하였다. 에어 샤워의 경우 실간 버퍼존으로서의 전실을 계획해야 하며, 이는 추후 실제 의료공간에서 적용시 물리적 공간 확보에 어려움이 있을 것으로 예상되었다. 생물학적 검사는 해당 장치와 기기를 위한 기반설비가 건축계획과정에서 추가적으로 고려되어야 한다. 이는 ‘응급의료기관의 표준성’이라는 본 시뮬레이터의 기본 특성에 위배된다고 판단되어 시험 대상에서 제외되었다.

3.2 시뮬레이터의 활용 목적

응급실 내 감염병 제어기술의 적용은 응급실 내 감염 전파의 위험성을 제거하는 것을 주목적으로 하며 연구의 흐름은 다음과 같다(Figure 2).



Figure 2. Research flow of infectious control technology

본 연구에서 계획되는 시뮬레이터의 활용 목적은 첫째, 다중 감염 제어기술 개발 및 최적화. 둘째, 응급실 공간 단위별 감염제어 효율평가 방법의 개발. 셋째, 다중 감염 제어기술이 적용된 표준 응급실 모델의 개발과 적용. 마지막으로 표준 응급실 모델의 감염관리 지표 평가이다.

계획된 시뮬레이터를 통해 호흡기 감염병 제어기술의 효과성, 경제성, 범용성, 신속성을 기준으로 최적화를 진행한다. 이후 실제 응급실에 적용하여 표준 응급실 모델 개발 및 시설의 운영 지침을 개발하는 것이다. 이때 시뮬레이터 계획시 응급실의 공간 단위별 특성이 상이하기

때문에, 기능별 대표성을 지닌 공간을 시뮬레이터 모사 공간으로 계획하고 다중 감염제어 기술의 최적화 및 효과 평가를 진행해야 한다.

4. 모사 공간 분석 및 설계 요구사항 분석

4.1 모사 공간의 선정 및 분석

모사표본인 서울대학교병원 응급의료센터 (이하 응급실)은 2023년 9월 기준 서울시 서북권역을 담당하는 권역응급의료센터로 지정되어 있다. 상위 응급의료기관에 소속되어 있는 만큼 높은 이용밀집도를 보이는 의료기관이다.

의료기술 실험용 시뮬레이터에서의 모사 공간은 수술실, 입원실, 진료-검사실, 대기실로 대표된다(Lee et al., 2023). 그러나 이는 일반적인 의료공간과 의료기술 실험을 대상으로 한 것이기에 응급실과 호흡기 감염병의 특수성을 추가로 고려하여 모사 공간을 선정해야 한다.

감염병 제어기술의 특성상 감염 환자와 의료진 및 비감염 환자의 2차 감염 제어를 대상으로 한다. 따라서 감염위험군의 밀집도가 높고, 의료진으로의 교차감염 가능성이 높은 곳을 우선으로 선정하여 응급의료공간의 대표성을 확보한다. 응급의료시설의 공간 구성요소는 행위와 이용 특성에 따라 크게 초진·진료 부문, 진단·검사 부문, 직원 부문, 공공·기타 부분으로 구분된다(Kim, 2016). 마찬가지로 의료진으로의 교차감염 제어 특성을 고려했을 때 직원 부분은 지원 중심 기능의 공간으로서 모사 대상 공간 선정에서 제외했다. 이와 같은 조건들을 검토하여 최종적으로 환자 병상이 위치하며 의료진의 초진이 시행되는 ‘응급환자 진료구역’과 ‘중증 응급환자 진료구역’, ‘소생실’, ‘예진 대기구역’을 시뮬레이터 모사 대상 공간으로 도출하였다(Figure 3).

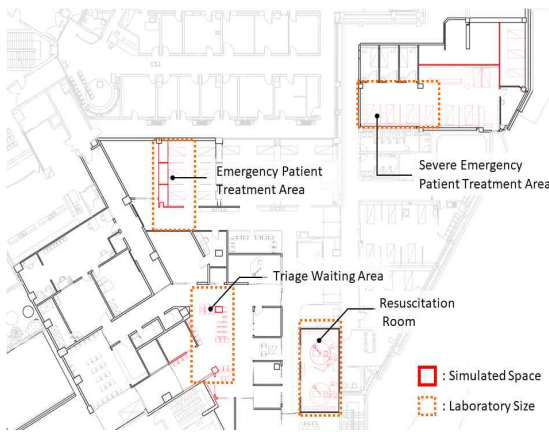


Figure 3. Plan of SNU hospital emergency medical center

응급환자 진료구역은 중증도가 낮은 환자들에 대한 의료진의 검진 및 상태관찰이 이루어지는 의료공간이다. 침상 천장에 위치한 디퓨저를 통해 급기가 이루어지고, 스트레처와 붙어있는 콘솔 하단에 배기를 위한 디퓨저가 설치되어 있다. 침상별로 감염전파 억제를 위한 파티션이 설치되어 있다. 모사 영역은 하나의 스트레처 열로 설정하며, 실험공간 - 단변 복도의 공간 위상이 형성되었다.

중증 응급환자 진료구역은 중증도가 심한 환자들에 대한 의료진의 검진 및 상태관찰이 이루어지는 의료공간이며 Nurse station에서 음압격리병실을 제외한 병상 관찰이 가능하다. 응급환자 진료구역과 마찬가지로 파티션이 설치되어 있으나, 침상 콘솔에 디퓨저가 없다는 차이점이 나타난다. 일반 침상을 모사 공간으로 설정하였으며 이에 따라 실험공간 - 장변 복도의 공간 위상이 형성되었다.

소생실은 생체기능이 정지된 부상자를 치료하기 위한 의료공간이다. 소생실 내에는 심장제세동기 등 다수의 의료기들이 존재하며, 급배기 디퓨저뿐만 아니라 고효율로 입자를 여과하기 위한 HEPA필터가 설치되어 있다. 선정된 모사 공간 중에 가장 작은 크기이며, 소생실의 규격을 실험공간의 기준 규격으로 설정하였다²⁾. 실험공간과 벽을 두고 복도와의 공간 위상이 형성되었다(Table 2).

Table 2. Emergency room space analysis

Floor plan analysis	Character
<p>Emergency Patient Treatment Area</p>	<p>The location of exhaust system in the underneath of a bed console</p> <p>Floor Height: 2.83m</p>
<p>Severe Emergency Patient Treatment Area</p>	<p>The corridor between negative pressure isolation room and hospital bed</p> <p>Floor Height: 2.75m</p>
<p>Resuscitation Room</p>	<p>Position of HEPA filter on ceiling and multiple medical devices</p> <p>Floor Height: 2.9m</p>
<p>Triage Waiting Area</p>	<p>Multiple chairs, Furniture and open space in all directions</p> <p>Floor Height: 3m</p>
<p>Legend for table</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ : Air conditioner ■ : HEPA filter ■ : Bed console R/A ■ : Simulation Space ■ : Laboratory size ● : R/A ● : S/A 	

2) 중증 응급환자 진료구역 모사 시 4개의 병상을 세팅해야 하는 실험조건을 반영하기 위해 실험실 장변의 부분적인 크기변경이 이루어졌다.

예진 대기 구역은 응급실을 방문한 환자, 보호자들이 대기하는 공간이다. 직접적인 의료행위가 이루어지는 곳은 아니지만 다수의 환자-보호자-의료진의 동선이 겹치는 곳으로 감염제어의 필요성이 높은 공간이다. 모사 영역은 대기공간 중심을 위주로 선정하였으며 이에 따라 사면에 복도가 둘러싸인 공간 위상이 형성되었다.

4.2 실험 주체별 요구사항 분석

시뮬레이터 사용에 참여하는 감염병 제어기술 실험 연구 주체는 1. 응급의료 연구진 2. 의공학 연구진 3. 건축설비 환경 연구진 4. 생화학실험 연구진로 구성되어 있다. 응급의료 연구진은 감염제어기술이 적용된 상황에서 응급실에서의 집행되는 의료행위를 진행한다. 의공학 연구진은 개발단계의 감염제어 기기를 실험하고 성능을 조절하는 역할을 수행한다. 건축설비 환경 연구진은 급배기구 및 풍량변경 등 건축설비적 측면에서의 감염제어기술 실험을 진행한다. 생화학실험 연구진은 실험에 사용되는 실험균을 분사하고 감염제어기술의 적용 후에 지정된 측정지점에서 균포집을 진행하여 전체적인 실험의 효율성 평가를 진행한다.

Table 3. Request for each research group

Item Team	Experiment contents	Required space	Consideration for design
Emergency Medical Researchers	Infection control technology experiment for emergency situations	Laboratory similar in size to resuscitation room	Installation of doors on 4 sides of the laboratory
Biomedical Engineering Researchers	MIC-BIS ³⁾ usability test check air flow change by door position	Observation room attached to laboratory	1.Variable diffuser installation 2.Installation of 1.6m wide doors on four sides of the laboratory
Building Mechanical facility Researchers	Airflow Control in the Supply and Exhaust System	Warehouse of more than 1.5m*1.1m	1.installation of diffusers on both sides of the bed and on the ceiling to allow for change of exhaust air supply 2.Door width of 0.7-1.1m or less for blower door installation
bio-chemistry laboratory researchers	Bacterial spraying and capture	Need at least 5m*3m corridor in front of laboratory	Need a separate thread to place sterilizer and biosafety-cabinet

3) Multimodal infection control - bed isolation system: 무균상태로 병상을 유지할수 있게하는 개발단계의 감염병 제어 기기

의료기술 실험을 위한 시뮬레이터는 일반적인 의료 행위 모사를 넘어, 시범적인 기술 시험이 진행되기 때문에 설계자가 공간의 활용계획을 명확히 인지하기 어렵다. 따라서 실험 주체들과의 지속적인 소통을 통해 요구안을 도출해 내고 이를 효과적으로 조율해나가는 과정이 필요하다. 따라서 본 연구진은 시뮬레이터 계획 단계에서 연구단별 설문조사를 진행하여 공간 요구사항 리스트를 확보하였다. 이후 요구사항이 서로 상충하는 경우에는 연구의 목적에 따른 우선순위를 명확히 설정하여 합의된 계획안을 도출하고자 하였다. 이를 기반으로 설문조사 항목은 첫째, 연구단별 진행 실험내용을 서술. 둘째, 시뮬레이터에 필요한 공간을 묘사. 셋째, 시뮬레이터 구축 시 고려가 필요한 사항으로 구성되며, 설문조사 결과는 Table 3과 같다.

설문조사 일부 실험내용과 공간 요구사항에 있어서 의견충돌이 발생했다. 실험실 4면에 문을 설치하는 것과 관찰실과 실험실을 맞게 설치하는 부분에서 충돌이 발생하였으나 실험실의 관찰이 우선시 되어야 한다는 연구진들의 합의에 따라 실험실의 3면에 문을 설치하고 관찰실과 맞닿은 면에는 관찰 창을 두는 것으로 결정하였다. 또한 Air-flow check을 위한 폭 1.6m의 문 설치와 블로어도어 테스트를 위한 0.7~1.1m 문 폭 제한의 실험 조건이 상충되었다. 연구단의 조율에 따라 소생실 공간 모사를 우선순위에 두는 것을 근거로 하여 문 폭을 1.1m 이하로 결정하였다.

5. 시뮬레이터 설계 계획안

5.1 시뮬레이터 설치계획

호흡기 감염병 제어기술 시뮬레이터는 제어기술이 적용될 공간을 모사하는 시설이라는 점에서 근본적인 의료 서비스를 제공하는 공간은 아니다. 감염병 제어기술 실험을 목적으로 하는 시뮬레이터는 실험공간이 이외에 여러 기능적 공간이 덧붙여져 계획되며, 공조설비 등 시뮬레이터 공간 이외에 추가적인 공간 확보가 필요하다. 따라서 창고와 체육관과 같은 넓은 실내 대공간의 확보가 가능한 곳에 설치하여 기초 및 방수공사 등 불필요한 공정을 줄이는 것이 효율적이다(Figure 4).

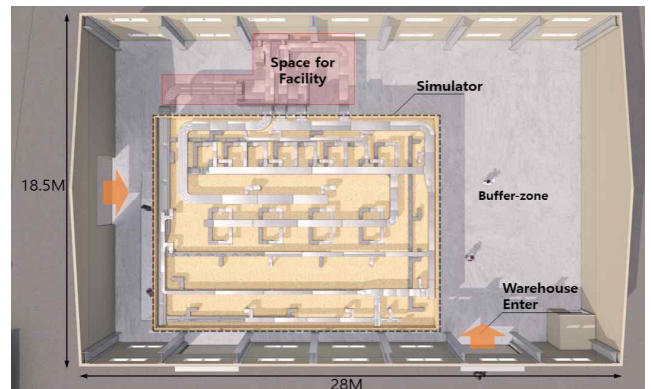


Figure 4. Simulator plot image

이를 통해 극단적인 날씨 변화와 같은 외부의 환경적 요인으로부터 자유로워지며, 창고 내부 공간이 buffer-zone으로 작용하여 혹시 모를 외부공간으로의 직접적인 BI⁴⁾ 누출을 방지하는 효과를 가져올 수 있다. 본 계획안에서는 창고의 좌측-하단면의 주출입구를 고려하여 시뮬레이터를 배치하였다. 위 측면의 여유 공간은 설비 공간이며, 우측면의 여유 공간은 추가적인 물품 보관 공간으로 사용할 수 있도록 계획하였다.

5.2 평면 계획

의료기술 실험용 시뮬레이터는 실험공간 + 통제공간 + 전이공간'의 3개의 층위로 구성된 평면 레이아웃으로 계획된다(Lee et al., 2023). 이러한 다층적 층위 공간 구성을 통해서 실험공간의 환경적 변수를 최소화할 수 있으며, 일관된 실험 결과 도출이 가능해진다.

실험공간은 모사 대상 공간을 세팅하고 에어로졸을 발생시킨 후 감염제어 기술 실험이 이루어지는 가장 핵심적인 공간이다. 이러한 기능적 특성상 시뮬레이터의 가장 안쪽 공간에 위치하여, 외부의 통제 변인을 최소화해야 한다. 통제 공간은 실험공간에서의 연구 수행이 안정적으로 유지될 수 있도록 계획되는 공간이다. 기류의 안정성에서 논한 바와 같이, 호흡기 감염병 제어 기술은 온도 변화에 따른 기류의 흐름에 민감하다. 따라서 통제 공간은 실험공간의 온도 변화를 막는 Buffer zone이자 실험 준비를 위한 공간을 실험공간을 둘러싸는 형태로 계획한다. 전이공간은 실험 중에 발생하는 위험에 대비하고 연구원 및 관련 장비의 이동을 위해 계획되는 공간이다. 멸균 상태의 내부 공간의 오염 방지 및 혹시 모를 내부 BI의 외부 유출을 막기 위해 시뮬레이터 출입구의 전실 공간으로 계획한다. 추가로 실험 기기 등을 보관하는 창고와 및 연구실을 보조공간으로 두어 원활한 실험 진행이 가능하도록 계획하였다(Figure 5).

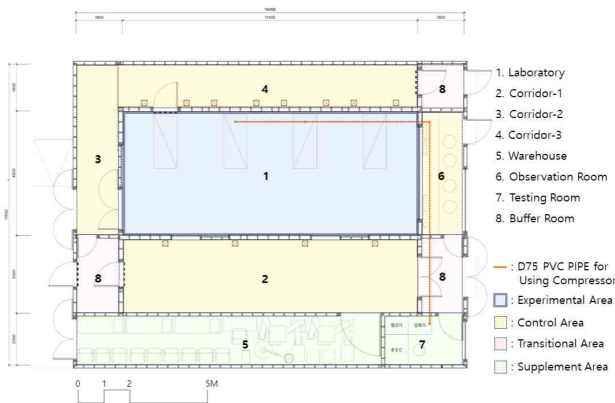


Figure 5. Simulator plan

시뮬레이터의 평면은 크게 중심부에 위치한 ‘실험공

4) Bio Indicator: 물리적 또는 화학적 공정의 멸균 사이클의 유효성을 확인하기 위하여 적합한 배지에 접종하여 멸균기 내 적절한 적재 위치에 두는 미생물 개체군

간’인 실험실과 삼면을 감싸는 ‘통제공간’인 복도와 관찰실이 위치한다. 외부에서 시뮬레이터 내부로 진입하는 출입구에 ‘전이공간’으로서 전실이 위치하며, 보조기능을 수행하는 창고와 검출실은 시뮬레이터의 외곽 영역에 배치하였다.

실험실은 응급의료연구단의 요청에 따라 응급실 모사 공간 중에서 가장 작은 단위 공간인 소생실의 크기와 동일하게 구상되며 모사 상황에 따라 가변적으로 작동하는 공간이다. 실험실과 직접적으로 접해있는 복도들은 각각 문의 개폐 여부를 통해서 모사 대상 공간에서의 실-복도 위상을 모사하게 된다.

응급의료공간의 표준성에 따라 의료공간 계획 시 환자 운송이 없는 경우 최소 유효 폭은 1.2m 이상, 환자 이송이 있는 경우에는 유효 폭 2.1m 이상을 확보한다(Korea Institute of Healthcare Architecture, 2018). 실제 서울대 병원 응급실의 모사 대상 공간과 인접한 복도의 경우 모두 2.1m 이상의 유효 폭을 확보하였다. 시뮬레이터에서는 실제 환자 이송이 이루어지지 않지만, 0.4m의 디퓨저 급배기관이 복도를 지나간다는 점을 고려하여 1.6m의 유효 폭(1.2m + 0.4m)을 확보하였다. 복도-1의 경우 의공학 연구진의 소프트웨어 클린룸(Software- cleanroom) 큐비클의 운반 및 설치 요청에 따라 최소 크기 2.5m*2.5m 이상인 폭 3m, 길이 11.4m의 복도 공간을 계획하였다. 실험실 내 스트레처와 가구의 운반을 위한 복도-2의 출입문을 제외하고 시뮬레이터를 출입하는 모든 동선은 반드시 전실을 거치도록 계획하였다. 이를 통해서 실험실 내외부의 통제 변인을 최소화할 수 있다. 복도-2 출입문은 모사 공간 변경 시에만 사용되며 실험 과정에서는 잠금상태로 두는 것을 원칙으로 한다. 연구진의 직접적인 실험관찰을 위해 관찰실과 실험실 사이에 관찰창을 설치하였으며, 기류의 안정성 도모를 위해 컴퓨터 등의 열원에서 발생하는 열교환상을 최소화해야 하며, 관찰실과 실험실 사이의 관찰창은 로이코팅 유리를 적용하였다. 기류의 가변성 확보를 위해, 관찰실 내부에는 시뮬레이터의 기계설비 시스템 운용한다. 검출실은 분사균 보관을 위한 Bio-safety cabinet과 실험 도구와 폐기물의 멸균처리에 사용되는 autoclave가 위치하는 공간이다. 창고는 스트레처와 의료기기 등 실험에 이용되는 여러 기자재를 두는 공간으로 사용된다. 창고는 추후 보관 자재의 확대를 고려하여 연구단별 요청사항인 최소 크기 1.5m*1m 이상인 10m*2m의 공간을 확보하였다.

5.3 단면 계획

의료기술 실험용 시뮬레이터는 ‘연구소 실험실 공간의 중립적이고 균질한 환경 조성’과 ‘의료 공간의 다양하고 특수한 공간 재현’이라는 다른 면을 균형 있게 결합해야 한다(Lee et al., 2023). 의료기술 실험을 위한 시뮬레이터의 공간 모사 특성을 고려할 때 연구소에서의 실험을 위해 사용되는 설비와 같은 부수적 요소들은 내부 공간에서 최대한 배제함으로써 정확하고 안정적인 실험 결과 도출이 가능하다. 따라서 입상 덕트와 같이 불가피

하게 시뮬레이터 내부에 위치해야 하는 일부 설비들을 제외한 나머지 설비들은 시뮬레이터 외부에 배치했다.

복도-1과 복도-3에 위치한 입상 덕트를 통해 공조 된 공기를 실험실에 공급하는 시스템을 구축하며, 해당 입상 덕트에 연결된 덕트들은 천장 상부에 위치시킨다. 이는 단층인 시뮬레이터의 특성을 고려하여 결정된 것으로, 층고를 높여서 덕트를 천장 내부에 위치시키는 것보다 공사비용 절약 및 유지관리의 측면에서 이점을 취할 수 있다(Figure 6).

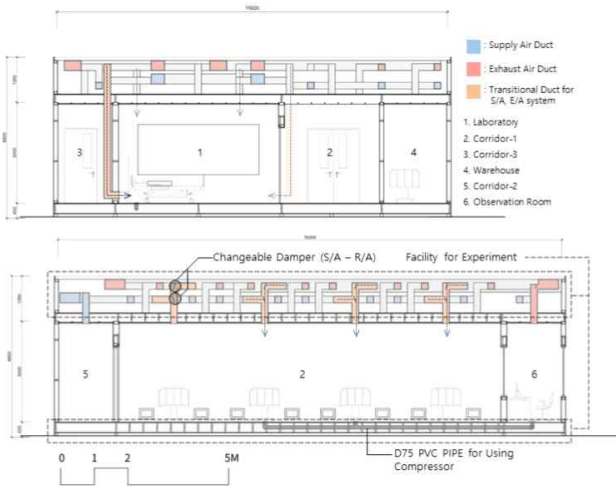


Figure 6. Simulator section plan

감염병 제어기술 실험 중 균 분사 및 포집 실험은 마 네킹의 구강 위치에 레블라이저(Nebulizer)⁵⁾를 설치 후 콤프레셔 가동을 통해서 감염환자의 구강호흡을 통한 BI 확산을 모사하게 된다. 해당 실험 환경 조성을 위해서 실험실-관찰실, 실험실-검출실을 연결하는 D-75 PVC 파이프 배관에 바닥 장선에 매립하였다. 콤프레셔 가동은 많은 열과 진동을 발생시키므로 기류의 안정성을 저해한다. 이에 실험실과 분리된 공간에 콤프레셔를 위치시키고, PVC 파이프 내부의 고무호스를 연결하여 공기를 분사할 수 있도록 계획하였다.

서울대학교병원 응급실 모사 공간의 층고는 응급의료 공간의 표준성에 부합하는 2.3m, 2.7m, 3.0m로 계획되었다. 설계과정에서 소프트월 클린룸(Softwall-cleanroom)의 높이를 고려하여 층고가 가장 높은 공간인 3.0m를 기준 층고로 설정하였으며, 필요시 실링을 하단에 추가 설치할 수 있도록 계획하였다. 지붕 마감면 기준으로 높이 1m의 파라펫을 계획하여 시뮬레이터 외부에서 지붕 상부의 덕트 설비가 보이지 않도록 계획하였다. 바닥 장선구조 및 PVC 파이프 매설에 따라 창고 바닥 면을 기준으로 0.45m가 띄워지게 되었다. 이에 따라 가구 운반 시 사용되는 복도-2의 전실 앞부분에 스트레처의 회전반경을 고려한 플랫폼을 배치하였다. 출입구 앞에는 단차를 줄이기 위한 계단을 설치하였다(Figure 7).

5) 미생물 배양액을 분사하는 장치인 Collision Nebulizer를 사용



Figure 7. Platform of simulator

5.4 구조 및 단열계획

시뮬레이터는 공간은 단층으로 지어지며, 창고 내부에 지어지는 시설이므로 추가적인 기초공사가 필요 없다. 따라서 시공비 절감 및 공기가 빠른 건식 경량 축조형 목구조를 적용하였다. 일반적인 경량 목구조의 경우 2x4 목조스터드를 내벽에 사용하고, 단열성능이 중시되는 외벽에 2x6 목조스터드를 사용한다. 그러나 해당 시뮬레이터의 경우 실험실의 단열성능이 가장 중요시되기에 실험실을 둘러싸는 내벽 면에 2x6 목조스터드를 사용하고, 시뮬레이터 전체를 둘러싸는 외벽 면은 2x4 목조스터드로 구조를 계획하였다. 이때 목조스터드는 급배기 덕트와 간섭되지 않도록 주의하여 시공하였다(Figure 7).



Figure 8. Construction and insulation

감염병 제어실험 과정에서 실험실의 온도 변화는 기류의 안정성을 크게 저해하는 요소이다. 일반적으로 바닥과 천장에서의 열교현상이 벽체에서의 열교현상보다 크기에 특히나 바닥과 천장의 단열성능이 중요하다. 이에 지붕 장선은 2x10 목조스터드, 장선은 2x12 목조스터드로 계획하여 구조적 안정성과 단열성능을 확보하였다.(Figure 8).

단열은 기본적으로 현장에서의 시공정확도와 경제성을 고려하여 계획되어야 한다. 추가적으로 해당 시뮬레이터의 경우 음압제어기술(Negative-positive pressure control)의 도입을 고려해 목조 스테드 사이에 연질 수성 발포 우레탄폼 충전 시공으로 기밀성을 도모했으며, 단열이 연속되도록 블로킹으로 밀실하게 시공하였다. 사용된 스테드의 크기와 단열재료는 벽, 바닥, 천장 개별의 건축 요소에 대한 열관류율과 여름철과 겨울철의 최대, 최소의 열량량을 계산하여 반영하였다(Table 4).

Table 4. Laboratory construction and heat transmittance

Part	Components	Heat transmittance	Expected maximum heat transmittance	
			Winter	Summer
Ceiling	-18t O.S.B -10inch Insulation -2P Gypsum board	0.06	-151W	100W
Wall	-12t laminating board -11t O.S.B -6inch Insulation -2P Gypsum board	0.12	-11W	11W
Floor	-4t Deco tile -12inch Insulation -18t O.S.B -12t Waterproof plywood	0.08	-128W	85W

5.5 입면 및 실내 재료 계획

시뮬레이터의 입면은 유리를 통한 열교현상을 최소화하기 위해서 창 면적을 최소화하여 계획하였다. 그러나 실험실과 검출실은 기계 오작동으로 인한 화재 및 BI 누출의 문제가 발생할 우려가 있다. 이에 따라 검출실과 관찰실에는 로이코팅 유리창을 두어 시뮬레이터의 외부에서 내부를 관찰할 수 있도록 계획하였다. 관찰실과 실험실 사이에 관찰창을 배치하여 외부에서도 실험실 내부를 관찰할 수 있게 된다. 관찰창에는 UV차단 필름을 부착하여 자외선 살균(UV sterilization)시 관찰실로의 자외선 침투를 방지한다.

입면의 하부(1.2m 이하)는 스트레처와 같은 의료기기의 이동 중에 외부 충격으로 인한 파손을 방지하기 위해서 내구성 있는 6t의 아연도금 플레이트를 부착하였으며, 입면 상부는 12t 나왕 합판으로 마감하였다(Figure 9).



Figure 9. Simulator exterior

시뮬레이터 실내의 연구의 목적상 일반적인 의료공간과 동일한 마감 재료를 사용하는 것을 원칙으로 한다. 의료공간 계획 시 벽과 바닥 등 마감 재료는 내구성, 내약품성이 강하여 멸균 작업 시 화학반응이 일어나지 않고 의료기기의 이동 중에 파손이 일어나지 않도록 내구성 있는 재료를 사용해야 한다(Korea Centers for Disease Control and Prevention, 2017). 나아가 화학 소독기술(Chemical disinfection) 및 자외선 살균기술(UV sterilization) 실험을 고려해 실험실 시뮬레이터 내부의 벽과 문은 내화특성과 자외선 저항성이 있는 병원용 특수 페인트를 사용하여 마감한다. 바닥마감의 경우 항 화학성이 있는 병원용 테코타일을 사용하였다. 실험실의 경우 감염병 제어실험 특성 BI를 레블라이저로 분사 후 멸균

소독이 진행된다. 이 과정에서 레블라이저의 습기와 과산화수소수의 혼증이 페인트로 흡수될 위험이 있으므로 실험실 내부의 천장과 벽, 문에 불소수지필름 마감을 추가로 계획하여 내화특성을 확보하였다.

문 설치로 발생하는 벽의 요철과 문틈은 공조 환경 실험 과정에서 통제되지 않은 기류 흐름을 만들어낼 수 있다. 이를 방지하기 실험실에서 모사 공간으로 사용되지 않는 문은 모두 합판 격벽으로 막을 수 있도록 구성함으로써 실험과정에서의 균일한 벽면 표면을 구성하도록 계획하였다. 음압제어기술(Negative-positive pressure control)의 도입을 고려했을 때, 문틈에 대한 계획도 중요하게 작용하였다. 외기와 면한 모든 문들은 문틀 사이를 완전히 기밀하게 처리하여 감염원의 외부 누출을 차단하였다. 반면에 실내 위치한 문들은 하단부 실링(Sealing)이 없는 언더컷(Under-cut)으로 시공하여 압력 차로 인한 실간 자연스러운 기류 형성이 가능하도록 계획하였다.

5.6 설비 계획

선행연구의 고찰에서 논의한 기류의 가변성에 따르면, 풍량 및 급배기구 위치 조절은 의료공간에서의 감염병 제어를 위해 비중 있게 다루어지는 분야이다. 공조설비의 경우, 모사 대상 공간인 서울대병원 응급실의 공조기와 유사 용량, 동일 가동 방식의 EHP⁶⁾ 공기조화기를 설치하여 응급의료공간의 표준성을 놓치지 않는 것 또한 중요하다. 나아가 단면계획에서 설명하였듯 시뮬레이터 내부로의 설비누출을 최소화하기 위해 대부분의 공조 덕트를 천장 상부에 배치하였다(Figure 10).



Figure 10. Simulator air conditioning facility

소생실 모사 과정에서 물리적 입자 여과기술(Physical particle filtering) 실험을 위해 헤파필터를 설치하였다. 실험군 및 미세 입자를 고효율로 여과할 수 있는 품질 보장을 위해 PAO-test⁷⁾ 성능 지표를 점검하였다. 기류의 가변성을 용이하게 하기 위해 응급환자 진료구역의 모사 및 환기 성능 실험 요청에 따라 실험실의 천장과 벽면에 급배기 전환이 가능한 디퓨저를 설치하였다. 디퓨저는 풍량 및 급배기구 위치를 독립변인으로 두는 공조 환경 실험을 고려하여, 풍량 및 급배기구 조절이 가능한 뎀퍼를 함께 계획하였다. 추가로 시스템 에어컨 3기를 설치하여 실험실의 온도 세팅의 다양성 및 변화 대응성을 확보하였다(Figure 11).

6) Electric Heat Pump: 전기구동식 히트펌프
7) 필터링 이전에 0.3µm크기의 입자를 분사시켜 필터를 통과한 미립자를 측정하는 실험

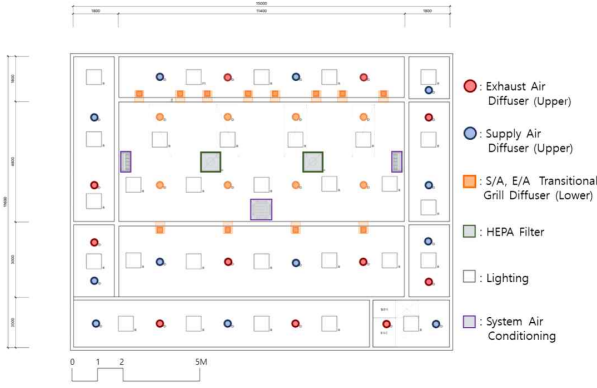


Figure 11. Simulator ceiling plan

실험실과 복도-3이 맞닿는 벽면에는 응급환자 진료구역 모사의 매트 콘솔 모사를 위해 입상 덕트와 디퓨저 그릴을 설치하였다. 실제 응급환자 진료구역 병상의 경우 모듈마다 매트 콘솔의 급배기구 위치와 개수가 조금씩 다르다. 하지만 시뮬레이터의 범용성과 추후 실제 응급실 공간의 설비 리모델링 가능성을 고려하여, 환기 및 공조 기술(HVAC system control)의 효율성 증진을 위해 스트레처의 양측면에 급배기구 변경이 가능한 그릴 디퓨저를 설치하였다. 복도-1 과 맞닿아 있는 벽면에 위치한 입상 덕트, 디퓨저 그릴은 소생실 문 위치의 온전한 모사가 우선시되어야 하는 것으로 판단되어 침대 축선에 맞추어 하나씩만 설치하였다(Figure 12).



Figure 12. Convertible grill diffuser grill and duct at hall-1

호흡기 감염병 제어실험을 목적으로 하는 시뮬레이터는 기류의 안정성을 고려해 실험실의 실내 온도를 일정하게 유지하여 기류변화를 최소화해야 한다. 이때 디퓨저를 통해 실험실로 토출되는 공기 온도가 벽 표면 또는 기존 실내 공기의 온도와 다르다면 기류에 영향을 주며 부정확한 실험 결과가 도출될 가능성이 있다. 주요 실험 공간(실험실, 복도-1)과 이를 둘러싼 복도 및 관찰실은 응급의료공간의 표준성에 부합하는 응급의료기관 실내 적정온도(25도)로 설정되어야 한다. 이때 해당 공간은 등온 조건을 유지하여 벽체를 통한 열에너지 부하를 방지해야 한다. 특히 실내외 온도 차이가 크게 나는 여름 및 겨울 계절은 복도에 설치된 냉난방 장치를 가동하여 실내 적정 온도를 세팅한 후에 실험실의 공조기를 가동하여 실내 온습도 및 기류를 안정화하는 것이 중요하다(Figure 13).

Outdoor temperature -5 ~ 35°C
(maximum and minimum temperatures in summer and winter)

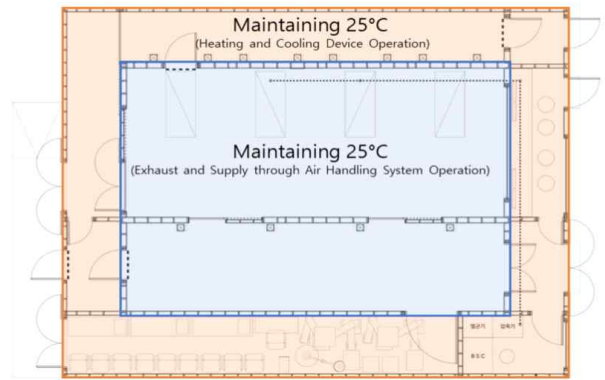


Figure 13. Simulator air temperature setting for experiment

위 설비 사항을 통합적으로 관리하기 위해 실험실에서 컴퓨팅 제어로 작동하는 기계설비 제어시스템을 구축했다. 이를 통해 환기 및 공조기술(HVAC system control)의 급배기 및 환기뿐만 아니라 풍속, 실 간 차압, 공기 교환율(ACH) 등을 유동적이고 안정적으로 유지할 수 있도록 구상하였다. 실험실은 다른 실로 병원균 이동을 방지하기 위해 일정수준의 음압이 유지되도록 계획하며 이를 위해 전이 공간인 전실의 양쪽 출입문은 동시에 열리지 않는 인터락 시스템으로 가동된다. 추가로 음압 여부에 따른 공기흐름을 확인하기 위해 차압 측정기를 실별로 설치하고, 음압 표시기를 문 옆에서 두어 실별 음압 여부를 바로 확인할 수 있도록 구성하였다(Figure 14).


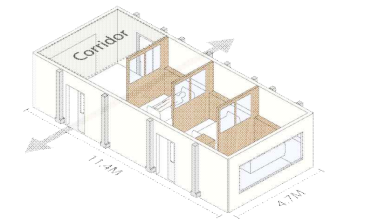


Figure 14. Automation air-control facilities

5.7 실험실 실내환경 모사 계획

기류의 가변성과 응급의료공간의 표준성을 고려했을 때 공조설비 환경 연구에서는 실제 의료환경과 동일한 기류에 영향을 줄 수 있는 가구와 격벽 등을 모사 설치해야 한다. 가구는 모듈 형태로 제작하여 상황 모사 시에 반복적인 사용이 가능하도록 계획한다(Table 5).

Table 5. Simulator space simulation scenario

Imitation of Area for severe emergency patients (3-Beds)	
	

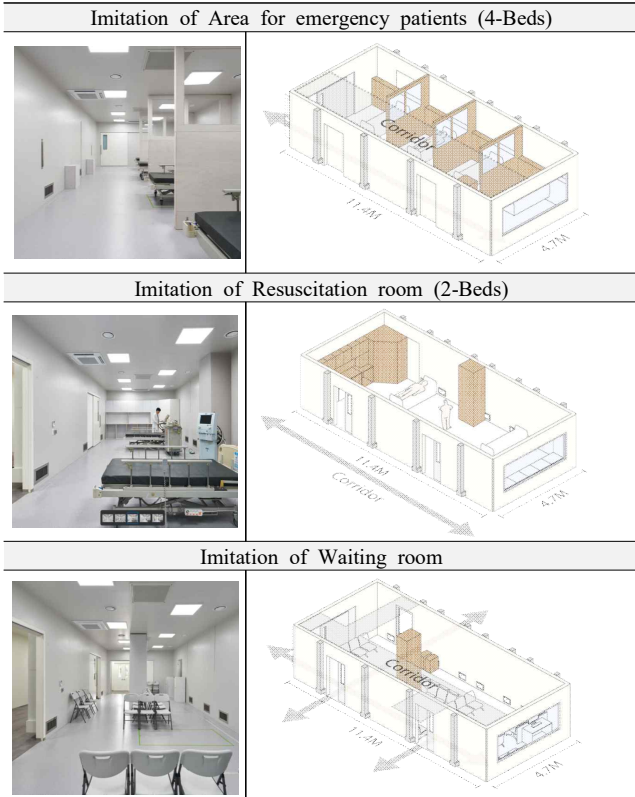


Figure 15. Furniture module at Laboratory

6. 결 론

본 연구에서는 팬데믹 사태를 통해서 현재 개발 중인 호흡기 감염병 제어기술의 실험을 위한 공간 계획의 필요성을 제기하였다. 관련된 선행연구와 서울대학교병원 응급의료센터의 공간분석, 연구단 요청 사항 분석을 통해 호흡기 감염병 실험을 위한 시뮬레이터 계획 시 필요한 사항들을 수집했다. 이후 해당 내용들과 ‘의료기술 실험용 시뮬레이터 건축 계획 연구’의 일부내용을 골조로 하여 서울대학교병원 응급의료센터를 모사 공간으로 한 호흡기 감염병 제어기술 실험용 시뮬레이터 설계안을 제시하였다. 본 연구의 성과를 정리하자면 다음과 같다.

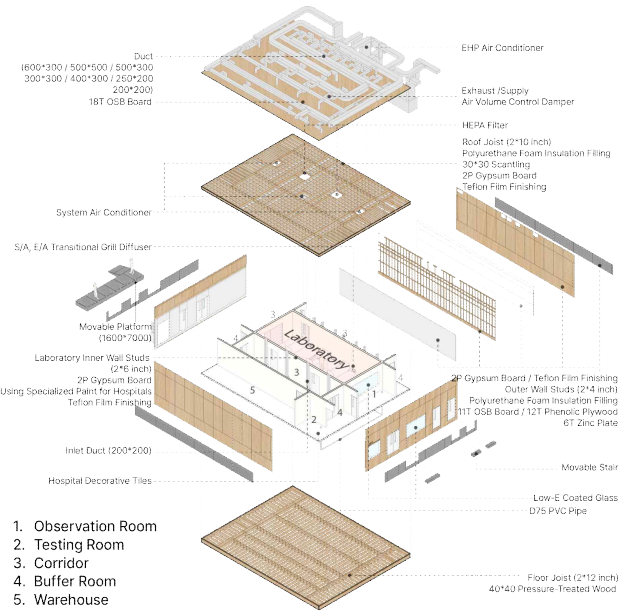


Figure 16. Simulator axonometric

1. 감염병의 대응을 포함한 의료기술 실험 및 시뮬레이터 공간 계획시 안정적으로 통제된 실험 환경의 조성이 중요시된다. 이에 따라 외부의 통제 변인을 최대한으로 제어하며, 가구와 열원 기구 등 기류에 영향을 줄 수 있는 세부적인 항목들을 구체적으로 계획해야 한다.

2. 선행연구 분석 결과 ‘호흡기 감염병 제어기술’ 실험을 목적으로 하며, ‘응급실 공간을 모사’ 대상으로 하는 시뮬레이터는 일반적인 의료기술 실험용 시뮬레이터와 다르게 호흡기 감염병과 응급실 공간의 특성을 고려해야 한다. 이에 대한 주요 특성으로 1. 기류의 안정성 2. 기류의 가변성 3. 응급의료공간의 대표성 4. 응급의료공간의 표준성이 도출되었다.

3. 호흡기 감염병 제어기술은 공간 내 감염원 확산을 방지(Blocking)하는 방식과 공간 내 감염원을 제거(Eliminating)하는 방식으로 구분된다. 이때 기술의 적용 시 개별 기술마다 건축적 측면에서 고려가 필요하다.

4. 호흡기 감염병의 특성과 응급의료기관의 특성을 고려할 때, 모사 대상 공간의 선정은 감염위험군의 밀집도가 높고 의료진과의 교차감염 위험도가 높은 곳을 우선 시해야 한다.

5. 시뮬레이터 계획과정에서 연구 참여 주체들의 공간 요구사항을 수집하였으며, 이때 연구단별 실험 내용적 측면에서의 충돌이 발생하였다. 이때 연구목적의 우선순위를 명확히 설정하여 참여 주체들간의 합의된 계획안을 도출해야 한다.

6. 시뮬레이터는 실내 대공간의 확보가 가능한 대형창고의 내부에 설치함으로써 건축 공정을 줄이고 외기의 영향으로부터 보다 안정적인 실험 결과를 도출할 수 있다. 평면계획에서는 기류의 안정성 확보를 위해 실험-통제-전이공간의 3개 층위로 공간을 계획하였으며 창고와 검출실을 실험 보조를 위한 공간으로 두었다. 단면 계획에서는 최소한의 설비를 제외하고 대다수의 설비를 시뮬

레이터 외부에 배치하였으며, 소프트웨어 클린룸의 설치를 고려하여 모사 공간 내의 가장 높은 천장고(3m)를 반영하여 계획하였다. 구조계획은 효율성을 고려하여 건식 경량형 목구조를 사용하였으며, 기류의 안정성 확보를 위해 예상 열관류율 도출 후 단열이 중요시되는 실험실 벽면은 일반 벽면의 스티드(2x4)보다 큰 2x6 스티드를 사용하여 적정 단열 두께를 확보하였다. 실내 마감 재료의 경우 실제 응급실 모사 공간과 최대한 동일한 재료를 사용하였으며, 실험 후 훈증 및 소독을 고려하여 내화학적 페인트칠 및 불소수지필름 마감을 계획하였다. 추가로 실험시 모사에 사용되지 않는 벽은 격벽으로 막을 수 있도록 계획하여 문의 요철로 인한 기류변화를 최소화하였다. 설비 계획에서는 복도-1과 3에 맞닿은 벽면에 기류의 가변성 확보를 위해 급배기구 전환이 가능한 입상 덕트를 두었다. 침상 위 배드 콘솔의 급배기구를 모사하였으며, 기류의 안정성과 가변성을 고려하여 전선의 인터락 시스템과 컴퓨팅 기계설비 제어시스템을 확보하였다. 실험실 실내 환경계획에서는 실제 의료환경과 동일한 기류의 흐름을 모사하기 위해 가구와 격벽을 모듈 시스템으로 구상함으로써 반복적인 사용과 손쉬운 이동 및 결합이 가능하도록 계획하였다(Figure 16).

본 연구에서 제안한 감염병 제어 기술 실험용 시뮬레이터는 2023년 8월 완공되었으며, 현재 연구단의 감염병 제어기술 실험이 진행되고 있다. 아직 해당 시뮬레이터 사용에 관한 데이터가 부족한 만큼 확산제어 성능과 모니터링 체계의 평가, 연구단별 공간 활용 만족도는 일정 수준의 데이터가 확보되면 추후 후속 연구에서 다룰 예정이다. 그동안 학문적인 측면에서 구체적인 설계 계획안이 없던 만큼, 앞으로의 감염병 대응 및 관련 의료 실험을 위한 공간 계획에서 다방면으로 참고될 수 있으리라 판단된다.

REFERENCES

1. Bjarne, W. O., Angela, S., Michal, K., Francesco, C., & Michele D. C. (2016). Experimental study of air distribution and ventilation effectiveness in a room with a combination of different mechanical ventilation and heating/cooling systems, *International Journal of Ventilation*, 9(4), 371-384.
2. Cho, J. K. (2022). A reference model and HVAC design criteria of mobile negative pressure isolation room for responding to infectious disease outbreaks, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 38(1), 195-205.
3. Han, J. H., Lee, S. M., Lee, D. H., & Heo, T. (2022). The analysis of the status of emergency department-based screening clinic according to the spread of corona virus disease 2019: a retrospective single-center study, *Journal of the Korean Society of Emergency Medicine*, 33(1), 19-27.
4. Kim, J. G. (2016). *A Study on the Improvement of Facilities Standard for Infection Prevention in Emergency Medical Center: Focusing on the Triage in Regional Emergency Medical Center*, Thesis, University of Seoul.
5. Korea Centers for Disease Control and Prevention (2017). *Operation and Management Guidelines for Nationally Designated Inpatient Beds*, Ministry of Health and Welfare, 12-24.
6. Korea Institute of Healthcare Architecture (2018). *Architectural Guidelines for the Design of Healthcare Facilities - Focused on General Ward, Isolation Ward, ICU, Newborn Unit, NICU, Dialysis Unit, HVAC*, Ministry of Health and Welfare, 48-80.
7. Lee, K. R. (2021). *Emergency Nurses' Experiences over 1 Year of the COVID-19 Pandemic: A Qualitative Study*, College of Nursing, Thesis, Seoul National University.
8. Lee, S. W., Kim, J. Y., Yeo, M. E., Shen, R., Kim, S., Shin, S. D., Yeo, M., & Zo, H. (2023). Architectural research on the medical technology experiment simulator, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 39(11), 39-50.
9. Lee, W. L., Yun, S. U., Choo, I. Y., & Jung, J. H. (2020). Corona with over 1200 patients, now a prolonged battle; guard the emergency room. *The JoongAng Social*, Retrieved December 10, 2023 from <https://www.joongang.co.kr/article/23716544>
10. Ludwig, C. H., Benedikt, S., Bert, U., Patricia, M. H., Christian, K. L., & Marc, L. (2009). The human factor in medical emergency simulation, *AMIA 2009 Symposium Proceedings*, 249-253.
11. Regulations on the Approval, Declaration, And Evaluation of Medical Devices, Article 3, Korean Law, Medical Devices Act, Enforcement Decree of the Medical Devices Act § Ministry of Food and Drug Safety 2023-39 (2023). <https://www.law.go.kr/법령/의료기기법시행규칙>
12. Song, K. S., & Kim, S. H. (2022). Alteration of supply and exhaust diffusers in a negative pressure operating room to prevent secondary infection of surgical team, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 38(4), 189-197.
13. You, E. Y. (2005). Medical Simulation, continuing education column, *Journal of the Korean Medical Association*, 48(3), 267-276.

(Received Nov. 1, 2023/ Revised Dec. 5, 2023/ Accepted Dec. 14, 2023)