https://doi.org/10.15682/jkiha.2022.28.3.7

모듈러 음압병동 개발을 위한 시사점 및 계획방향에 관한 연구

A Study on Implications and Planning Directions for the Development of a Modular Airborne Infection Isolation Ward

최광석* Choi, Kwangseok | 윤형진** Yun, Hyungjin

Abstract

Purpose: This study aims to establish the basic directions of the modular airborne infection isolation(AII) ward. Considering a specific function and purposed use as a modular AII ward, it is a chance to derive an address of current modular technology by overview the limitation and improvement of the existing modular architecture. **Methods**: In addition to the literature analysis on the configuration system of mobile hospitals, research cases on the operational effectiveness of the domestic and foreign mobile construction systems are analyzed. **Results**: In order to meet the various and strict space guidelines of the AII ward and a chance to improve limitations of uniformed existing modulars, AII modular the negative pressurized care setting should be minimized a structural restriction for reflecting its system on a architectural plan. For this unique requirements, it could be possible to apply various space boxes called infill box which needs to secure a large-scale space. So, a rahmen structure system could be adaptable for this purpose. A dead space between beams of the rahmen structure is to be used for MEP installation. Partial separation, dismantling, and repair should be possible by separating the MEP and infill box from the structure. The infill box must keep 3.5m width under the current Road Traffic Act. **Implications**: It is necessary to utilize and develop an improved construction method that can reduce the problems of existing steel modular and PC modular.

주제어: 음압병동, 이동형건축, 모듈러시스템, 모듈러병실, 의료시설
Keywords: Airborne Infection Isolation Ward, Mobile Architecture, Modular System, Modular Patient-room, Healthcare Facilities

1. 서론

1.1 배경 및 목적

최근 신종 감염병 유행의 주요 원인이 원내 2, 3차 감염으로 밝혀짐에 따라 기존 의료시설과 격리되면서 기존 의료시스템을 보완하는 또 다른 의료시설의 필요성이 제기되고 있다. 코로나19는 환자가 폭증하는 기간동안, 선별진료소, 생활치료센터, 그리고 음압병상의 신속한 공급이 집중적으로 중요한데, 종래의 주문생산방식의 감염병 이동형 시설은 공간제한이 많고, 주문부터 공급까지 수개월이 소요되어 감염병 확산 저지를 위한 골든타임을 상실할 수 있다. 따라서 모듈러를 신속하게 공급하기 위하여 평면, 구조, 인필, MEP시스템(설비배관, Mechanical Electronic Plumbing) 등의 성능, 시공성 그리고 유지관리 등을 효율적으로 구현할 수 있는 일련의 시스템 개발이 필요하다.

본 연구는 이러한 일련의 연구에서 우선 국내외 이동형 건축의 공간, 구조 및 인필, MEP시스템 등의 연구에 대한 문헌분석을 통해 기존 시스템의 문제점과 개선방향에 대한 시사점을 도출하여 보다 자유로운 평면과 신속하게 조립이 가능한 음압병동 모듈러 개발을 목표로 기본 건축계획 방향을 설정하려고 하였다.

1.2 연구방법 및 범위

음압병동의 제 기준을 충족하고, 신속한 공급이 가능하며, 성능 면에서 차별화된 모듈러 음압병동의 공간계획의 방향, 구조

* 부회장, 부교수, 교양학부, 세한대학교(주저자: daumchois@hanmail.net)
** 이사, 부교수, 건축학과, 동서울대학교(교신저자: hjyoon0626@gmail.com)

www.kci.go.kr

및 인필 방식, MEP시스템의 개발방향 등 기본계획 방향을 제시하기 위하여 이동형 병원의 구성 시스템에 관한 문헌분석과 함께 국내외 이동형 건축시스템의 운용 효과성에 관한 연구 사례를 분석하고, 평면계획의 방향을 검토하여 음압병동 개발을 위한 시사점과 계획방향을 도출하였다.

2. 모듈러건축 사례

2.1 텐트 및 컨테이너 이동병원

이동형 병원은 주로 군사적 목적의 군 이동병원으로 시작되었고, 난민구조와 재난에 대응한 UN이동병원, WHO이동병원 등으로 발전해 선진국을 중심으로 이동형 병원을 자체 개발하여 국가 재난 재해 발생 시 적극적으로 활용하고 있다. 아이티 대지진, 서아프리카 에볼라 유행 시 국제원조기구를 중심으로 의료진과 이동형 병원이 동시에 파견되어 응급의료활동과 질병 진단 확산방지 역할을 성공적으로 수행한 바 있다.

[그림 1] 해외 재난용 이동형 병원 사례

국내의 경우는 2017년 국립중앙의료원이 재난 현장에서 외상환자 수술 및 중증환자 모니터링이 가능한 최대 100병상 규모에 응급실, 수술실, 중환자실, 병실, 외래, 진단검사실, 전산화단층촬영(CT)검사실, 식당, 숙소 등 병원의 주요 시설들을 갖춘 WHO EMT 2~3수준 이동형 병원[7]을 국내에 도입하였다.

[그림 2] 한국이동병원(여주, 국립중앙의료원)

이동형 병원은 선별과 응급치료수준을 넘어 현장에서의 수술과 중환자 관리를 위한 시설을 갖춘 경우가 많으며, 음압 병상을 갖춘 경우도 있다. 형태는 텐트의 조합으로 구성되어 있거나 확장형 컨테이너와 텐트를 연결하는 방식이 대부분이다([표 1]).

[표 1] 해외 재난용 이동형 병원(응급의학연구재단, 2016: 77)

병원	병상수	음압 병상	ICU	응급실	수술실	X-ray	검사실
Med-1 (미국)	130	2 병상	6 병상	○	○		
노스캐롤라이나 (미국)	50	12 병상	○	21 병상	○	○	○
MACH (미국)			7 병상		○	○	
캘리포니아 (미국)	200	○	20 병상	20 병상	○	○	○
Emercom (러시아)	36		4~6 병상		2실	○	○
스찬성 (중국)			○		2실	○	○

텐트형은 재질과 설치유형에 따라 돔형, 사각형, 공기주입형 등이 있고, 무게가 가볍고 포장 크기가 작아 다양한 방법으로 운송이 가능하며, 설치시간이 짧고, 가격이 저렴한 장점이 있으나 컨테이너형에 비교하여 내구성이 떨어지고, 구조적 한계로 무균 유지와 보안이 취약하다.

컨테이너형은 텐트형에 비해 제작비용이 높고, 무거워 대형 트레일러가 필요하다. 반면, 텐트형에 비해 내구성이 높고, HEPA 필터 및 HVAC 시스템을 자체 내장할 수 있어 상당한 무균성을 확보할 수 있다. 또한 구조적 특성상, 보안이 뛰어나고 극한 환경에 대한 적응력이 우수하다. 해외 재난용 이동형 병원도 중요한 수술실, X-ray실, 검사실 등의 시설은 텐트가 아닌 확장형 컨테이너를 사용하고 있다.

이와같은 재난 현장에 투입되는 일반 컨테이너 및 천막 형태는 당초부터 감염병 대응 목적이 아니므로 의료환경에 최적화되기 어려워, 의료진 및 환자동선을 고려한 실별 배치 및 모듈 조합과 MEP 관계와 개구부 설정, 평면 유형 등을 초기 계획단계부터 고려한 맞춤형 모듈러 제작이 필요하다.

1) https://atriumhealth.org/medical-services/specialty-care/other-specialty-care-services/trauma-care/atrium-health-med1
2) https://blu-med.com/deployable-field-hospitals/
3) https://www.ncdhhs.gov/news/press-releases/north-carolina-based-mobile-disaster-hospital-deploying-storm-ravaged
4) https://www.healthcaredesign.com/mobile-acute-care
5) https://westmedgroup.ru/en/the-military-field-hospitals
6) Bin Cheng, et al., 2015: 5-9.
7) https://www.e-gen.or.kr/egen/boardimage_view.do?brdctsno=8002

www.kci.go.kr

2.2 모듈러형 이동병원

2019년 COVID19 펜데믹 이후, 정부·의료계에서는 감염병 치료병상 공급을 위하여 모듈러 공법(프리패브 공법)을 활용한 음압병동 건설을 지속적으로 추진하고 있다.

1) 국립중앙의료원 중증환자 긴급치료병상

2020년 10월 준공된 지상 3층, 연면적 2,120㎡ 규모의 음압병동은 30병상(중증 14병상, 경증 16병상)을 갖추고 있으며, 1, 2층은 음압격리실 및 지원시설, 3층은 교육·훈련 및 사무공간으로 운영된다. 음압병상은 고유량 산소공급, 인공호흡기와 에크모(ECMO) 등을 갖추어 모든 환자에게 중증환자 치료가 가능하다. 총공사기간은 30일이고, 모듈 조립기간은 7일이 소요되었다(국립중앙의료원, 2020).

[그림 3] 국립중앙의료원 증증환자 긴급치료병상

2) 서울대 문경 모듈러 음압생활치료센터

2020년 4월에 준공된 지상 1층, 연면적 892.72㎡ 규모의 음압병동은 28병상(경증)을 갖추고 있으며, 코로나19 감염환자와 일반 환자의 적기치료를 위해 격리병동으로 활용하고 있으며, 외부에 설치 가능한 병동으로서 음압시설, 검사장비, 진료시스템 등을 구비하고 있다. 공사기간 22일, 모듈 조립기간은 8일이 소요되었다(조현철, 2021).

[그림 4] 서울대 문경 모듈러 음압생활치료센터

3) 경기도 제2호 특별생활치료센터

경기도에서 2021년 9월 인재개발원 실내체육관 내에 이동형 음압병동으로 생활치료센터를 설치하여 자가치료와 연계한 단기 진료센터로 운영하고 있다. 유니트는 KAIST에서 개발한 튜브형 음압병동으로서 28병상, 2인 1실의 14개 병실과 엑스레이, 처치실 등으로 구성되어 있다. 지상 1층, 연면적 892.72㎡ 규모로 공사기간 30일, 모듈 조립기간은 2일이 소요되었다(청년의사, 2021).

[그림 5] 경기도 제2호 특별생활치료센터

4) 중국 훠선산·레이센산 병원

코로나19 발병이 시작된 직후, 중국 정부는 병원시설의 수요가 급격하게 증가할 것이라고 판단하였으며, 이에 대응하여 약 2주 정도의 기간동안, 우한 지역에 2개의 코로나19 환자 전용병원을 건설하였다. 훠선산(Huoshenshan) 병원(2020년 1월 24일~2월 3일)과 레이센산(Leishhenshan) 병원(2020년 1월 26일~2월 6일) 건설을 위해 7,500명 이상의 근로자가 투입되었다(한국건설기술연구원, 2021b: 328-329).

훠선산 병원은 각각 약 9㎡의 면적을 가진 조립식 유니트로 지어졌으며, 1,000병상과 30개의 중환자실이 있다. 공기의 누출을 방지하기 위해 병실에 음압을 생성하는 공조시스템을 갖추고 있으며, 객실에는 양면 패스박스가 있어 문을 열지 않고도 의료용품을 전달할 수 있다.

레이센산 병원은 1,600병상을 수용할 수 있으며, 32개 구역으로 나누어져 4개 구역은 코로나19 중증환자 전용공간으로 사용된다. 병원 내에서 모든 요구사항을 지원하기 위해 의료기술, IT 지원, 물류 창고 역할을 하는 시설을 두어 외부와의 접촉을 완벽히 차단하였다.

www.kci.go.kr

훠선산 병원[8] | 레이센산 병원[9]

[그림 6] 중국 훠선산·레이센산 병원(2021)

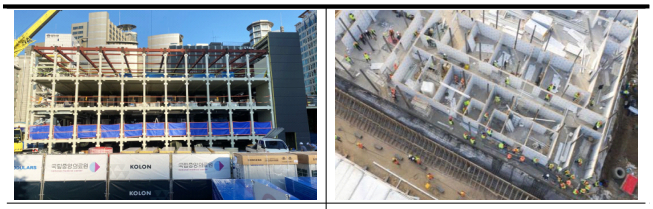
전술한 음압병동 사례는 채택한 공법에 따라 건축시스템, 시공기간, 제약사항들이 다양하게 존재하고 있다([표 2]).

[표 2] 코로나19 이동형 병원 비교

병원	시공성 (공사기간)	기술성 (건축시스템)	취약점
국립의료원	30일 (모듈조립7일)	철골조+패널 (내외장패널)	- 현장공정 많음 (철골조, 내외장, 가설공사), - 거주 성능 낮음 (바닥슬래브 진동)
서울대문경	22일 (모듈조립8일)	철골박스모듈 (내외장 포함)	- 경제성 낮음 - 거주성능 낮음 (바닥슬래브 진동)
경기도 생활치료센터	30일 (모듈조립2일)	튜브구조 (내외장재 없음)	- 외부 설치 불가
훠선산· 레이센산	12일	철골프레임 모듈+패널 (내외장패널)	- 현장공정 많음 (내외장, 가설공사), - 거주성능 검증미비

철골조와 패널라이징 방식은 현장공정이 많고, 적층식 라멘 구조도 공장일체형이 아니라면, 현장 공사가 많다. 적층식 벽식 구조인 철골 박스모듈은 강재가격 상승으로 경제성이 떨어진다. 경기도 생활치료센터의 튜브방식은 외부설치가 불가한 형으로 다양한 문제점이 있다. 중국의 훠선상과 레이센산병원의 공사기간은 12일이지만, 일 24시간 시공을 전제하여 공급된 병동으로, 건설과정은 현장공정이 많고, 거주성능에 대한 검증이 미비한 상태로 공급되었다.

이와같은 기존 음압병동 모듈러 사례를 보면, 튜브구조의 경기도 치료센터를 제외하고, 패널형 공법으로 현장공정이 많고, 바닥슬라브 진동으로 거주성능이 낮은 단점이 있다.



국립의료원(RC조+패널)[10] | 훠선산병원(강재프레임모듈+패널)[11]

[그림 7] 모듈러병원의 구조

3. 모듈러 건축의 개념과 계획방향

본 장에서는 모듈러건축의 구성요소, 유형, 구조방식, 재료, 평면구성 등의 개념과 모듈러건축의 성능지표인 시공성, 기술성, 거주성 측면에서 모듈러 공법을 비교하는 과정을 통해 기존 모듈러병원의 개선방향을 정리하려고 하였다.

3.1 모듈러 건축의 정의

1) 모듈러건축의 정의

모듈러 건축은 창호, 외벽, 배선·배관, 욕실·주방기구 등의 자재와 부품이 포함된 (박스)유니트를 공장에서 제작하여 현장에서 조립 및 설치하는 오프사이트 기반의 건축공법이다. 현장에서는 조립만 하므로 기존 공법 대비 50% 이상의 공기 단축이 가능하며, 해체 시에도 모듈을 재사용할 수 있어 건설폐기물 발생을 줄일 수 있다.

2) 모듈러건축의 구성요소

일반적으로 공장에서 사전 제작된 모듈러건축의 요소는 조립부재 또는 유니트로 구분할 수 있다. 조립부재는 프레임, 보, 기둥과 같은 구조체, 파사드 및 마감재 부품, 벽 패널과 실내 파티션, 바닥 카세트 및 슬래브, 지붕 트러스 등으로 조립을 위한 프리패브 자재와 부품이며, 유니트는 자재와 부품이 포함된 박스 형태의 유니트이다. 호텔, 기숙사, 아파트 건물 등은 여러 개의 객실 유니트를 결합하여 건물을 만들 수 있다. 모듈러 건축은 부재와 유니트의 조합으로 구성되고, 설계, 공정 또는 현장의 특정 요건에 따라 공장 및 현장에서 제작하고 설치한다. 공장제작과 운송이 어려운 대형 개구부 또는 장스팬은 대부분 현장에서 건설된다.

8) https://www.capetownetc.com/news/china-builds-second-hospital-in-10-days/, https://www.ctvnews.ca/health/built-in-10-days-china-s-virus-hospital-takes–1st-patients-1.4794740
9) https://designmuseum.org/exhibitions/beazley-designs-of-the-year/architecture/leishenshan-hospital, http://www.ecns.cn/hd/2020-02-08/detail-ifztmcih6514134.shtml
10) https://gaurian.com/kr/promotion/news.php?idx=224&bgu=view
11) https://www.macaubusiness.com/china-builds-more-sars-treatment-model-hospitals-to-fight-epidemic/construction-workers-huoshenshan-hospital-wuhan-china-xinhua-coronavirus/

www.kci.go.kr

3.2 모듈러 건축의 구성

1) 모듈러건축의 모듈 구성방식

(1) 유니트 방식

공장에서 단위 유니트 형태의 모듈을 제작한 후, 현장에서 조립하는 방식으로 모듈러방식이라고 한다. 하나의 유니트는 여러 개의 모듈로 구성될 수 있다. 보통 적층식 공법을 주로 사용한다. 현장작업이 많은 패널라이징 방식보다 유니트방식인 박스모듈이 가장 신속하게 공급할 수 있는 공법이다.

(2) 패널라이징 방식

프리패브(Prefabrication) 방식으로 공장에서 벽체, 기둥 등 각종 부재를 제작하고 현장 조립을 통해서 건물을 완성하는 방식이다. 현장작업이 많아지는 단점이 있다.

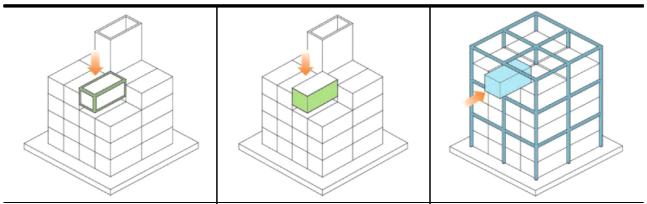
(3) 유니트-패널 복합방식

유니트와 패널라이징 방식을 함께 사용하는 방식이다. 건물 부분 중 일부는 유니트방식을 사용하고, 나머지는 패널//라이징 방식을 적용할 수 있으며, 구조부는 패널라이징 방식, 주호는 유니트방식을 적용하는 방법 등이 있다.

2) 모듈러건축 구조 방식

(1) 적층형 모듈

하중을 지지하는 구조형식에 따라 라멘구조와 벽식 구조로 분류된다(한국건설기술연구원, 2020: 12-19).



적층식(라멘구조)	적층식(벽식)	인필식

[그림 8] 모듈러건축의 구조방식

① 적층형 라멘구조

국내에서 주로 적용되고 있는 적층식 라멘구조는 상하부의 보에 연결된 기둥이 유닛을 지지하고, 유닛의 크기에 따라 스팬이 정해진 모서리의 보와 연결된다. 모서리보 위에는 바닥판이 구성된다. 벽체에는 창이나 문을 위한 개구부 공간을 포함하고, 칸막이용 벽체는 비구조용이므로 오픈공간의 필요에 따라서 생략될 수 있다(한국건설기술연구원, 2015: 14). 공장 제작률과 재사용율이 최대 80% 이상 확보가 가능하며, 기존 재래식 공법대비 50% 이상의 공기단축(한국건설기술연구원, 2020: 15)이 가능한 모듈러 건축시스템이다. 그러나 적층식 공법의 단점으로는 코어부분을 RC조로 현장공사를 해야 하므로 모듈러의 공기단축 효과가 미미하고, 단위유니트의 자중 경량화로 바닥의 진동문제가 발생한다.

② 적층형 벽식구조

적층형 벽식구조는 모듈 유닛에 전달되는 하중을 지지하기 위한 전단보강 구조용 벽체를 포함한다. 또한 창이나 문을 위한 오프닝 공간에는 축방향 하중의 지지를 위한 구조보강이 되며, 벽체에는 횡하중을 위한 브레이싱이 설치된다(한국건설기술연구원, 2015: 15). 벽식구조의 공장제작률과 재사용률은 일반적으로 50% 수준이며, 재래식 공법 대비 공기단축 효과는 30% 정도(한국건설기술연구원, 2020: 15)로 라멘구조와 인필식에 비하여 떨어진다. 현재 주택 모듈러를 중심으로 생상하는 국내 모듈러 공장에서도 적층형 라멘조 또는 인필형 유니트를 주로 생산하고 있다.

창동 플랫폼61 (서울주택도시공사 도시연구원, 2019: 18)	평창 미디어 레지던스호텔 (한국건설기술연구원, 2021b: 169)

뮤토 포스코 기숙사 (서울주택도시공사 도시연구원, 2019: 30)

[그림 9] 컨테이너 적층식 시공 사례

(2) 인필형 모듈

인필형은 보 또는 기둥 구조체의 설치 없이 패널과 패널의 집합으로 내장박스가 자립할 수 있는 모듈로 제작하고, 현장에서 시공된 PC 또는 RC 골조에 유니트를 끼워 넣는 시공방식이다. RC구조는 철골 기초 및 구조체 공사 후, 공장에서 제작한 모듈을 구조체에 삽입한다(한국건설기술연구원, 2015: 15).

PC구조는 PC모듈과 인필박스가 결합하는 구조로 철골 · 철근 콘크리트 구조에서 프리캐스트화된 보 · 슬래브와 모듈의 조합으로 보 또는 슬래브의 설치를 위한 가설작업이 불필요하게 되어 가설용 재료의 사용량을 감소시킨다. 또한 가설작업을 위한 노동력을 줄일 수 있고, 프리캐스트 콘크리트 보와 슬래브를 동시에 설치할 수 있어 공기를 단축할 수 있다(한국건설기술연구원, 2015: 15). 이 방식은 경량의 모듈러로 공장제작률과 재사용률은 최대 80%까지 가능하며, 재래식 공법 대비 공기단축은 50% 정도 가능한(한국건설기술연구원, 2020: 16) 모듈러 건축 방식이다.

www.kci.go.kr

인필형 공법은 유니트 모듈을 시공함에 따라 제품을 규격화할 수 있고, 품질을 확보할 수 있다. 또한 환경 변화에 따라 평면변경 등의 필요가 있을 시, 교체가 용이하며, 공장에서 규격화 · 표준화 작업을 통해 제작이 용이하다. 그러나 인필식은 구조부 주변의 데드 스페이스가 생기는 문제가 있고, 골조 공사로 시공성이 불리하며, 인필 조립이 불편하고, 패널라이징된 박스 모듈 벽체의 건식화로 기밀성이 저하되는 문제가 있다.

3) 이동 · 재사용 가능 방식

모듈러 건축물의 이동 및 재사용 가능 여부를 기준으로 하여 이동 및 재사용을 고려하지 않은 정주형(Permanent Modular Construction, PMC)과 해체 후 재사용을 고려하는 이동형(Relocatable Buildings, RB)으로 분류할 수 있다(한국건설기술연구원, 2020: 17). 국내의 경우, 정주형이 전체 모듈러 시장의 97%를 차지하며, 그 중 주거용 건축물이 60% 이상이다. 해외의 경우, 정주형은 55%, 이동 및 재사용이 가능한 모듈러 건축이 45%로 매우 균형적인 시장이 형성되어 있으며, 건축재료 다양화 및 용도 다변화를 통해 모듈러 건축사업 시장 확대 및 성장에 기여하고 있다(한국건설기술연구원, 2020: 16). 따라서 국내에서도 향후 이동 및 재사용이 가능한 모듈러의 개발이 필요하다.

(1) 정주형

정주형은 모듈러 유니트로 단층 또는 다층의 건축물을 구축하는 방식으로 공장제작 기술의 활용성이 높다. 현장건설 프로젝트에 비교해 적은 폐기물과 좋은 품질을 제공할 수 있고, MEP, 설비, 인테리어 시공기간이 단축된다. 공장제작률은 50~80% 정도이며, 대부분 중고층 형태의 주거용, 준주거, 비주거 건축물 등 다양한 용도로 적용되고 있다(한국건설기술연구원, 2020: 17).

(2) 이동형

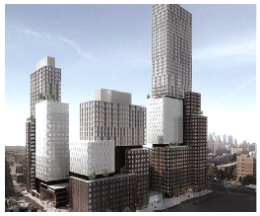
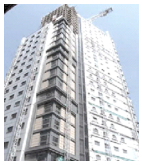
이동형 모듈러건축은 여러 번 재사용 하거나 용도를 변경할 수 있으며 다른 지역으로 운송하여 설치할 수 있도록 설계단계에서부터 계획된다. 공장제작률은 80~100% 정도로 학교, 건설현장 사무실, 의료 클리닉, 판매 센터 등 이동 및 재배치가 가능한 모든 분야에 활용이 가능하다. 이동형 모듈러건축은 빠른 운송, 재배치 용이성, 저렴한 재배치 비용, 공기단축 등의 면에서 큰 유연성을 제공한다(한국건설기술연구원, 2020: 17).

4) 구조재료의 종류

모듈러의 구조재료는 강재, 목재, 콘크리트, 섬유강화플라스틱(FRP) 등이 있다.

(1) 강재 모듈러

강재모듈러는 가장 널리 사용되는 건축재료로서 기둥-보 스틸프레임 방식과 경량강재 내력벽 방식이 널리 쓰이고 있다. 재래식 공법대비 경량화가 용이하다. 건물 용도는 주택, 오피스, 의료시설, 기숙사 등 학교 교육 시설 등 주거 및 비주거 시설에 널리 사용되고 있으며, 적용부위도 기둥, 보, 벽 패널, 바닥패널, 천장패널로 가장 광범위하다. 구미에서는 대부분 중고층 건축물에 적용되고 있다.

외관		
구조		
공법	기둥-보 스틸프레임방식 경량강재 내력벽 방식 건식 또는 콘크리트 바닥	기둥-보 스틸프레임방식 경량강재 내력벽 방식 건식바닥, 콘크리트 패널
적용부위	기둥, 보, 벽 패널, 바닥패널, 천장패널	기둥, 보, 벽
지역	Victoria Hall(25층, 영국) (한국건설기술연구원, 2015: 166-168)	Atlantic B2 Project(32층, 미국) (한국건설기술연구원, 2015: 71-72)

[그림 10] 강재모듈러 시공 사례

강재 모듈은 다른 재료보다 강도와 내구성 그리고 가공성이 유리하지만, 박스형의 강재 프레임이 하중을 지지하고 바닥, 천장, 벽체 등은 단순한 내외장재로만 사용되므로, 하중을 지지하기 위한 강재 사용량이 증가하고 이중골조로 비경제적이다. 또한 국내에서는 내화피복 추가시공 등으로 제작비용이 외국대비 고가이고, 층간소음 주거환경 기준을 충족하기 위한 콘크리트 바닥구조 사용시, 자중이 큰 편에 속한다(한국건설기술연구원, 2021b: 126). 최근 강재가격의 상승으로 원가 상승 요인도 크다.

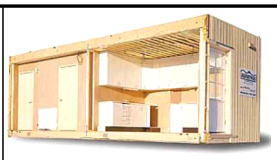
성능면에서도 문제가 지적되고 있는데, 구조체 프레임과 내부마감의 결합으로 개별적인 해체와 수선이 불가능하고, 재사용이 불가능하다. 또한 강재 모듈의 경량화로 진동 발생 및 소음에 대한 차음성능이 부족하고, 습식 공법보다는 기밀성이 취약하며, 단열성능은 강재 기반의 건식패널공법으로 외벽을 구성하다 보니 열교억제 기술이 필요하다(한국건설기술연구원, 2021a).

(2) 목재 모듈러

목재 모듈러의 구조 방식은 벽식 구조시스템 위주의 저층 모듈러 건축물에 국한하여 활발히 사용되고 있고, 최근 집성목(Cross Laminated Timber) 등의 공학용 목재를 활용한 시공 사례가 점차 확대되고 있다. 목골조 방식, 목조 내력벽 방식이 주를 이루고, 일본에서는 목조와 철골을 조합한 하이브리드 구조 시스템 적용사례도 있다. 바닥구조는 구미의 경우, 건식바닥을

www.kci.go.kr

사용하고 있으며, 국내에서도 층간소음 규정을 받지 않는 용도에 건식바닥으로 사용이 제한되고 있다. 유럽에서는 최근 14층으로 시공되었으나 아시아와 북미에서는 1~4층 저층 단독주택에 사용되고, 주로 기둥과 벽체, 내벽 및 외벽, 바닥 및 천장, 지붕에 사용되고 있다(한국건설기술연구원, 2021b: 126). 목재는 가공성이 좋고, 가공비용이 저렴하며, 열전도성이 낮고, CO2저감과 친화경 소재의 장점이 있으나, 저층용으로 많이 사용하고, 내화와 방습, 그리고 구조적인 취약성을 갖고 있다(한국건설기술연구원, 2020: 18).

사진		
공법	목골조 방식 목조 내력벽 방식	목조 내력벽 방식
적용 부위	내벽, 외벽, 바닥, 천장,	내벽, 외벽, 바닥, 천장, 지붕
지역	유럽	미국

[그림 11] 목재 모듈러 시공 사례

(3) PC(Precast Concrete) 모듈러

PC 모듈러는 강재와 더불어 가장 널리 사용되는 재료로서 고강도, 내구성, 내화 및 진동성능 등이 유리하여(한국건설기술연구원, 2020: 19). 저렴한 생산비용으로 경제성이 좋다. 싱가폴이나 영국 등에서는 강재에 비해 비교적 가격이 저렴한 콘크리트로 벽식구조의 박스형 모듈을 구성하여 경제성을 확보한다. 그러나 벽식 콘크리트 모듈은 하중이 과다하고, 접합부의 일체성 확보에 어려운 점이 있으며(한국건설기술연구원, 2020: 19), PC 벽면으로 인하여 공간이 획일화/규격화되어 다양한 공간수요에 대응이 미흡하다.

사진		
공법	PPVC(PC 모듈러)방식	콘크리트 내력벽 구조
적용 부위	내력벽 및 바닥과 천정	벽(내벽, 외벽), 바닥, 보, 지붕
지역	싱가포르	유럽, 미국

[그림 12] PC 모듈러 시공 사례

모듈러는 보통 철근콘크리트 코어와 하부구조에 모듈러 유닛을 결합하여 건축물을 완성하는 형태를 취하기 때문에 공기단축의 효과가 급감하게 되므로 공사기간 단축효과를 극대화하기 위해서는 건식공법 하부구조와 코어의 개발이 필요하다(설욱제, 2022: 36).

이상과 같은 모듈러건축의 구조특성을 종합하면, 다음과 같은 시사점을 얻을 수 있다.

① 강재모듈러는 프레임과 내외장 마감재를 현장에서 조립, 설치해야 하므로 공기단축에 한계가 있어 공사비가 증가하고, 강재가 비교적 고가이며, 모듈 결합시 각 모듈의 중복되는 이중골조로 경제성이 저하된다. 또한 구조체와 인필이 결합되어 개별적인 교체와 수선이 불가능한 문제가 있고, 강재골조에 건식벽체를 적용함에 따라 내화성능이 저하되며, 골조 및 접합부의 연속성 확보가 곤란하여 소음 및 진동 저항 성능이 저하된다.

② PC모듈러의 경우는 고강도, 내구성, 내화 및 진동성능 등이 유리하여 저렴한 생산비용으로 경제성이 좋다. 그러나 구조체가 벽식이면, 공간이 획일화되어 병동의 다양한 기능을 수용하는데, 제한이 있고 자중이 무거운 단점이 있다.

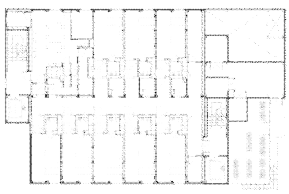
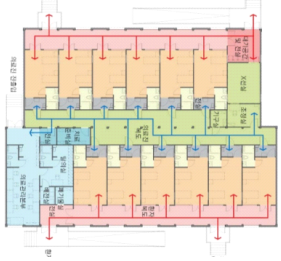
③ 따라서 음압병동 모듈러 개발에는 신속하고 경제적으로 공급할 수 있고, 내화성능이 뛰어나며, 소음과 진동 억제 성능이 우수한 PC모듈러를 기반으로 개발하되, 용도 전용이 용이하고, 하부구조와 코어의 건식공법으로 벽식에서 라멘구조로 대규모 공간을 확보하여 다양한 인필박스를 적용할 수 있는 개선된 공법의 활용과 개발이 필요하다.

3.3 모듈러 음압병동 평면구성

1) 평면구성 사례

(1) 국립중앙의료원 증증환자 긴급치료병상

지상 3층 규모의 총 30개 음압병상을 갖추고 있으며, 1, 2층은 음압격리실 및 지원시설, 3층은 교육훈련 및 사무공간이 배치되어있다. 병동유형은 혼합복도형으로 중앙의 복도를 환자와 PPE를 착용한 의료진이 같이 사용한다.

	
국립중앙의료원 중증치료 긴급치료병상 (한국건설기술연구원, 2021b: 166)	서울대 문경 모듈러 음압생활치료센터 (코오롱, 2020)

[그림 13] 국내 모듈러 음압병동의 평면 사례

www.kci.go.kr

(2) 서울대 문경 모듈러 음압생활치료센터

단층형의 총 24병상(2인 1실 12병실)의 모듈러 음압병동으로 검사실, 사무실을 포함해 단위모듈 15개로 구성되었다. 모듈은 중국 후난성에 소재한 브로드사의 공장에서 제작되어 부산항을 거쳐 문경으로 운송되었다. 현재는 단층이지만 필요시 8층까지 건립이 가능하다. 경증 음압병동이지만, 중증 음압병동의 특징인 복도분리형으로 설치되었다. 중앙복도는 의료진 복도이며, 병실 측면의 복도는 환자복도로 분리되어 혼합복도형에 비해 감염차단이 명확하고, 의료진의 환자관찰이 용이하다.

(3) 우한 레이센산 병원(중국)

연면적 79,900㎡, 2층구조로 1,600병상의 일반병동과 중환자 병동으로 구성되어 있다. 병동유형은 복도분리형으로 중국산 모듈을 수입해 조립한 서울대 문경 모듈러 음압생활치료센터와 같은 유형이다. 배치는 상하 플랫폼 병렬형으로 크게 세 개 파트로 구성되어있다. 모듈1은 병실영역, 모듈2는 간호지원영역, 모듈3은 휴게 및 지원영역으로 병동블록 사이에 위치하여 여러 병동이 공유하도록 구성되어 있다(Ling-Kun Chen, et al., 2021: 1-11). 병실모듈은 2인실 사이에 공용 전실을 배치한 형태로 병실이 복도에 면하여 관찰이 용이한 형이다.

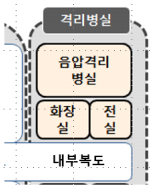
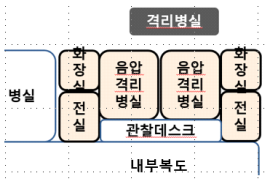
[그림 14] 우한 레이센산 병원의 평면구성

2) 모듈러 음압병상 평면계획 방향

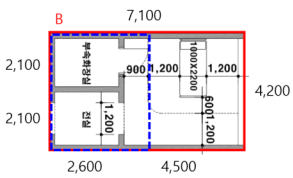
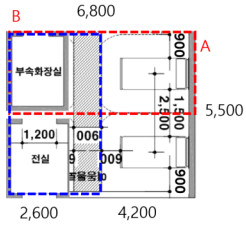
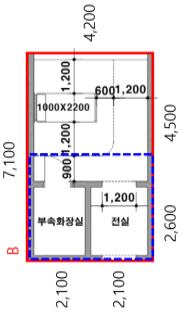
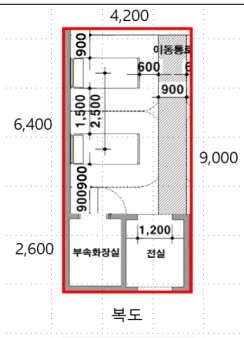
감염병동의 평면유형은 보통 일반병동의 혼합복도형과 중증인 중환자실의 복도분리형이 주로 채택되는데, 모듈러 음압병동 사례에서는 경증 음압병동에서도 복도분리형이 사용되고 있어, 음압병동 모듈러의 평면유형은 기본적으로 두가지 방식을 모두 수용할 수 있는 융통성을 갖도록 계획해야 한다.

(1) 병실모듈

병실모듈의 유형은 복도와 병실사이의 전실과 화장실의 위치에 따라 병실전면형과 병실측면형으로 구분되며, 병실전면형은 병동의 깊이가 깊은 대신 병동 전체 좌우 길이가 짧아지고, 병실측면형은 병동 깊이가 얕은 대신 병동 길이가 길어져 부지 상황에 따라 선택이 가능한데, 환자의 관찰성 면에서 병실측면형이 복도에서 병실내부를 바로 볼 수 있으므로 유리하다. 앞의 모듈러 음압병동 평면사례에서 국립중앙의료원 증증환자 긴급치료병상과 서울대 문경 모듈러 음압생활치료센터는 병실전면형이고, 우한 레이센산 병원은 병실 측면형이다.

병실 전면형	병실 측면형
	
- 병실 전면에 전실과 화장실을 설치하여 복도에서 병상의 직접적인 관찰 어려움 - 병실 모듈의 깊이가 깊은 경우 계획할 수 있으며, 외벽면적에 비하여 상대적으로 많은 병실 설치 가능	- 병실 측면에 전실과 화장실을 설치해 복도에서 병상 관찰이 용이하고, 서브 스테이션 설치 가능 - 화장실과 전실이 측면으로 설치되어 외벽에 접하는 병실의 폭이 전면형보다 넓음
병실(화장실 포함)깊이 : 6,000㎜ 이상	병실깊이 : 5,000㎜ 이상

[그림 15] 병실유형의 특성

1인실	2인실
	
1인실 7,100*4,200= 29.82㎡	2인실 6,800*5,500= 37.4㎡
병실측면형	
	
1인실 7,100*4,200= 29.82㎡	9,000*4,200= 37.8㎡
병실전면형	

[그림 16] 유효치수를 고려한 병실크기

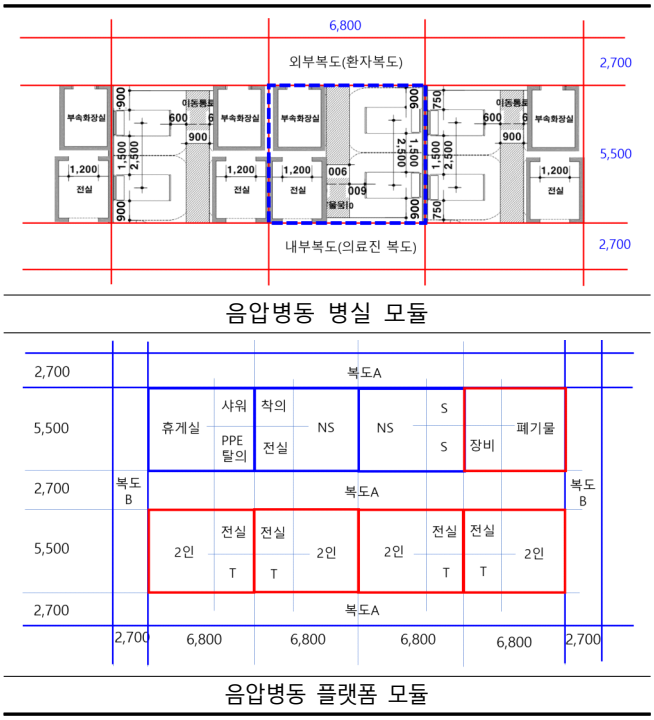
www.kci.go.kr

이와 같은 병실유형에 따라 1, 2인 병실의 유효치수를 고려한 병실모듈을 고려하면 1인실은 병실 측면형의 경우, 전실의 진입방향 내벽 유효치수 2.4m가 나오지 않으며, 2인실의 경우 병실전면형은 깊이가 깊어 환자관찰이 어렵고, 면적도 화장실 문의 개폐 문제로 병실측면형보다 커진다. 이런 문제로 1인실은 병실전면형, 2인실은 병실측면형이 바람직한데, 병실의 효율적인 사용을 고려하면, 우한 레이센산 병원과 같이 1, 2인실 간의 전용이 언제든지 가능한 2인병실을 기본적으로 설치하는 것이 바람직하다. 또한 병실측면형 2인병실의 부속화장실을 전실 모듈로 바꾸면, 후면복도에서 진입하는 환자전실로 사용할 수 있어, 환자 중등도에 따른 병실모듈의 융통성까지 갖추게 된다. 이 경우, 병실모듈의 도로운송은 X, Y축 어떤 방향으로 분절해도 3.5m이하가 되어 충족된다.

(2) 모듈러 음압병동의 모듈구성

2인병실 병실측면형을 고려한 병실모듈을 고려하면, 폭 6,800, 깊이 5,500의 모듈이며, 복도는 자동문의 개폐를 고려해 2,700으로 설정한다. 여기에 병실 4실(8병상) 열과 간호존의 열을 복도를 접하여 배열하면, 병동플랫폼의 기본 모듈이 구성된다. 이와같은 병동플랫폼은 모듈러 음압병동의 혼합복도형과 복도분리형을 모두 수용할 수 있고, X, Y축으로 반복되는 복도(평면유형에 따라 선택적인 일반 및 음압동선)를 따라 병동의 무한 증식이 가능해진다.

이 병동플랫폼에 모든 모듈을 인필식으로 설치할 수 있고, 표준화가 용이한 병실모듈은 인필식, 간호 및 휴게시설 블록은 패널라이징방식을 혼용할 수도 있을 것이다.



[그림 17] 음압병동의 모듈 구성(안)

4. 결론

본 연구는 모듈러 음압병동의 구조 및 인필 방식, MEP시스템, 그리고 평면의 개발방향 등 병동 모듈러건축의 기본계획 방향을 제시하기 위하여 이동형 병원의 구성 시스템에 관한 문헌분석과 함께 국내외 이동형 건축시스템의 운용 효과성에 관한 사례를 분석하였다.

1) 모듈러 공법의 전반적인 기술 플랫폼 기반의 모듈방식은 박스모듈이 가장 신속하게 공급할 수 있는 공법이다.

2) 박스공법에는 적층식과 인필식이 있다.

3) 모듈러건축의 모듈구성방식을 분석한 결과, 철골강재의 적층식은 내화성능, 경제성, 진동에 취약하고, 재사용율이 떨어지는 문제점이 있으며, 인필식은 구조부 하부에 데드 스페이스가 생기고, 골조 공사로 시공성이 불리하며, 박스모듈의 기밀성능이 취약한 단점이 있다. PC모듈러의 경우, 벽식 PC모듈은 모듈크기의 협소와 제한(도로운송), 과다한 하중 등의 문제가 있어 개선이 필요하다.

4) 음압병동 모듈러의 평면유형 사례를 분석한 결과, 병동 플랫폼설계에서 혼합복도형과 복도분리형을 모두 수용할 수 있는 융통성을 갖도록 계획해야 자유로운 평면구성이 가능하다.

5) 이러한 기존방식 모듈러의 문제점을 통해 도출된 음압병동 모듈러 계획에 대한 시사점과 계획방향은 다음과 같다.

① 음압병동 모듈러는 병동의 중등도에 따른 다양한 공간요구에 부응할 수 있도록 기존의 규격화/획일화된 모듈러에서 자유로운 평면계획이 가능하도록 개선된 플랫폼을 설계해야 한다. 병실의 기능성을 확보하면서 다양한 지원공간을 모듈화해야 한다.

② 이러한 자유성을 위해 건식 PC라멘구조로 대규모 공간을 확보하여 다양한 인필박스를 적용할 수 있어야 한다.

④ 라멘구조 하부의 Dead Space는 MEP의 설치 영역으로 적극 활용한다.

⑤ 구조체와 인필의 분리를 구분하여 부분적인 분리, 해체, 수선이 가능해야 한다.

⑥ 인필박스를 현행 도로교통법 최대 도로폭 3.5m를 만족시켜야 한다.

⑦ 모듈은 인필식과 필요에 따라 패널라이징방식을 혼용할 수 있을 것이다.

향후 본 연구의 개발방향에 따라 모듈러 음압병동 표준설계도와 함께 구조, MEP시스템 등을 개발하고, 실증병원에 목업을 설치하여 운영해 봄으로서 개발된 모듈러의 시공성, 경제성, 성능 등을 평가하고 개선하는 후속연구가 이루어질 예정이다.

사사: 본 연구는 보건복지부의 재원으로 한국보건산업진흥원의 보건의료기술연구개발사업 지원에 의하여 이루어진 것임 (과제고유번호 : HG22C0044)

www.kci.go.kr

참고문헌

경상대학교, 2020, "재난대비 공공의료용 모듈러 공간 건설기술 개발사업"

국립중앙의료원, 2020, "코로나19 중증환자 치료전문 중앙감염병병원 음압격리병동 준공 보도자료"

대구경북첨단의료산업진흥재단, 2018, "국가 재난의료시스템 및 공공의료 활성화를 위한 차세대 한국형 이동형병원 구축전략"

서울주택도시공사 도시연구원, 2019, "도시 속 새로운 집, 모듈러 - 새로운 주택의 미래로 실현되다"

설욱제, 2022, "국내 모듈러 건축의 현황 및 향후 전망", KACEM news 221권, PP.34-37.

응급의학연구재단, 2016, "국내 이동형병원 도입 및 효율적 운영방안 연구"

조현철, 강창희, 김태정, 박영석, 2021, "OSC공법을 사용한 음압병동 급속시공 건설사업관리(CM) 사례"

청년의사, 2021, "이동형 음압병동으로 만든 경기도 특별생활치료센터", https://www.docdocdoc.co.kr/news/articleView.html?idxno=201436

코오롱, 2020, "모듈형 음압병실로 포스트 코로나 시대 건축의 대안을 제시하다", C3KOREA

한국건설기술연구원, 2021a, "모듈러 실증단지 POE를 통한 성능 경제성 향상방안 연구 최종보고서"

한국건설기술연구원, 2021b, "재난즉시 대응 모듈러시스템 개발 및 공급·운영체계 구축 최종보고서"

한국건설기술연구원, 2020, "똑똑하고 빠르게, 지속가능한 모듈러건축", 건설경제, PP12-19.

한국건설기술연구원, 2019, "수요자 맞춤형 조립식 주택 기술개발 및 실증단지 최종보고서"

한국건설기술연구원, 2015, "모듈러주택해외사례집"

Bin, Cheng; Ruofei, Shi; Dingyuan, Du; Ping, Hu; Jun, Feng; Guangbin, Huang; Anning, Cai; Wei, Yin; Ronggang, Yang, 2015, "Mobile emergency (surgical) hospital: Development and application in medical relief of "4.20" Lushan earthquake in Sichuan Province, China", Chinese Journal of Traumatology 18 PP.5-9.

Ling-Kun, Chen; Rui-Peng, Yuan; Xing-Jun, Ji; Xing-Yu, Lu; Jiang, Xiao; Jun-Bo, Tao; Xin, Kang; Xin, Li; Zhen-Hua, He; Shu, Quan; Li-Zhong, Jiang, 2021, "Modular composite building in urgent emergency engineering projects: A case study of accelerated design and construction of Wuhan Thunder God Mountain/ Leishenshan hospital to COVID-19 pandemic", Automation in Construction 124, PP.1-11.

https://atriumhealth.org/medical-services/specialty-care/other-specialty-care-services/trauma-care/atrium-health-med1

https://blu-med.com/deployable-field-hospitals/

https://designmuseum.org/exhibitions/beazley-designs-of-the-year/architecture/leishenshan-hospital

http://www.ecns.cn/hd/2020-02-08/detail-ifztmcih6514134.shtml

https://gaurian.com/kr/promotion/news.php?idx=224&bgu=view

https://www.capetownetc.com/news/china-builds-second-hospital-in-10-days/

https://www.ctvnews.ca/health/built-in-10-days-china-s-virus-hospital-takes–1st-patients-1.4794740

https://www.e-gen.or.kr/egen/boardimage_view.do?brdctsno=8002

https://www.healthcaredesign.com/mobile-acute-care

https://www.macaubusiness.com/china-builds-more-sars-treatment-model-hospitals-to-fight-epidemic/construction-workers-huoshenshan-hospital-wuhan-china-xinhua-coronavirus/

https://www.ncdhhs.gov/news/press-releases/north-carolina-based-mobile-disaster-hospital-deploying-storm–ravaged

접수 : 2022년 07월 18일
1차 심사완료 : 2022년 08월 08일
게재확정일자 : 2022년 08월 22일
3인 익명 심사 필

www.kci.go.kr