

제조·조립을 위한 설계(DfMA) 기반 건축 활성화 방안 연구

A Study on Design for Manufacture and Assembly(DfMA)-based
Construction Development Measures

김은희 Kim, Eunhee

김상호 Kim, Sangho

방홍순 Bang, Hongsoon

(a u r i

기본연구보고서 2023-4

제조조립을 위한 설계(DfMA) 기반 건축 활성화 방안 연구

A Study on Design for Manufacture and Assembly(DfMA)-based Construction Development measures

지은이	김은희, 김상호, 방홍순
펴낸곳	건축공간연구원
출판등록	제2015-41호 (등록일 '08. 02. 18.)
인쇄	2023년 10월 27일, 발행: 2023년 10월 30일
주소	세종특별자치시 가림로 143, 8층
전화	044-417-9600
팩스	044-417-9608

<http://www.auri.re.kr>

가격: 25,000원, ISBN: 979-11-5659-421-5

이 연구보고서의 내용은 건축공간연구원의
자체 연구물로서 정부의 정책이나 견해와 다를 수 있습니다.

연구진

연구책임	김은희 연구위원
연구진	김상호 선임연구위원 방홍순 연구원
외부연구진	김혜련 오드팩토리 대표
연구보조원	김주희 조사원 이소연 조사원

연구심의위원	염철호 부원장 김영현 연구위원 조영진 연구위원 박금성 한국건설기술연구원 선임연구위원 이지은 LH토지주택연구원 수석연구원
연구자문위원	강태웅 단국대학교 건축학과 교수 고광호 포스코 A&C 팀장 김정인 홍콩시립대학교 건축토목공학과 교수 김주희 예아 건축사사무소 소장 안설주 ㈜모듈러하우스 대표 유일한 대한건설정책연구원 선임연구위원 이관옥 싱가포르 국립대학교 교수 이상섭 한국건설기술연구원 연구위원 이영주 스마트하우스 대표 이용성 방주하우징 대표 이윤수 간삼생활디자인 대표 천상현 스틸라이트 대표 한영식 ㈜큐브디앤디 대표

1. 연구개요

2021년 고용노동부에서 발표한 정책자료에 따르면 우리나라 전체 산업재해 중 건설업의 재해비율(26.6%), 사망자 비율(51.9%)이 가장 높고, 건설폐기물 비율(44.5%)도 가장 높으며 에너지 소비량은 전체 산업의 2.5배를 차지하는 것으로 확인된다. 또한, 노동집약도가 높은 산업특성으로 인해 저가저기술 노동인력 고용이 확대되고 있으며, 결과적으로 건축 생산성과 건축 성능 및 품질을 담보하기 어려운 실정이다. 특히 최근에는 건축물 용도 및 형태가 복합 복잡해지면서, 정확한 도서의 작성과 균질한 시공의 중요성이 강조되지만 현재의 건축분야 산업 문제는 구조화되어 반복되고 있으며 그에 따른 갈등 비용도 증가한다.

이러한 문제 해결을 위해 해외 주요국에서는 제조조립을 위한 설계(DfMA: Design for Manufacture and Assembly) 기반 건축을 적극 활용하고 있다. 이는 설계단계에서 후속공정인 제작 및 조립에 대한 정보를 포함함으로써 제품을 구성하는 부품들의 제작과 조립 효율성을 높이는 방식이다. 국내에서도 OSC, 모듈러건축에 대한 관심이 증가하고 있고 정부도 스마트 기술을 접목한 건설자동화를 위해 ‘스마트 건설기술 로드맵’을 수립하여 추진하고 있으나 아직까지 스마트기술을 도입한 설계나, 제조업, 운수업 등 공장생산 및 현장조립에 관계되는 다양한 산업을 설계단계에 함께 고려한 생산체제와 역할주체, 발주제도, 건축기준 등 제도적 기반은 미흡한 실정이다.

본 연구는 건축산업이 당면한 문제에 대응할 수 있는 현실적 수단으로서 제조조립을 위한 설계 기반 건축의 활성화 방안으로서 현행 제도의 확충, 정책적 지원 방안을 제안하였다. 이를 위해 먼저 현장 중심의 기존 공법과 차별되는 개념과 특성을 공유하고 건축적 의미를 분석하였다. 이어 국내에 지어진 제조조립 기반 건축과 유사한 건축물 사례를 분석함으로써 그 성과와 문제점, 한계를 짚어보고 해외 유관 정책제도 운영 사례도 함께 살펴 우리 여건에 상응하는 대안을 제안하였다.

2. 정책제언

본 연구에서 제안하는 DfMA 기반 건축 활성화 방안은 크게 여섯 가지로 종합할 수 있다.

첫째, 전문제조업체 육성 및 지역별 거점 제조시설 건립을 지원해야 한다.

DfMA 기반 건축은 제조업이 병행되는 건축방식으로, 설계 및 제조, 시공이 가능한 역량 있는 전문업체 육성이 우선되어야 한다. 또한 건축부재(제품)를 안정적으로 생산, 공급할 수 있는 자동화된 제조시설을 확보해야 하며 제품성능 테스트, 제조 후 운송의 이동이 용이한 충분한 작업·적재공간도 갖추어야 한다. 이러한 제조공장은 시장 물량에 따른 지역별 거점시설로 조성할 필요가 있다. 이 경우 공장건립을 위한 부지임대 또는 공사 및 운영을 위한 용자 등 정부차원의 정책지원이 필요하다. 이를 위한 제도적 근거로 「건설산업기본법」을 통한 전문건설공사업 ‘(가칭)제조조립 공사업’ 신설하고 산업표준(한국표준산업분류)에도 반영하며 「지역중소기업 육성 및 혁신촉진 등에 관한 법률 시행령」에 관련 산업 육성 지원 규정을 마련해야 한다.

둘째, 공공의 BIM 활용 가이드 개발과 공유데이터 구축을 통한 시장확대 노력이 필요하다.

국내 건축산업 BIM 활용여건을 고려할 때 정부주도의 선제적인 BIM 활용·확대 전략이 필요하다. 해외 주요국의 DfMA 기반 건축 시장이 성장할 수 있었던 원동력은 국가차원이 정책 지원과 무관하지 않다. 이를 위해 DfMA 기반 건축을 고려한 BIM 표준모델(프레임워크, 라이브러리)과 BIM기본지침 확충이 요구된다. 현재 국토교통부가 발간 배포하고 있는 ‘BIM기본지침’을 토대로 DfMA 기반 건축 방법론에 상응하는 정보를 보완하고 배포함으로써 더 많은 수요자의 활용과 인식개선을 도모해야 한다. 또한 BIM설계도서 의무 제출을 요구하는 공공발주사업에 적용 가능한 BIM라이브러리 개발도 필요하다. 이때 글로벌 협업이 가능한 데이터 축적 및 공유 전략을 마련하고 서비스함으로써 향후 민간건축에 적용·확산 및 시장 확대를 선도해야 한다.

셋째, DfMA 기반 공공건축사업 발주를 확대하고 사업과정 및 결과 데이터를 축적하며 이를 활용한 기술개발 및 민간산업의 활용·확산에 기여해야 한다.

DfMA 기반 건축은 다양한 사업추진 경험과 그에 따른 결과 분석, 기술 노하우 축적이 요구된다. 이를 위해 공공사업물량이 충분한 공공기관(한국토지주택공사 등) 주도로 일정 비율의 물량을 DfMA 기반 건축 사업으로 추진함으로써 국내 건축산업 및 환경, 문화적 특성에 부합하는 차별적인 사업모델을 개발할 필요가 있다. 그 과정에서 DfMA에 관한 데이터를 추가 생산하고 축적하며 이를 활용한 새로운 기술 개발 및 산업적 활용이 가능하다. 해외 사례에서도 확인된 것처럼 디지털혁신기술이 요구되는 산업의 경우 민간시장의 자생적 성장을 기대하

기에 앞서 공공의 선제적 지원이 선행되었다는 점을 참고할 때, DfMA 기반 건축기반이 취약한 국내에서도 다양한 공공사업모델 개발 및 체계적인 데이터 구축과 활용 확대 방안 모색이 필요하다.

넷째, 건축물 용도 및 규모에 따른 디자인빌드(Design Build) 사업모델을 도입해야 한다.

설계와 시공 분리 발주를 원칙으로하는 국내 공공발주사업의 경우 최근 스마트건설기술 적용 시 턴키발주가 가능하도록 관련 기준(「대형공사 등의 입찰방법 심의기준」)을 개정함으로써 DfMA 방식의 건설사업 추진 여건이 마련되었다. 다만, 이는 대규모 공사에 제한적으로 적용가능하다는 점에서 산업활성화 전략으로 한계가 있다. 이에 사업 종류(건축물 용도나 규모 등)에 따라 '설계 주도 통합발주', '시공 중심의 통합발주'가 가능한 '디자인빌드방식(Design-Build)' 방식을 개발을 제안했다. 우선적으로는 「건설산업기본법」에 근거한 건축주 직영공사에 한해 디자인빌드방식을 적용하며, 점진적인 사업확산 및 효과 검증을 거쳐 중·대규모 공사로 확대할 수 있을 것으로 기대한다.

다섯째, 건축기준 특례를 마련함으로써 DfMA 기반 민간건축사업 추진 동력을 마련해야 한다.

공공주도로 DfMA 기반 건축이 본격 시행되고 있는 홍콩과 싱가포르에서는 민간시장으로의 확대를 위해 이를 적용한 사업에 대해 용적률 10%의 인센티브를 제공하고 있다. 이러한 정책은 건물 임대료가 높은 홍콩과 싱가포르에서 민간건축 사업으로의 확장성을 높일 수 있는 유용한 수단으로 평가되고 있다. 국내에서도 특정지역, 특수용도의 건축물(예를 들어 서울 역세권, 분양오피스텔)에 한해 용적률 10%를 상향할 수 있는 특례가 주어진다면 일반 공법에 우선하여 DfMA 기반 건축을 선택할 가능성이 크다. 이에 「건축법」 제5조 및 동법시행령 제6조에 DfMA 기반 건축을 포함시켜 용적률 뿐 아니라 용적률과 연동되는 건폐율, 높이제한, 대지안의 공지기준을 완화받을 수 있도록 법령 개정안을 제시하였다. 이어 더불어 일반 형식의 건축물과 차별화된 건축기준을 적용할 수 있도록 「특수구조건축물 대상기준」 제1호에 DfMA 기반 건축을 추가하였다.

여섯째, 인식개선을 위한 다양한 형태의 정보를 제공해야 한다.

국내에서 마주치는 DfMA 기반 건축물은 대체로 공사현장 가설사무소, 창고 및 공장, 일반 건축물 부속관리동 등이다. 이에 DfMA 기반 건축물은 그 자체로 독립성을 갖는 완성된 건축물이라기보다 특정 시설에 달린 부속용도, 단순한 형태의 가건물이라는 부정적 인식도 형성되어 있다. 이러한 인식은 일반 사용자 뿐 아니라 건축산업 종사자 또한 다르지 않다. 따라서 혁신기술이 접목된 DfMA 기반 건축 효과를 이해하고 선택의 폭을 넓히기 위해 정확한 정보를 제공할 필요가 있다. 산업종사자나 사업발주자에게는 건축 방법 및 절차, 기술 등 전문지식을

일반 사용자의 경우 사업효과와 가치를 이해할 수 있는 다양한 사업사례소개자료 등을 제공해야 한다.

특히 DfMA 기반 건축 여건이 미흡한 국내 상황을 고려하여 DfMA가이드 제작·배포, 어워즈 운영(우수프로젝트 및 기관 포상), 건축 사례집 제작 및 배포 등 누구나 쉽게 인지할 수 있는 형태의 정보를 생산하고 홍보해야한다. 영국 RIBA에서 제공하는 ‘업무단계별 DfMA 적용 전략(DfMA Overlay to the RIBA Plan of Work)’, 싱가포르 BCA의 PC, PPVC, PBU, MET, MEP 등 DfMA를 구성하는 각각의 기술 가이드, 홍콩의 DfMA 채택을 촉진하기 위한 기계, 전기 및 배관(MEP) 작업 실무 정보제공 가이드라인, 미국 AIA 및 민간단체의 DfMA 안내서 등 다양한 가이드라인이 참고대상이 될 수 있다.

[표 5-3] DfMA 기반 건축 활성화 방안

쟁점 및 대응 방향	정책목표	정책실행방안	제도개선안
① 제조업으로서 건축 → 표준설계 및 거점 제조공장 확보	1. 전문제조업체 육성 2. 거점 제조공장 건립지원	1. 전문공사업 신설 ‘(가칭)제조조립공사업’ 2. 지역거점 제조공장 건립 지원	1. 「건설산업기본법 시행령」 별표1 개정 2. 한국표준산업분류 개정 4. 「지역중소기업 육성 및 혁신 촉진 등에 관한 법률 시행령」 12조 개정
② 스마트기술의 결합 → BIM 활용 확대 방안	1. 공공주도의 BIM 활용 확대 기반 마련 2. 데이터 축적을 위한 공공 발주사업 확대	1. BIM 표준모델(프레임워크, 라이브러리) 개발 2. DfMA용 BIM지침개발 1. 공공분야 DfMA 기반 건축 기술개발 (Level에 따른 기술 고도화) 2. 공공분야 DfMA 기반 건축 사업 실증사업 확대 및 데이터 축적	-
③ 동시 협업형 건축 → 설계-시공 통합모델 개발	1. 공공주도의 설계-시공 협업 사업모델 개발 2. DfMA 기반 건축 특례 마련	1. 설계-시공통합발주모델 개발 2. 건축주직영공사 디자인빌드 방식 도입 1. 건축기준(용적률 등) 완화	1. 「건설산업기본법」 제41조 개정 1. 「건축법」 제5조, 「건축법 시행령」 제6조 개정 2. 특수구조 건축물 대상기준 개정
③ 기술개발이 필요한 건축 → 공공의 선제적 투자	1. DfMA 기반 건축 인식 개선을 정보 제공	1. 산업종사자 및 발주자 가이드 라인개발 2. DfMA 기반 우수 건축물 수상전 운영 3. DfMA 기반 건축물 사례집 제작 홍보	-

출처: 연구진작성

3. 향후과제

본 연구에서 제시한 DfMA 기반 건축 활성화 방안은 국내 건축산업이 당면한 현실이나 국내외적 산업정세를 고려할 때 모두 시급하게 추진되어야 할 과제다. 다만 DfMA에 관한 우리 건축산업의 기술수준, 시장 수요 등을 객관적 입체적으로 파악하고 정책적 수요나 필요성도 종합적으로 살펴 단계별로 점진적인 확산을 도모할 필요가 있다. 즉 가장 우선적으로 시급하게 고려되어야 할 정책과제를 정하고 누가 어떤 역할을 할지 중장기 실행전략을 마련해야 한다.

이중 단기에 비교적 용이하게 추진할 수 있는 정책과제로는 DfMA 기반 건축 가이드라인 개발이라 할 수 있다. 영국, 홍콩, 싱가포르, 미국 등 DfMA 기반 건축을 적극 추진 중인 국가의 가이드라인을 분석·참고하고, 국내 「건축법」 및 유관 법률에 따른 건축물 조성프로세스에 부합하는 공정별, 분야별 가이드라인을 개발해야 한다. DfMA 기반 건축사업의 발주 및 실행 방법, 관계자 협력네트워크 구성 등의 운영방안과 각종 기술솔루션 등 사용자별 콘텐츠 기획 및 시범제작을 우선적으로 시행할 필요가 있다.

이와 더불어 DfMA 기반 건축 BIM 라이브러리를 개발도 필요하다. BIM 활용이 저조한 원인에 대응하여, 정부주도의 데이터 공급수단으로서 BIM 라이브러리를 개발하는 것이다. 따라서 국제시장에서 통용되는 BIM 표준데이터를 수집 분석하고 체계화할 필요가 있으며 특히 설계단계 업무비중이 높은 DfMA 기반 건축 설계요소 개발과 공공-민간건축시장의 상호 활용방안도 연구해야 한다. 나아가 DfMA 기반 건축사업 협업을 위한 국제 BIM 데이터 공유방안도 함께 모색해야 한다.

한편, 연구에서 제시한 과제와 더불어 DfMA 기반 건축의 제도적 활용도를 높이기 위해서는 시공성 및 생산성 평가제도를 개발해야 한다. 싱가포르 제도운영 사례에 따르면 건축물 용도 및 연면적 규모별 건축 허가에 앞서 사용자가 자체적으로 해당 건축물의 시공성을 평가하는데, 이때 DfMA를 평가항목에 포함시켜 제조 및 조립 비율을 높일 수 있도록 유도하고 있는데 국내에도 이러한 제도를 도입한다면 점수 등급별 건축기준 완화 범위를 차별화하거나 공공 공사 입찰가점 등에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

주제어

제조, 조립, DfMA, 설계, 시공, 생산성, 비용

제1장 서론

1. 연구의 필요성 및 목적	1
1) 연구의 필요성	1
2) 연구의 목적	6
2. 연구의 범위 및 방법	7
1) 연구의 범위	7
2) 연구의 방법	7
3. 선행연구와의 차별성	9

제2장 DfMA 기반 건축의 특성과 의의

1. DfMA의 개념과 특징	11
1) DfMA의 개념	11
2) DfMA 단계별 주안점	14
3) 솔루션 및 소프트웨어로서 DfMA	17
2. DfMA의 건축 분야 활용	19
1) 활용 목적 및 기대효과	21
2) 건축분야 DfMA 활용 방향	28
3) DfMA 관련 건축의 종류	25
3. 소결	29

제3장 국내 DfMA 기반 건축 현황 및 한계

1. DfMA 기반 건축 관련 법제도 운영 현황	31
1) BIM 관련 기준	31
2) 건축 성능 기준	35
3) DfMA 기반 건축 관련 건축물 인정에 관한 기준	40
4) 발주 관련 기준	44
5) 운송 관련 기준	47
2. DfMA 기반 건축 관련 정책 추진 현황	49
1) DfMA 기반 건축물의 기술개발과 보급 확산 정책	49
2) 스마트건설 활성화 방안 S-Construction 2030	51

3. DfMA 기반 건축 관련 산업 현황	52
1) 국내 DfMA 기반 건축산업의 형성과 전개	52
2) 모듈러건축 산업의 시장 전망	56
4. DfMA 기반 건축 실태조사	58
1) 조사 개요	58
2) 조사 내용	59
3) 조사 결과	61
5. 소결: 국내 DfMA 기반 건축의 한계 및 제도 개선 방향	66

제4장 DfMA 기반 건축 사례 분석

1. DfMA 기반 건축물 사례 분석	69
1) 분석개요	69
2) DfMA 기반 건축물 사례 분석	71
3) DfMA 기반 건축물 사례의 시사점	83
2. 국외 DfMA 기반 건축 제도 및 정책 사례 분석	85
1) 조사개요	85
2) 영국	85
3) 싱가포르	92
4) 홍콩	102
5) 미국	109
6) 일본	115
7) DfMA 기반 건축 제도 및 정책 사례의 시사점	118

제5장 DfMA 기반 건축 활성화 방안

1. 국내 DfMA 기반 건축의 쟁점	123
1) BIM 활용 확대 문제	123
2) 설계 표준화와 제조공장 확보 문제	125
3) 건축 관계자 협업체계 구축	126
4) 공공의 역할 문제	128
2. DfMA 기반 건축 활성화 방안	129
1) 표준화 및 지역 거점 제조시설 건립 지원	129
2) BIM 공유데이터 구축 및 민간 활용 지원	131
3) 데이터 축적을 위한 공공발주사업 확대	132
4) 공공 주도의 설계·시공 협업 사업모델 개발	133
5) DfMA 기반 건축 관련 특례 마련	134
6) 인식개선을 위한 신뢰성 있는 정보제공	135

제6장 결론

1. 정책제언	139
2. 향후과제	141
참고문헌	143

[표 1-1] 산업분야별 재해자, 사망자 비율	1
[표 1-2] 폐기물 종류별 발생 현황 및 추이	2
[표 1-3] 건축산업 및 주요 산업의 노동생산성 지수	3
[표 1-4] 싱가포르 BCA DfMA 가이드라인 종류와 주요내용	6
[표 1-5] 선행연구 및 본연구 현황	9
[표 2-1] 폐기물 종류별 발생 현황 및 추이	16
[표 2-2] DfMA 건축사례 분석 범위	24
[표 2-3] 모듈러 건축의 분류	28
[표 3-1] 「건축물의 에너지절약설계기준」 별표3 중부1지역 단열재의 두께 기준(단위: mm)	37
[표 3-2] 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」에 따른 건축물 부위별 내화구조 요구조건	39
[표 3-3] 「공업화주택의 성능 및 생산기준」에서 성능기준의 주요 내용	41
[표 3-4] 「공업화주택의 성능 및 생산기준」에서 생산기준의 주요 내용	42
[표 3-5] 공업화주택 인정 현황 (2023년 4월 기준)	44
[표 3-6] 조달청 나라장터의 목록정보시스템에 등록된 제조·조립 기반 건축물 관련 물품 현황(2023.4.17. 현재)	45
[표 3-7] 제조·조립 기반 건축 산업의 한국표준산업분류와의 관계	53
[표 3-8] 구조적 특성에 따른 모듈러건축의 유형 분류	55
[표 3-9] 재료적 특성에 따른 모듈러건축의 유형 분류	55
[표 3-10] 건축투자 성장 시나리오에 따른 연도별 건축투자 예측치	58
[표 3-11] 조사 설계	59
[표 3-12] 응답자 특성	59
[표 3-13] 조사 내용	59
[표 3-14] DfMA 건축 활성화를 위한 제안사항	65
[표 4-1] DfMA 건축사례 분석 대상 개요	70
[표 4-2] DfMA 건축사례 분석 내용	70
[표 4-3] 건축 부재 사전 제작 및 서브 조립 활용단계 사례 개요	71
[표 4-4] 건축 부재 및 조립 활용단계 사례 개요	74
[표 4-5] 조립식 모듈 및 공간 체적 단계 사례 개요	77
[표 4-6] 유닛 모듈 단계 사례 개요	80
[표 4-7] 국가 디지털트윈 프로그램의 6개 핵심 분야	89
[표 4-8] Standard in offsite construction : General	90
[표 4-9] 건설생산프로세스별 DfMA전략(RIBA)	91
[표 4-10] BCA의 주요 역할과 책임	93
[표 4-11] '건설산업 혁신계획(CITM, 2017)'의 3가지 핵심영역	98

[표 4-12] 싱가포르 BCA DfMA 가이드라인과 주요내용	99
[표 4-13] 'DfMA : Connection for Advanced Precast Concrete System'의 구성	99
[표 4-14] HDB에서 사용하는 프리캐스트 기술	100
[표 4-15] PPVC 제조업 인증제도 평가항목	102
[표 4-16] MiC 사전승인체크리스트	106
[표 4-17] 모듈러 통합 건설을 위한 설계요구사항	107
[표 4-18] 모듈러 품질검사 항목	108
[표 5-1] DfMA 기반 건축의 쟁점 및 대응방향	128
[표 5-2] 건설산업기본법 시행령 [별표 1], 전문공사를 시공하는 업종	129
[표 5-3] 지역중소기업 육성 및 혁신촉진 등에 관한 법률 시행령 개정안	130
[표 5-4] 「건설산업기본법」개정안	133
[표 5-5] DfMA 기반 건축 활성화 방안	137

[그림 1-1] 건축물 안전사고 사례	2
[그림 1-2] 연구의 흐름도	8
[그림 2-1] DfMA의 목적	12
[그림 2-2] 제품의 비용을 줄이기 위한 디자인 방법(재료, 형태 디자인 변경)	12
[그림 2-3] 제품생산과정에서의 주요 영향인자	13
[그림 2-4] DfMA 프로세스	14
[그림 2-5] DfMA 프로세스	15
[그림 2-6] DfMA Concurrent Costing 2.0화면	18
[그림 2-7] 독일 바이젠호프 주택	19
[그림 2-8] DfMA의 건축적 활용 목표	20
[그림 2-9] DfMA의 건축적 활용 목표	22
[그림 2-10] DfMA 건축을 위한 조건(관계자 협력)	22
[그림 2-11] DfMA Product Simplification	23
[그림 2-12] DfMA 건축 구현을 위한 방법구분	24
[그림 2-13] 조립식 건축 유형 : 콘크리트구조(左), 철골구조(中), 목구조(右)	26
[그림 2-14] 공업화 건축의 주요 공법 : PC 공법(左), 패널라이징 공법(中), 모듈러 공법(右)	26
[그림 2-15] 건설산업에서 MMC와 OSC, DfMA 개념	29
[그림 3-1] BIM 지침의 위계	33
[그림 3-2] 「건축법」에 근거한 건축물의 주요 성능기준 설정 현황	35
[그림 3-3] 「주택법」에 근거한 주거용 건축물의 건설 및 주거환경 성능기준 설정 현황	36
[그림 3-4] 「소음방지를 위한 층간 바닥충격음 차단 구조기준」 별표1의 표준바닥구조	38
[그림 3-5] 발주방식(좌: 분리발주, 우: 일괄발주)	46
[그림 3-6] 공공발주사업의 모듈러 조달 방식	47
[그림 3-7] 국가별 도로보급률	49
[그림 3-8] 세종시 6-3 생활권 모듈러주택단지 조감도	50
[그림 3-9] 스마트건설 활성화 방안(제조업 기반의 탈현장 건설(OSC) 활성화를 통한 미래 모습	51
[그림 3-10] 스마트 건설 활성화 방안 중 건설산업 디지털화를 위한 BIM 도입방안	52
[그림 3-11] 우리나라 모듈러건축 산업의 발전과정	57
[그림 3-12] 지수평활법을 이용한 건축투자 예측 곡선(단위: 십억원)	58
[그림 3-13] DfMA 건축 수준 평가 및 DfMA 건축 수준이 낮은 원인	61
[그림 3-14] DfMA 건축 발전 가능성	62
[그림 3-15] 최근 3년간 DfMA 건축 계약 여부 및 건수	62
[그림 3-16] 수주액 상위 DfMA 건축 발주처 및 수주건 상위 DfMA 건축 발주방식	63

[그림 3-17] DfMA 건축의 효과	64
[그림 3-18] DfMA 건축 수행시 애로사항	64
[그림 3-19] DfMA 건축 활성화를 위한 정책	65
[그림 4-1] Outline of Beam-Column Joint Unit	72
[그림 4-2] JTC Logistics Hub_TSC(Thin Steel-plate Composite Beam)	72
[그림 4-3] Port Plus Building	73
[그림 4-4] JTC Logistics Hub	73
[그림 4-5] AFS: VUE Terrace Homes	74
[그림 4-6] Global Switch Data Centre / MEP구조	74
[그림 4-7] 제주 성산 호스텔	75
[그림 4-8] 스틸패널라이징 작업	75
[그림 4-9] 메이플 빌리지	76
[그림 4-10] Ng Teng Fong General Hospital & Jurong Community Hospital외관 및 단위모듈 평면	78
[그림 4-11] Mini Sky City의 모듈 조립과정 및 제작과정	78
[그림 4-12] 산청 예술인 마을 프로젝트(우: 지붕 및 벽체 패널과 화장실 및 욕실 유닛)	78
[그림 4-13] Avenue South Residence에 적용된 모듈	80
[그림 4-14] Nanyang Technological University Student Hostel	81
[그림 4-15] Crowne Plaza Hotel Extension	81
[그림 4-16] Crowne Plaza Hotel Extension 모듈러 적용 과정	82
[그림 4-17] 다양한 표현의 관계, 합의 수준 및 규정과의 연계	90
[그림 4-18] PPVC의 모듈구성	96
[그림 4-19] Modema Homes의 말레이시아공장 모듈러 제작 모습	97
[그림 4-20] DfMA를 통한 건설 혁신	98
[그림 4-21] IDD의 구축 방법	100
[그림 4-22] HDB Precast Building System	101
[그림 4-23] CITF 거버넌스	103
[그림 4-24] 상업용 건축을 위한 승인된 MIC	105
[그림 4-25] 주거용 건축을 위한 승인된 MIC	105
[그림 4-26] K90 프로젝트	114
[그림 5-1] 전세계 BIM 활용 현황	124
[그림 5-2] BIM 시장규모	124
[그림 5-3] BIM의 사업적 가치와 필요성, 중요성에 대한 인식(좌) / 선진국대비 단계별 국내 BIM (수준선진국:100)(우)	125
[그림 5-4] 상업용 건축을 위한 승인된 MIC	126
[그림 5-5] 주거용 건축을 위한 승인된 MIC	126
[그림 5-6] BIM 기반 발주-설계 프로세스 협업 플랫폼 개발 체계도	127
[그림 5-7] BIM지침 확충 방안	131
[그림 5-8] 임시주거용 조립주택	136

제1장 서론

- 1. 연구의 필요성 및 목적
- 2. 연구의 범위 및 방법
- 3. 선행연구와의 차별성

1. 연구의 필요성 및 목적

1) 연구의 필요성

□ 건축분야 산업 안전사고 최고, 건설 폐기량 최대

건축공사를 포함하는 건설업의 산업재해 및 사고 재해 비율, 사망자 비율이 타 산업 대비 최대치를 기록하고 있다. 특히 사망자 비율의 경우 건설업이 51.9%로 제조업 22.8%의 2.27배에 이른다. 건설업의 종사자 수가 1,504,466명인데 비해 제조업 종사자 수는 4,123,817명으로 3배 가량 많지만 역으로 사망자 비율이 2배를 초과하는 해당 수치는 위험한 건축공사현장 여건을 여실히 보여주는 결과라 하겠다.

[표 1-1] 산업분야별 재해자, 사망자 비율

구분	전체 산업 재해						사고 재해	
	재해자 (명)	비율 (%)	사망자 (명)	비율(%)	재해자(명)	비율(%)	사망자(명)	비율(%)
광업	2,753	2.5	424	20.6	141	0.2	8	0.9
제조업	28,840	26.6	469	22.7	23,127	25.0	201	22.8
건설업	26,799	24.7	567	27.5	24,617	26.6	458	51.9
운수창고 통신업	7,251	6.7	150	7.3	6,504	7.0	67	7.6

출처: 고용노동부. (2021). 정책자료실-2020년 산업재해현황:2020.12월말 산업재해 발생현황(https://www.moel.go.kr/policy/policydata/view.do?bbs_seq=20210401122) 중 p.16, 18을 참고하여 작성. (검색일: 2023.05.25.)



[그림 1-1] 건축물 안전사고 사례

출처 1: SBS 홈페이지 https://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1006349653(검색일: 2023.05.20.)

출처 2: 펜N마이크 홈페이지 <https://www.pennmike.com/news/articleView.html?idxno=50997>(검색일: 2023.01.20)

출처 3: 대한건축사협회 건축사신문 홈페이지 <http://www.ancnews.kr/news/articleView.html?idxno=10234>(검색일: 2023.01.20)

한편, 2019년 ‘전국폐기물 발생 및 처리 현황’ 자료에 따르면, 최근 5년(2015년 ~ 2019년) 동안 건설 폐기물¹⁾의 증가 비율이 가장 높은 것으로 나타났다. 2019년 기준 건설폐기물 1일 발생량은 221,102톤으로 전체 폐기물 양의 약 44.5%를 차지하는 등 건설폐기물 발생 문제는 심각한 상황이라 할 수 있는데²⁾, 이는 철근콘크리트나 벽돌, 시멘트 등 습식재료의 사용이나 해체·철거 부재의 일방적 폐기 등 현행 건축공법과 무관하지 않다.

[표 1-2] 폐기물 종류별 발생 현황 및 추이

(단위: 톤/일)

구분	2015	2016	2017	2018	2019
생활계 폐기물	51,247	53,772	53,490	56,035	57,961
사업장 배출시설계 폐기물	155,305	162,129	164,874	167,727	202,619
건설 폐기물	198,260	199,444	196,262	206,951	221,102

주1) 생활계 폐기물은 생활폐기물, 사업장생활폐기물, 공사장생활폐기물을 모두 포함한 수치임

주2) 지정폐기물은 사업장지정폐기물과 의료폐기물을 포함한 수치임

출처: 환경부, 한국환경공단(2020, p.9), 김은희 외(2021), p.52)

□ 건설업의 에너지소비량 꾸준히 증가

기후변화에 따른 에너지사용 감소 요구가 커지고 있는 시점에 건설업의 에너지 소비량은 지속적으로 증가하고 있다. 2017년 에너지 총 조사에서는 2013년 대비 2016년도의 에너지 소비 증가율은 연평균 3.0%인 반면, 건설업은 7.5%로 전체 산업보다 2.5배 가량 높은 것으로 나타났다.³⁾ 그러나 2015년 파리협정 이후 기후변화 대응을 위한 에너지사용 및 탄소배출 감소 정부정책(한국판 뉴딜, 2050 탄소중립 시나리오 등)이 가속화됨으로써 건축물 에너지 절감에 대한 요구도 확대되고 있다. 특히 장기저탄소발전전략(LEDs)과 국가온실가스감축 목표(NDC)에 따른 주요 부문별 온실가스 감축을 위해 건물 분야 또한 ‘18년 52.1백만톤의

1) 자원순환마루(자원순환정보시스템) 홈페이지 <https://www.recycling-info.or.kr/rrs/stat/envStatList.do?menuNo=M13020201>(검색일:2023.08.14.)

2) 김은희, 김상호, 조시은, 유제연, 오민정. (2021). 스마트건축 산업화 모델 및 제도 기반 확충에 관한 연구. 건축공간연구원. p.52

3) 에너지경제연구원 외(2018, p.149), 김은희 외(2021, p.52)

온실가스 배출량을 '30년 35백만톤으로, 약 32.8% 감축 의무가 부여된 상황이다.

□ 건축공사 품질 및 생산성 저하

국내 인구감소 추세에도 불구하고 노동 집약도가 높은 건축산업 특성으로 인해 저가저기술 노동 인력 고용이 확대되고 있으며 결과적으로 건축물 성능이나 품질, 생산성 저하 문제가 제기되고 있다. 노동 인력이 줄어들에 따라 공사 현장의 인건비는 상승할 수밖에 없고 저가의 외국노동자 고용 비율이 증가하면서 건축공사 품질도 담보하기 어려운 상황이다. 생산성의 경우 제조업과 정보통신업의 노동생산성 지수가 지난 5년 동안 지속해서 증가한 반면, 건축 관련 산업(건설업, 건축 기술 엔지니어링 및 기타 과학기술 서비스업과 기타 전문, 과학 및 기술 서비스업)의 노동생산성 지수는 감소하는 추세다.⁴⁾

[표 1-3] 건축산업 및 주요 산업의 노동생산성 지수

구분	2016	2017	2018	2019	2020
건설업	105.5	118.1	112.4	109.8	105.2
건축기술 엔지니어링 및 기타 과학기술 서비스업	94.4	96.5	96.7	94.8	93.2
제조업	102.9	106.3	107.5	109.0	113.3
우편 및 통신업	102.1	101.0	104.0	106.7	115.9
컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업	103.4	111.7	106.9	105.5	95.5
정보서비스업	104.1	112.9	113.3	117.0	121.9

출처: 한국생산성본부, 노동생산성지수(2016년~2020년), 김은희 외(2021, p.52)

현재 노동생산성 지수값은 한국표준산업분류의 중분류까지 다루고 있어 보다 상세한 산업 구분의 한계가 있음

특히, 최근에는 건축물 용도 및 형태가 복잡 다양해지면서 정확한 도서 작성과 균질한 시공 품질에 대한 요구가 확대되고 있으나 공사과정 중 설계변경이나 시공 후 분쟁 및 소송 다반사는 현재 건축산업 상황을 이해하는 잣대가 될 수 있다. 설계변경 횟수가 증가할수록 공기 지연과 공사비 손실률이 증가하는데 실제로 공공 건축공사의 약 7%가 설계를 변경하였고, 그로 인해 최초공사비의 18.62%가 증가한 것으로 집계되고 있다.⁵⁾

□ 건축산업에 있어 기술 활용의 중요성 및 필요성 부각

국토교통부는 '스마트 건설기술 로드맵'을 수립하여 스마트 기술을 접목한 건설 자동화로 시공성과 경제성뿐만 아니라 안전관리의 혁신도 함께 모색하고 있다. 2025년까지 스마트 건설 기술(BIM, 드론, 로봇, IoT, 빅데이터, AI 등) 활용기반을 구축하고, 2030년까지 건설자동화 완성을 목표로 하고 있다. 이를 통해 건설 과정에서 생성되는 각종 정보를 공유·유통하고 빅데이터 및 시뮬레이션을 적극 활용함으로써, 건설을 기존의 경험 의존적 산업에서 지식·첨단 산업으로 전환하는 것을 목표로 하고 있다. 안전관리에 있어서는 「중대재해처벌법」이 시행

4) 김은희, 김상호, 조시은, 유제연, 오민정(2021). 스마트건축 산업화 모델 및 제도 기반 확충에 관한 연구. 건축 공간연구원. p.52

5) 이민재 외(2008, p.368), 김은희 외(2021, p.52)

(‘22.01.27)됨에 따라 보다 정확한 설계와 면밀한 시공관리의 경각심이 부각⁶⁾되었고, 국토부는 ‘부실시공 근절방안’(‘22.03.28)실행으로 시공품질관리 강화, 부실시공 무관칙 원칙을 제시하고 있다.

관련하여 이미 타 산업분야에서는 의료·바이오, 제조, 스마트시티, 금융, 모빌리티·물류, 농수산식품의 6대 분야에 대해 첨단 기술을 활용한 산업구조 패러다임 변화가 정부 주도로 가속화되고 있으며, 이를 통한 생산성 향상도 가시화되고 있다. 첨단기술을 활용한 산업사례로 스마트팩토리, 스마트팜, 스마트모빌리티 등이 있으며 스마트팩토리의 경우 2014년 대비 2017년 생산성 약 30%, 품질 43.5% 향상, 원가 약 16%, 산업재해는 18%를 감소하였다.⁷⁾

□ 제조·조립을 위한 설계(DfMA)기반 건축 대두

영국, 싱가포르, 홍콩, 미국 등 해외 주요국에서는 공공과 민간 모두 제조·조립을 위한 설계(Design for Manufacturing and Assembly; DfMA)의 적극적 활용을 통한 건축공사 패러다임 변화를 도모하고 있다. 영국은 건설산업 부문 정책(Construction Sector Deal)에서 혁신적인 기술과 숙련된 노동력을 통해 부문의 생산성을 혁신을 위해 오프사이트(Off-site)제조 기술 향상, 생애주기 성능향상 등을 위해 DfMA의 활용을 적극 추진하고 있다. 싱가포르는 정부가 주도적으로 건설산업 혁신을 추진하며 DfMA 적용 확산을 주도하고 있다. 특히, 정책 수립 주체로서 건설청(BCA)과 산하 BIM 위원회, BCA 아카데미 등 체계적인 정부 조직을 갖추고 있으며, 주택개발청(HDB)이 정책 실행 주체로서 연구·개발 및 건설사업 추진에 DfMA를 적극 활용하고 있다.

홍콩은 MIC(modular integrated construction)를 활용한 오프사이트(offsite) 공장의 모듈 생산과 그 과정의 건축 설계·시공 적용으로 건축 생산성을 획기적으로 제고하고 있다.⁸⁾ 미국은 민간 단체(미국건축가협회:AIA, 모듈러건축협회:MBI)를 중심으로 DfMA 도입 필요성 인식이 확산되고 있으며 DfMA 표준(ICC/MBI 1200)을 마련하고 건축가를 위한 DfMA 가이드 배포(AIA)하고 있다.

국내에서도 OSC, 모듈러 건축 적용사례가 증가하고 제조·조립 기반 건축에 대한 관심도 커지고 있다. 국토교통부는 2030년 건설 전 과정의 디지털화·자동화를 목표로 하는 스마트 건설 활성화 방안을 마련하고, 건설산업 디지털화, 생산시스템 선진화, 스마트 건설산업 육성을 중점과제로 선정하였다. 제조·조립 기반 건축 활성화를 위한 BIM 도입과 생산시스템 선진화와 관련한 제조업 기반의 탈현장 건설(OSC) 활성화를 위해 공공발주 확대, 제도 정비, 기술개발 지원 방안을 구체적으로 제시하고 있다.

6) 전문가 자문회의(‘22.05.25)

7) 중소벤처기업부(2019년 5월24일 보도자료)

8) 김정인, 이유진. (2020). 건설생산성 향상을 위한 DfMA 해외 적용 사례 소개. BIM Activities In Korea

또한, 한국건설기술연구원을 중심으로 제조조립 기반 건축의 대표 유형이라 할 수 있는 모듈러 건축에 대한 지속적인 R&D 연구 개발사업을 추진하고 있다.⁹⁾ CASE 건축은 국내 대학에서 설립한 건축사사무소로, 목재를 이용한 패널라이징 공법을 적용한 프로젝트에서 건축 기간 단축(50%), 에너지 효율 및 탄소배출 저감 등 건축물 성능에 있어서 성과를 도출하였다. GS건설 자회사인 엘리먼트 유럽(Elements (Europe) Ltd.)은 영국 런던에서 DfMA공법의 23층오피스 호텔(East Road, 한화 약 620억원)을 수주하였고 기존건축물에도 적용 가능한 화장실모듈러 (Bathroom POD) 사업도 진행하고 있다.¹⁰⁾

□ 국내 제조·조립을 위한 설계(DfMA) 기반 건축에서 설계단계 솔루션에 초점을 둔 DfMA의 적용은 미흡한 상황

DfMA 기반 건축의 핵심은 단순히 공장 제작 및 현장조립이라는 방법의 문제라기보다 가장 효율적으로 건축 부재 또는 시스템을 제조하고 조립할 수 있는 방법을 설계단계에 모색하는 것이라 할 수 있다. 그러나 그동안 국내 대표적인 연구개발사업으로 추진해온 모듈러 건축의 예에서도 설계단계에 제조와 조립이 용이하고 디자인을 개선할 수 있는 방법론에 관한 대안 고민이 부족한 실정이다. 대표적인 제조·조립 기반 건축 구현 솔루션이라 할 수 있는 BIM의 경우 국내 건축서비스 관련 사업체 활용 수준이 약 5%에 못 미치고 국토교통부가 발간하는 BIM시행 지침은 제조와 조립을 고려한 방법론을 제시하지 못하고 있다. 이러한 산업정책의 불균형은 결과적으로 OSC, 모듈러 건축의 산업적 활성화를 저해하는 가장 근본적인 원인으로 지목할 수 있다. 반면, 해외 주요국가에서는 DfMA의 중요성을 강조하며 설계방법론과 가이드라인, BIM 활용 방법 등에 대한 다양한 정보를 제공하고 있다.

싱가포르 BCA에서 제시한 DfMA는 PC(Precast Concrete), PPVC(Prefabricated Prefinished Volumetric Construction), PBU(Prefabricated Bathroom Units), MET(Mass Engineered Timber), Prefabricated MEP(Prefabricated Mechanical Electrical and Plumbing) 및 Structural Steel 분야에 걸쳐 개별 구성요소에서부터 통합된 조립품에 이르기까지 다양한 기술과 방법론을 포함한다.¹¹⁾

9) 관련하여 2003년부터 건축실적(86건), 연구 및 논문(425건), 제작업체 특허기술(23건), 주요연구과제(20건)을 수행 (https://www.kict.re.kr/board.es?mid=a10105060000&bid=pressrsls&list_no=14537&act=view)(검색일: 2023.05.25.)

10) 한국경제 홈페이지 <https://www.hankyung.com/press-release/article/202204262182P>(검색일: 2023.05.25.)

11) 정서영. (2021). OSC 프로젝트의 최적 설계안 선정을 위한 DfMA 평가모델. 광운대학교 박사학위논문

[표 1-4] 싱가포르 BCA DfMA 가이드라인 종류와 주요내용

구분	주요내용
Advanced Precast Concrete System (APCS)	PC(Precast Concrete)의 구성요소 . 3S 원칙(Standardisation, Simplicity, Single)에 따르는 PC 설계, 제작, 운반, 조립에 대한 가이드
Mass Engineered Timber (MET)	목재 건축자재와 관련한 가이드
Prefabricated Volumetric Construction (PPVC)	독립형 3차원 모듈을 제작하기 위한 가이드 공장에서 제작된 모듈을 현장으로 운반하고 설치하기 위한 시공 방법에 대한 가이드
Prefabricated Bathroom Units (PBU)	사전 조립식 욕실 유닛의 생산 및 설치와 관련한 가이드
Prefabricated Mechanical Electrical and Plumbing (MEP) System	조립식 기계/전기/배관 시스템의 생산 및 조립을 위한 가이드
Structural Steel	철골부재 접합부 설계와 관련한 가이드

출처: 정서영. (2021). OSC 프로젝트의 최적 설계안 선정을 위한 DfMA 평가모델. 광운대학교 박사학위논문. p.32

□ DfMA 기반 건축 현황 및 문제점 파악, 산업 활성화를 위한 제도적·정책적 기반 확충 필요

건축산업에 있어 DfMA의 활용성 제고를 위해 우선적으로 제조조립 기반 건축에 대한 가능성과 효과를 살펴 기존의 부정적 인식을 해소해야 하고 나아가 제도적·정책적 여건을 개선해야 한다. 현재 국내 제조조립 관련 법령으로는 「주택법」 제51조, 52조, 52조의 공업화 주택 규정에 한정되어 있으며, 공공사업의 경우 설계단계에 제조 및 조립 시공, 엔지니어 등 건축공사 관계자가 참여할 수 있는 사업발주방식도 부재하며, 나아가 관련 제조조립 공사 업체의 산업적 위치 등 업역 관련 제도도 미흡한 실정이다. 또한, 스마트 기술 연계를 통한 설계단계 실행솔루션(BIM, 특히 디지털트윈 등)의 도입·활용 확대를 위한 기반도 부족하다.

※ 「주택법」 제51조(공업화주택의 인정 등) ① 국토교통부장관은 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 부분을 국토교통부령으로 정하는 성능기준 및 생산기준에 따라 맞춤형 등 공업화공법으로 건설하는 주택을 공업화주택(이하 “공업화주택”이라 한다)으로 인정할 수 있다.

1. 주요 구조부의 전부 또는 일부
2. 세대별 주거 공간의 전부 또는 일부[거실(「건축법」 제2조제6호에 따른다)·화장실·욕조 등 일부로서의 기능이 가능한 단위 공간을 말한다]

2) 연구 목적

본 연구는 건축산업이 당면한 내외부적 문제에 대응하면서, 건축시공과정의 안전성, 품질, 생산성을 높일 수 있는 제조조립 방식의 건축 활성화 유도를 목적으로 한다. 이를 위해 시공과정의 제조조립의 용이성과 효율성(비용, 기간 등)을 고려하여 초기 설계단계 제조조립 방법을 반영한 디자인 결정 방법으로서 DfMA 기반 건축의 정책적·제도적 대안을 제시하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

1) 연구 범위

- DfMA 개념과 건축적 활용 방향

DfMA의 개념과 방법, 주안점을 살펴보고 이점과 요건을 정리하며 건축분야 적용 방식과 기대 효과, 전제조건 등을 검토함으로써 활용 방향을 제시한다. 현행 DfMA관련 제도·조립 기반 건축의 개념적 이해(조립식건축, OSC, 모듈러건축, 공업화건축, PC 등) 및 제조·조립업과 연계한 건축유형 또는 공사방식 등의 개념과 특징을 살펴보고 DfMA의 차별성 파악한다.

- DfMA 기반 건축 관련 국내외 제도 및 정책, 산업 현황 분석

DfMA 기반 건축 관련 현행 건축기준 및 발주제도 등 법령 및 건설산업 분야 유관 정책 추진 현황을 검토한다. DfMA 건축 성장 가능성 및 목표 시장 파악을 위한 산업 현황(제조조립 기반 건축 인식 현황 등)을 검토한다.

- DfMA 기반 건축 관련 국내외 사례의 주안점과 시사점 검토

국내 DfMA 기반 건축 관련 건축물 조성 현황 및 문제점 분석을 분석한다. 모듈러 건축 및 공업화 건축 등 유사 건축사업의 발주, 준공 현황(공급자 및 수요자, 건수, 용도, 규모, 층수, 구조 및 재료, 공사비, 기간, 적용 기술 등)을 살펴보고 문제점 분석한다. 국내·외 DfMA 기반 건축 사례의(유형별) 건축프로세스 및 주안점을 검토한다. DfMA 건축시장이 활성화된 홍콩, 싱가포르, 영국, 미국, 일본의 유관 제도 및 정책 사례를 검토한다.

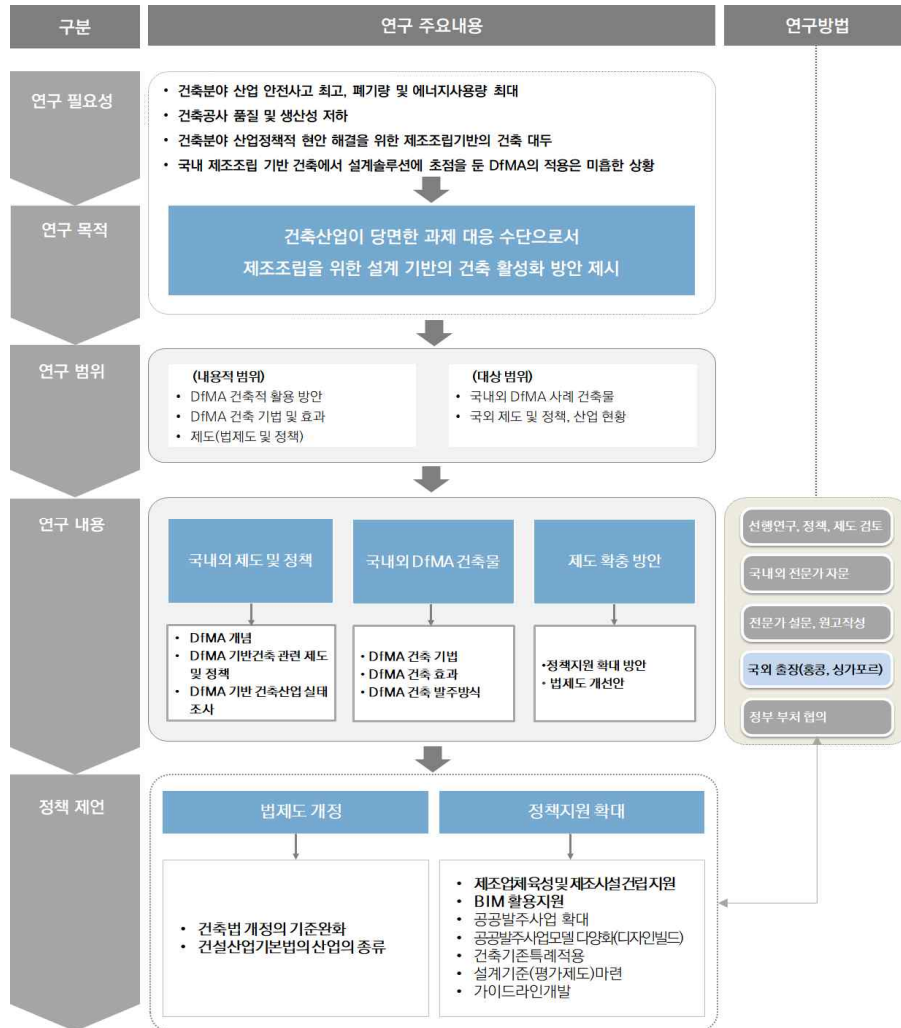
- DfMA 기반 건축 활성화를 위한 제도적 대응 방안 제시

DfMA 기반 건축산업 활성화를 위한 제도적 걸림돌과 DfMA 기반 건축 시장 확대를 위한 산업분류, 발주 및 조성과정에 요구되는 사업발주방식 및 참여 주체 등 개선이 필요한 사항을 정립한다. 건축물 조성과정에 필요한 건축성능 기준, 솔루션 및 가이드라인 등 전반적인 활성화방안을 설계 단계에 초점을 두고 제시한다.

2) 연구 방법

본 연구 추진을 위해 DfMA 기반 건축 관련 선행연구 및 보고서 등 참고 문헌 조사와 DfMA 기반 건축 관련 법령 등 유관 제도, 정책자료 조사분석을 실시하였다. 또한 국내사례조사로 통계자료 분석, 건축설계 및 시공사 방문 및 면담, 건축물 답사하고 국외사례는 DfMA 기반 건축사업 발주기관 및 가이드라인 제공 기관 또는 단체, 건축설계 및 시공사 방문 및 면담, 건축물 답사(국외출장: 싱가포르, 홍콩)를 실시하였다.

DfMA 기반 건축 전문 업체, 사용자 설문조사를 추진하고 제조·조립 관련 건축 분야 연구자 등 전문가 자문을 실시하였으며 한국건설기술연구원 모듈러건축센터 등 유관 전문기관 협의, 협력방안 모색하였다. 특히 관련분야 전문가 원고의뢰, 위탁용역(만족도 조사) 등 전문가 심층 협업을 도모하였다. 전문가, 정책 수요기관과 협의를 진행하고 DfMA 기반 건축 산업 관계자 의견 수렴을 통해 DfMA 기반 건축 정책 방안을 마련하였다.



[그림 1-2] 연구의 흐름도

출처: 연구진 작성

3. 선행연구 현황 및 차별성

DfMA 기반 건축 관련 연구는 개념 및 특성에 관한 연구, 건축적 활용방안에 관한 연구, 모듈러 보급 확산에 관한 연구로 구분할 수 있다. DfMA 기반에 관한 연구는 대체로 제조업, BIM 관련 산업 분야에서 활성화되어 있으며 개념 및 특성, 활용 방법, 소프트웨어 등에 관한 소개를 하였다(안정호, 2002), (김인호, 1999). DfMA의 건축적 활용에 관한 연구는 국내보다 주로 해외연구 자료로 확인되며 개념 및 건축적 활용의 차별성, 방법 등을 선행 연구자료 분석을 하였다(Gibb, 2001),(Lu 외, 2020).

국내 DfMA 기반 건축 관련 연구 주제는 대부분 모듈러에 치우친 경향이 있는데, 내용적으로는 모듈러 건축의 구축방식과 효과, 시장 전망, 발주방식, 정책적 제도적 한계 및 대응 방안 등에 관한 내용으로 구성되어 있다. 본 연구는 선행연구에서 제시한 제조조립 기반 건축의 방법론 및 효과면에서 동일한 맥락을 가지나, 시장 확대 및 활성화 저해의 원인을 사업 초기 설계단계에서의 구조적 한계에(건축기준, 사업방식, 솔루션)에 초점을 두고 대안을 모색한다는 점에서 차별성이 있다.

[표 1-5] 선행연구 및 본연구 현황

구 분	선행연구와의 차별성		
	연구목적	연구방법	주요연구내용
선행 연구	1 - 연구명: Design for Manufacture and Assembly (DfMA) in construction: the old and the new - 연구자: Weisheng Lu외(2020) - 연구목적: 건축, 엔지니어링, 건설산업에서 DfMA의 개념을 해석	- 문헌, 이론고찰 - 선행연구 분석	- 건설에서 DfMA의 발전과 제조 산업의 역사적 맥락 분석 - DfMA 유사개념 비교 - DfMA 의 가능성과 당면과제
	2 - 연구명:Standardization and pre-assembly – distinguishing myth from reality using case study research - 연구자: Alistair Gibb(2001) - 연구목적: 표준화와 선조립의 개념정의 및 과거, 현재, 미래의 활용성과 이의 핵심적 특징 분석	- 문헌, 이론고찰 - 선행연구 분석	- 표준화와 선조립의 개념정의 - 표준화와 선조립 분류 - 표준화와 선조립의 역사와 철학 고찰 - 표준화와 선조립의 특징분석
	3 - 연구명: DfMA 관련 소프트웨어와 미국 제조산업에 미친 영향 - 연구자(년도): 안정호(2002) - 연구목적: 제품설계단계에서 생산, 폐기 까지 비용 및 이익을 정량적으로 평가 하는 소프트웨어 검토	- 문헌, 이론고찰 - 사례조사 및 분석	- DfMA 관련 소프트웨어 - 미국 산업계의 DfMA 적용사례
	4 - 연구명: DfMA 개요 및 활용방안	- 문헌, 이론고찰	- DfMA 개요

구 분	선행연구와의 차별성		
	연구목적	연구방법	주요연구내용
5	- 연구자(년도): 김인호(1999) - 연구목적: DfMA 소개 및 활용방안 제시	- 사례조사 및 분석	- DfMA 활용분야 - 소프트웨어 종류 - DfMA 적용사례 - DfMA 기대효과
	- 연구명: 모듈러건축연구센터 전략 연구 - 연구자(년도): 박금성 외(2017), 한국 건설기술연구원 - 연구목적: 사회현안 문제 해결 및 건설 산업 메가트렌드(환경, 안전, 인력난 등)에 대응하기 위한 모듈러 건축산업 활성화로 국내 건설산업 패러다임 전환 및 모듈러 건축 거점 연구기관 위상 정립을 위한 전략 마련	- 문헌, 이론고찰 - 선행연구 분석 - 중대형 연구간 기획 TF 참여 - 외부 전문가 협력	- 모듈러연구센터 연구사업 포트폴리오 및 중장기 로드맵 마련 - 모듈러 건축사업 활성화 지원 - 국내외 모듈러 건축현황 및 연계 방안 - 중소기업 기술교류 및 사업화 지원 - 국내 모듈러건축산업 변천사 정리 - 모듈러 센터 재내외 지원 - 모듈러센터 연구사업 발굴
	- 연구명: 주거시설의 트렌드 변화를 주도 하는 모듈러 공공임대주택 - 연구자(년도) : 임석호(2013~2017) 한국건설기술연구원 - 연구목적 : 국가경쟁력의 개념과 평가 방법 검토	- 문헌, 이론고찰 - 사례조사	- 모듈러 공법의 이해 - 경제성·사업성·기술성 실증 통한 새로운 공공임대 주택모델 제시 - 기술성과 경제성 모두 갖춘 차세대 주거모델
7	- 연구명: 가족구성 변화를 고려한 가변형 모듈러 주택모델 연구 - 연구자(년도): 이지은 외(2020), 토지 주택연구원 - 연구목적: 현장 이외의 장소에서 제작된 부재를 현장에 반입하여 조립하는 기술 중 모듈러 건축기술을 활용하는 주택을 대상으로 가족구성 변화에 맞춰 주거편의성 및 생활안전성을 증진시키는 주택 모델을 제시	- 문헌, 이론고찰 - 사례조사 - 전문가 모듈주택 계획 협력 - 전문가 자문	- 미래 주거변화에 대한 고찰 - 가족구성 변화를 고려한 가변형 모듈러 주택계획 제시 - 모듈러 주택안을 활용한 사업모델 제안
본 연구	- 건축 성능·디자인 품질을 제고하고 건축 설계 및 시공과정의 생산성을 높일 수 있도록 제조업과 연계한 DfMA건축의 산업활성화를 위한 정책·제도적 대안 제시	- 문헌조사 - 국내외 사례 분석 - 관련분야 전문가 협업 (공동세미나, 원고, 자문 등) - 해외주요 기관 및 건축 업체 방문·자문, 건축물 답사 - 제도적 대안 모색을 위한 관계자 간담회 등	- DfMA의 개념과 건축적 활용 - 국내 DfMA 건축 관련 제도·정책·산업 현황 - DfMA건축 관련 국내외 사례의 주요점과 시사점 도출 - DfMA건축 활성화를 위한 정책적 제도적 대응 방안

제2장 DfMA 기반 건축 특성과 의의

1. DfMA 개념과 특징
 2. DfMA의 건축분야 활용
 3. 소결
-

1. DfMA의 개념과 특징

1) DfMA의 개념¹²⁾

□ DfMA(Design for Manufacture and Assembly) 정의

DfMA는 설계단계에서 후속 공정인 제작 및 조립에 대한 정보를 포함함으로써 제품을 구성하는 부품들의 제작 및 조립 효율성을 높이기 위한 설계방식을 뜻하며 제조업에서 시작한 개념이라 할 수 있다.¹³⁾ 제조·조립 기반 설계는 선 엔지니어링된 부재 단위(pre-engineered building units)를 디자인할 때 품질의 저하 없이 시간과 비용을 절감하기 위해서 제조의 용이성(DFA)과 조립 효율성(DFM)에 초점을 맞춘다. 기본적으로 제품 설계를 보다 쉽고 효율적으로, 그리고 최소한의 시간, 노력 및 비용으로 제조와 조립이 가능하도록 하는 일련의 가이드라인이라고도 할 수 있다.¹⁴⁾ 일반적으로 자동차나 소비재 산업에서 주로 사용하던 디자인 개념이었으나 OSC의 확대로 건설 부재 디자인과 생산에도 널리 활용되고 있다.¹⁵⁾

12) MDPI 홈페이지 <https://www.mdpi.com/2411-9660/6/5/88>(검색일: 2023.05.25.)

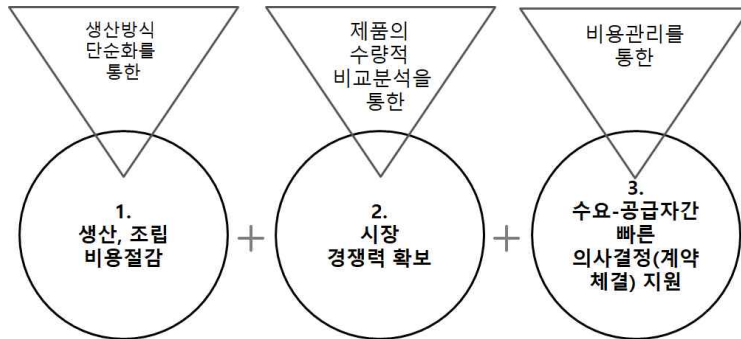
13) 김태완, 정서영, 유정호. (2022). DfMA(Design for Manufacture & Assembly) 새로운 건축생산방식에서의 새로운 도전. p.86

14) CETRIX 홈페이지 <https://cetrixtablets.com/design-manufacture-assembly-market-new-products/>(검색일: 2023.05.25.)

15) 이진미. (2021). 중고층 모듈러 주택을 위한 PC 패널 디자인 가이드라인. 대한건축학회논문집 : Vol.37 No.02(2021-02), p.86

DfMA를 사용하는 목적은 크게 세 가지 측면에서 설명할 수 있다.

- ① 생산 구조를 단순화를 통한 생산과 조립 비용 절감
- ② 경쟁사의 제품을 벤치마킹하고 생산과 조립의 문제점을 수량적으로 파악
- ③ 수요 및 공급자 간 계약 협상을 위한 비용관리 지원



[그림 2-1] DfMA의 목적

출처: 연구진 작성

Leaving money on the table?



[그림 2-2] 제품의 비용을 줄이기 위한 디자인 방법(재료, 형태 디자인 변경)

출처: 네이버 블로그 <https://m.blog.naver.com/PostView.naver?isHttpsRedirect=true&blogId=hypen1&logNo=80189143575>(검색일: 2023.05.25.)

□ DfMA 효과

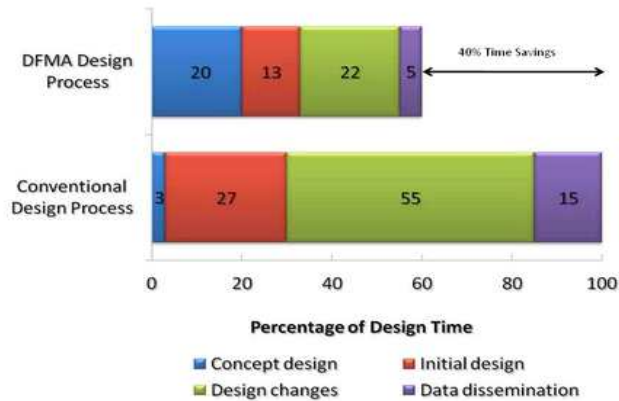
DfMA는 생산기간과 비용 감소, 재료낭비 최소화, 산업현장의 위험 감소, 균질한 품질확보와 더불어 환경친화적이라는 점에서 가장 큰 효과를 기대할 수 있다. 제품의 설계비용은 전체의 5%에 불과하나¹⁶⁾ 실질적인 생산비용의 70% 이상이 설계에 따라 결정됨에 따라 관련 산업의 제품 설계과

정의 중요성이 부각 된다. 이러한 측면에서 제조업체들은 가장 효율적인 제조 및 조립 공정에 따른 제품 설계를 위해 DfMA를 사용한다.¹⁷⁾

◆ DfMA 적용 효과

- 포드 자동차 회사는 자동차 라인에 DfMA를 적용함으로써 연간 10억 달러 이상을 절약하고 McDonnell Douglas Corporation¹⁸⁾은 DfMA를 구현하여 부품 수를 37%, 고정 장치 수를 평균 46%까지 감소함¹⁹⁾
- Douglas Commercial Aircraft Co.는 부품 수를 최대 50%까지 줄였고 유사 사례에서도 37%의 비용 절감과 50%의 시장 투입 시간을 단축시킴

DFMA Shortens the Design Process



[그림 2-3] 제품생산과정에서의 주요 영향인자

출처: 네이버 블로그 <https://m.blog.naver.com/PostView.naver?isHttpsRedirect=true&blogId=hyphen1&logNo=80189143575>(검색일: 2023.05.25.)

DfMA는 신제품 개발기간의 단축, 원가절감, 품질향상, A/S 향상, 효율적인 자원재활용, 제품의 경쟁력 향상, 환경파괴를 줄이는 환경친화적인 제품 설계와 생산에 있어서 효과를 기대할 수 있다.²⁰⁾

□ DfMA 요구사항

이러한 DfMA 효과를 달성하기 위해 제품을 어떻게 조립할 것인지, 어떻게 생산할 것인지를 모든 관계자들이 디자인 과정에서 함께 신속하게 결정해야 한다. 또한, 팀원이 함께 정보의 흐름을 파악하고 운영해야한다는 점에서 해당 조직에서의 중요한 문화적 공감대, 인식의 변화가 요구된다. 모든 프로젝트 관계자들은 개인에게 주어진 일뿐 아니라 DfMA의 동시적 개념에 입각한 프로세스를 숙지하고 능숙해져야 하며 팀 작업에 우선한다는 점에서 구성원 개인의 사고보다

16) MDPI 홈페이지 <https://www.mdpi.com/2411-9660/6/5/88>(검색일: 2023.05.25.)

17) MDPI 홈페이지 <https://www.mdpi.com/2411-9660/6/5/88>(검색일: 2023.05.25.)

18) 미국의 대표적인 우주항공산업 회사

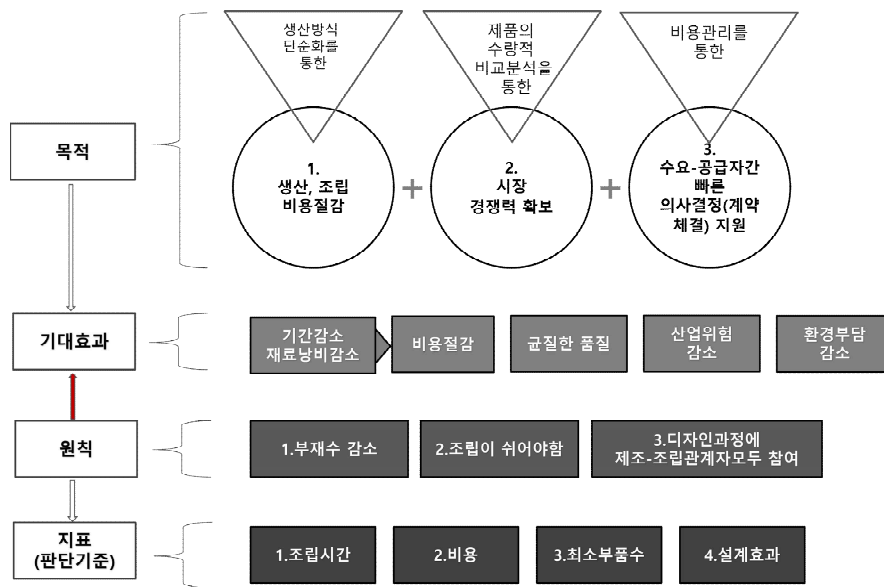
19) MDPI 홈페이지 <https://www.mdpi.com/2411-9660/6/5/88>(검색일: 2023.05.25.)

20) ResearchGate 홈페이지 https://www.researchgate.net/figure/Boothroyd-and-Dewhurst-DfMA-procedure-9_fig7_282757667(검색일: 2023.05.25.)

전체 의사결정이 중요하다. 이러한 측면에서 팀, 조직을 운영한다는 것은 비용면에서도 소모적 일 수 있으며 실무에 있어서 과거에 DfMA를 활용하지 않았던 팀과 조직은 기존 시스템을 변경하는데 어려움이 있다.

□ DfMA의 원칙과 평가지표²¹⁾

DfMA에서는 ① (비용절감을 위해) 부재수를 줄여서 조립공정을 최소화, ② (품질 제고를 위해) 제품 조립을 더 쉽게 디자인이라는 두 가지 대 원칙을 필요로 한다. 또한 설계과정에 재료와 조립 방법을 정량적, 객관적 데이터로 함께 검토함으로써²²⁾ 부품 수를 감소시켜 생산 비용을 절감하고, 부품을 단순화하여 제품의 정확도와 품질, 생산 능력을 확대해야 한다. 이러한 DfMA 구현을 위한 지표는 ① 조립 시간, ② 비용, ③ 최소 부품 수, ④ 설계 효과 크게 네 가지로 설정하고 있다.



[그림 2-4] DfMA 프로세스

출처: 연구진 작성

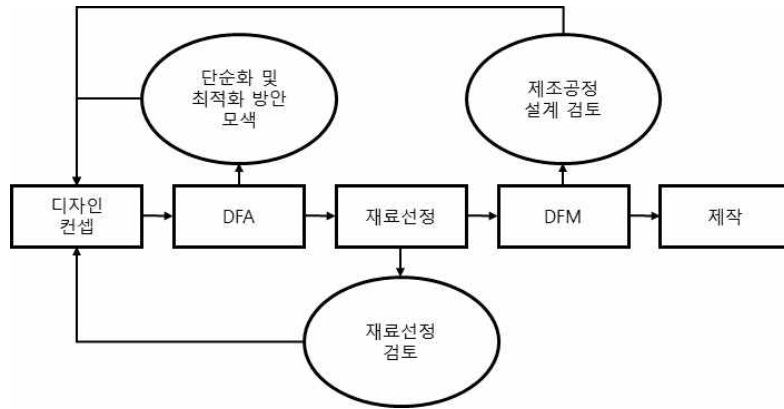
2) DfMA 단계별 주안점

□ 전체 디자인 과정

21) MDPI 홈페이지 <https://www.mdpi.com/2411-9660/6/5/88>(검색일: 2023.05.25.)

22) MDPI 홈페이지 <https://www.mdpi.com/2411-9660/6/5/88>(검색일: 2023.05.25.)

DfMA의 과정은 디자인 컨셉 결정, DFA, 재료선택, DFM, 최종 제품안 결정의 순서로 진행된다. 디자인 컨셉이 정해지면 DFA단계에서 조립의 단순화 및 최적화를 디자인 컨셉과 함께 검토해야 한다. 재료선택단계에서 또한 선택된 재료가 디자인 컨셉과 조립 원칙에 부합하는지 재검토하며 재료선택이 완료되면 DFM단계에서 다시 디자인 컨셉, DFA, 재료가 생산과정에 적합한지를 검토하고 적합성을 판단한다.



[그림 2-5] DfMA 프로세스

출처: DfMA 홈페이지 <http://DfMA.com>(검색일: 23.06.15.) 자료를 활용하여 연구진이 재작성

□ 단계별 주안점

• 1단계: 개념 디자인

모든 제품 디자인 과정에서 가장 기본이 되는 출발점으로서 고객의 요구를 전문가의 용어로 재구성해야 하며 주요 기능과 목적, 제약사항을 결정, 판단해야 한다. 개념 디자인 단계의 목표는 가장 최선의 디자인을 찾기 위한 디자인 대안을 분석, 시험, 평가하는 것이다.

• 2단계: 조립을 위한 디자인(DFA)

2단계는 DFA로 조립 시간과 문제, 오류를 줄이는 것을 목표로 한다. DFA 과정에서는 DFM의 제약사항, 문제점, 요구사항 등을 판단함으로써 생산구조의 단순화를 구현해야 하는데 디자인의 질을 결정하는 핵심 지표는 제품 부품(부분)의 개수이며, 매뉴얼 또는 자동화될 수 있는 조립 방법을 고려해야 하며 이때 제품의 볼륨 및 복잡성이 영향을 준다.

◆ DFA(Design For Assembly)의 목적과 구현 방법

DFA의 목적과 효과

- 개념설계단계에서 제품의 기능을 결정하면 형상과 치수를 결정하며 이때 제품의 조립용이성을 파악하여 제품의 구조를 단순하게 하고, 쉽게 조립할 수 있도록 대안을 마련한다.
- 조립을 쉽게 할 수 있는 기본방법은 부품수 감소, 부품의 작동방법 및 조립 방법의 개선이라 할 수 있다.

- (부품 수 감소)부품 수를 줄이기 위해서는 부품들을 통합하여 하나로 설계하거나 연결 방법을 단순화하여 연결부위를 줄였다.
- (부품작동방법 개선) 부품을 조립하기 전에 부품을 이동하거나 준비 시 조립방향을 고려하여 디자인한다.
- (조립방법 개선)부품의 기능이 유지 된다면 부품형태를 조립환경에 맞도록 변경한다.

조립성 평가를 위한 조건

- 이를 위해서는 제품을 구성하고 있는 부품의 조립순서, 취급방법, 조립방법, 형상, 치수, 소재 등의 정보가 필요하며, 객관적 평가 척도인 조립성 평가는 **조립시간, 조립비용, 부품가격**을 통해 판단한다.
- 제작 전에 이러한 평가척도를 예측, 계산하려면 소재, 기능품, 외주가공품, 규격품에 대한 재료비, 내부조립시간 등의 많은 정보가 필요하며 설계단계에서 설계자가 DFA를 위한 정보를 모두 알 수 없으므로 기본 원칙을 고려한다.

일반적인 DFA의 원칙

- 부품의 수와 타입을 줄임
- 부품을 표준화함
- 자체고정이 가능한 형태로 디자인
- 조립하는 동안 부품의 재배치를 최소화
- 부품의 검사, 조작, 삽입이 가능하게 디자인
- 접근 및 제한이 없는 버전에 중점
- 톱다운 방식으로 조립
- 잘못 설치되지 않도록 디자인
- 다른 부재를 위치시킬 수 있는 기초부품을 디자인
- 자체 지정 및 자체 배열이 가능한 형태의 부품으로 디자인
- 가능한 부품을 크게 하고 부분들을 눈에 띄게 비대칭으로 구성

출처: <https://www.youtube.com/watch?v=UAZPugxUpQE>(검색일: 23.06.15.)

[표 2-1] 폐기물 종류별 발생 현황 및 추이

구분	부품수	작동개수	조립시간	조립비용
원디자인	19	6	227.43\$	1.72\$
신규디자인	8	2	83.98\$	0.65\$

출처: <https://www.youtube.com/watch?v=UAZPugxUpQE>(검색일: 23.06.15.)

- 3단계: 조립을 위한 디자인(DFA)

DfM은 제조과정의 문제나 에러, 시간 감축을 목표로 한다. 여기서 주안점은 세부 제조공정을 조정하는 것이라 할 수 있고, 이 단계에서 디자인 컨셉, DFA, 재료의 생산방법의 적합성을 다시 검토하고 피드백함으로써 최적의 설계안을 결정하게 된다.

◆ DFM(Design For Manufacture)의 목적과 구현방법

DFA의 목적과 효과

- 설계단계에서 가공이 쉽고, 비용을 최소화할 수 있는 방법으로 설계하기 위해서는 선정된 가공방법에 대한 공정분석(소재, 원자재 형상, 가공장비, 가공조건 등)과 분석결과인 가공시간, 가공비용 등의 정보가 DFA의 조립과정분석에 반영되어 제작원가를 예측할 수 있도록 한다.

- DFM의 기본 기능은 DFA 분석과정에서 가공품의 제작비용과 제작 시간을 예측하여 정보를 제공하는 데 있으나, 대부분의 제조업체에서 외주가공품의 원가산정에 활용하고 있으며, 각종 가공방법에 따른 설계대안에 대한 제작성 분석과 평가를 위한 방법으로 활용한다.
- DFM도 DFA와 마찬가지로 객관적 분석과 평가를 위한 도구가 필요하며, 현재 미국의 BDI 사는 부품의 기계 가공(절삭, 연삭), 판금작업, 사출금형에 관련된 소프트웨어를 개발하여 가공시간, 가공비용을 쉽게 평가한다.

일반적인 DFA의 원칙

- KISS (Keep it simple, stupid)*
 - 디자인을 불필요하게 겹치거나 복잡하게 하지 말 것
 - 부품의 개수, 복잡한 모양, 제조작업은 단순화
 - 비용을 줄이고, 신뢰도는 높이고 서비스는 쉽게, 내구성은 좋게
- 준화된 재료와 부재를 사용
 - 표준 부품, 표준 사이즈, 범용적으로 사용가능한 재료
 - 구매가 쉽고, 인벤토리 관리가 쉽고, 공급망을 강화할 수 있고, 불필요하게 도구화하는 지출 방지
- 제품디자인을 표준화
- 불필요한 작은 차이를 제거
- 공정이 쉬운 재료 사용
- 제조작업자와 협업
- 목표한 수준의 제품으로 디자인
 - 규모의 경제에서 제조규모가 커질수록 제조에 드는 비용은 감소
- 스냅핏 등 쉽게 활용할 수 있는 세부 프로세스 활용
- 도면에서의 프로세스 제한 방지

출처: <https://www.youtube.com/watch?v=UAZPugxUpQE>(검색일: 23.06.15.)

3) 솔루션 및 소프트웨어로서 DfMA²³⁾

DfMA는 최적의 부품 설계, 재료, 조립 및 제조 작업을 설정함으로써 제품을 보다 빠르고 비용 효율적으로 생산할 수 있도록 지원하는 엔지니어링 설계 검토 방법(솔루션)임과 동시에 BIM과 같은 정보기반 모델링 소프트웨어라고도 할 수 있다. 일반적으로 BIM(Building Information Modeling) 또한 정보기반의 건축물 구현소프트웨어 또는 플랫폼이라는 점에서 동일한 관점으로 이해할 수 있다. 즉 제조업에서 시작된 DfMA는 설계방법론이면서 동시에 이를 구현하는 소프트웨어라 할 수 있으며 관련하여 DFM, DEA, DFE와 DFS 등의 설계 관련 소프트웨어를 활용한다.

□ DFM Concurrent Costing 2.0

DFM Concurrent Costing은 설계자나 납품업체들이 제품의 초기 설계단계에 제품의 생산에 있어서 원가에 영향을 미치는 주요한 인자들을 분석할 수 있도록 도움을 주어 원가 산출에 다각적인 접근을 할 수 있도록 지원하는 프로그램이다. 설계단계에서 재료와 공정을 선택하고 부품 및 제조공정 원가 산출에 활용되며, 원가 분석을 통하여 원가를 예측함으로써 원가가 가장 적게

23) 김인호. (1999). DFMA의 개요 및 활용방안. 한국 CAD/CAM 학회지. 5(1).를 참고하여 연구진 재작성

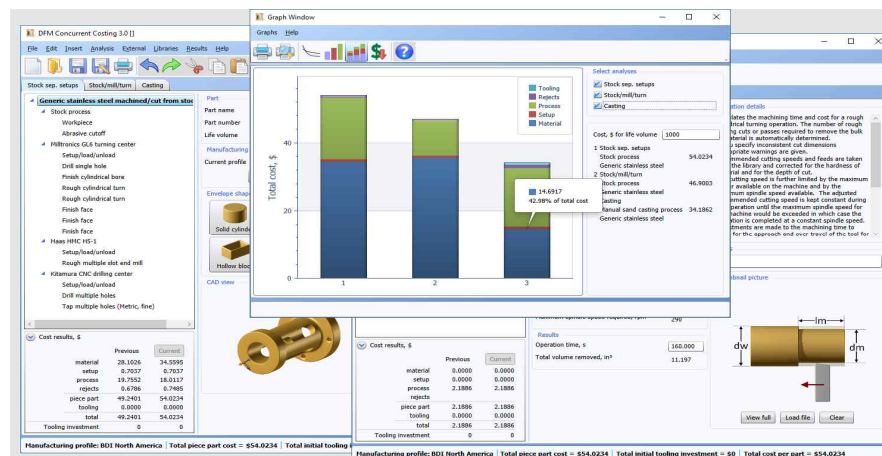
드는 형상 가공 방법을 선택할 수 있을 뿐만 아니라 가공비용을 최소화할 수 있도록 부품의 형상 변경이 가능하다. DFM 소프트웨어는 부품의 원가를 정량적으로 산출함으로써 여러 디자인 중 하나를 선택할 수 있는 평가기준을 제공한다. 사용자는 서로 다른 재료와 가공공정으로 원가를 분석하여 가장 적절하고 저렴하게 부품을 제조할 수 있다. 다른 CAD 패키지에서 생성한 3차원부품 형상 데이터는 또 다른 프로그램²⁴⁾ 파일에서 생성된 부품의 표면적, 체적과 투영 면적 등을 계산하여 원가 계산에 사용할 수 있다.

◆ DFM Concurrent Costing 2.0의 주요 기능

- 주요 제조 비용 모델 제공 / 운영 및 시스템 라이브러리 제공
- 비용분석, 비용 대비 수명 볼륨 그래프 / 재료 및 기계 조합 추정 및 비용 분석
- 여러 공급업체의 제조프로필(정보) 및 비용 비교 / 컨텍스트 도움말 시스템

□ DFA Product Simplification

DFA는 동시공학에서 핵심적인 소프트웨어로 조립 시간과 인건비를 정량화할 수 있도록 하고 제품 구조를 단순화하여 부품의 원가와 조립 비용 절감할 수 있도록 보조하는 프로그램이다. 또한 소프트웨어에서 제공하는 표준 조립 시간 외에 사용자가 추가 편집할 수 있는 데이터 베이스를 제공한다. DFA의 활용으로 인건비 42%, 부품 수 54%, 별도의 고정 장치 57%, 체 중 22%, 조립 시간 60%, 조립비 45%, 어셈블리 도구 73%, 어셈블리 작업 53%, 제품 개발 주기 45%, 총비용 50%의 비용 절감 효과를 달성할 수 있는 것으로 평가되고 있다.²⁵⁾



[그림 2-6] DFM Concurrent Costing 2.0화면

출처: DfMA 홈페이지 <http://DfMA.com> 자료(<https://www.dfma.com/pdf/dfmdescription.pdf>(검색일: 23.06.15.))

24) STL, DXF, OBJ, IGES와 VRML등의 파일 포맷으로 저장하면 Solid Concepts사의 SolidView/Pro 3-D에서 불러들여 사용가능

25) DfMA 홈페이지 <http://DfMA.com>를 참고하여 작성(검색일: 23.06.15.)

2. DfMA의 건축분야 활용

1) 활용 목적 및 기대효과

□ 도입 배경 및 목적

DfMA의 건축 분야 도입은 2013년 영국 RIBA(Royal Institute of British Architects)에서 ‘Plan of Work for DfMA implementation’ 발간 이후 2016년 싱가포르 조달청(Building and Construction Authority, BCA)이 BIM과 함께 공식화하였고 공공건축물 건립 시 의무적으로 적용하도록 규정하고 있다. 이어 2018년 영국 정부가 국토인프라 및 배관 건설에 DfMA 개념을 다시 거론하며 홍콩 등에서 활발히 도입하였다.

이에 앞서 근대이후 건축분야의 DfMA 개념 접목 사례로는 1925년 독일의 바이젠호프 지드룽 주거단지를 들 수 있다. 근대 건축가들이 표준화된 기성제품을 최신 기술을 접목하여 경제적이고 합리적인 공간의 새로운 주거형식을 전시회 형식으로 제안하였다. 이어 1928년 근대 건축가회 CIAM(Congres Internationaux d'Architecture moderne)의 쉬라즈선언(La Sarraz Declaration, 1928)에서 또한 대량생산 가능한 보편경제시스템의 일환으로서 최소한의 노동력을 활용한 합리적이고 표준화된 건축방식의 필요성을 역설한 바 있다.



[그림 2-7] 독일 바이젠호프 주택

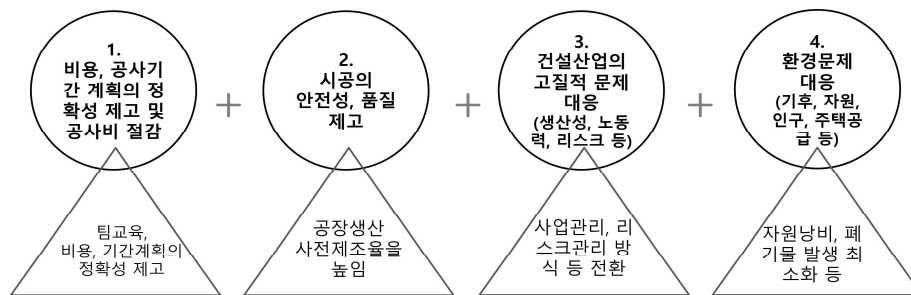
출처: (좌) 출처: https://www.tripadvisor.co.kr/Attraction_Review-g187291-d522630-Reviews-Weissenhof_Colony-Stuttgart_Baden_Wuerttemberg.html(검색일: 23.06.22), (우) 출처: <https://heypop.kr/n/57082/>(검색일: 23.06.22)

DfMA 기반 건축은 이러한 개념과 건축 방법론과 일맥상통한다. 최신 기술을 활용하여 균질한 성능의 건축부재를 생산하고 노동력이 최소화된 현장조립 공법으로 빠르게 건축함으로써 더 많은 건축물을 공급할 수 있다. 현대 DfMA의 발전된 차별성은 단순히 단일한 기성품으로서 건축부재 사용을 넘어 건축 구조 및 설비, 건축공간까지 제품으로 생산하고 현장제작을 최소화하며 이를 위해 설계단계에서부터, 제조 및 조립 과정을 염두에 둔 보다 통합적이고 유기적인 설계방법론으로 진화하고 있다는 점이다.

DfMA를 적극 도입 중인 영국의 경우 RIBA를 중심으로 네 가지의 DfMA 활용 목표를 제시하였다. 첫째, 건축 관계자들을 계획 초기에 참여시키고 정교한 설계를 통해 불필요한 예산낭비 방지 및 업무 효율을 높여야 한다. 즉 비용 및 공사 기간 계획의 정확성을 높이고 비용은 효과적으로 절감할 수 있어야 한다. 둘째, 공장과 유사한 조건의, 보다 안전한 환경에서 많은 시공을 부담함으로써 일반 건설방식보다 안전성과 시공 품질을 모두 향상하는 것이다.

셋째, 생산성, 노동력 공급, 공정 및 자재 관리의 효율성, 성능, 정보 및 리스크관리 등의 건설 산업의 오랜 고민을 극복하는 것이다. 넷째, 기후, 공기, 생물 다양성, 자연 서식지, 천연자원과 재료의 이용 가능성, 인구 규모, 도시화, 주택 공급, 그리고 잠재적 재앙이 될 수 있는 기후 변화를 포함한 예측 가능한 문제에 대비하는 것이다.

건축 분야에 적용되는 DfMA는 설계 프로세스를 합리화하고 재료선택을 개선하며 건물의 공사 계획 및 물류를 최적화하는 데 초점을 둔다. 반복적이고 가급적이면 표준화된 구성요소와 하위 어셈블리(반조립부재) 또는 어셈블리(조립부재)를 사용하여 건물을 설계하고 시공한다. 이때 설계에 따른 건축 부재를 공장에서 생산하고 현장으로 이동하여 안전하고 빠르게 직접적으로 조립할 수 있는 시공계획을 수립해야 한다.



[그림 2-8] DfMA의 건축적 활용 목표
출처: 연구진 작성

□ DfMA 건축의 기대효과²⁶⁾

DfMA 건축을 통한 기대효과는 건축물을 조성하는 과정의 안전성, 시공품질, 경제성을 제고할 수 있다는 점을 들 수 있다. 안전성 제고의 경우 건축시공과정 중 발생하는 사고위험에 노출될 상황을 감소시킨다는 점인데 공장이 현장보다 80% 더 안전한 것으로 평가되고 있다. 비용적으로는 공장생산을 위해 산업표준을 더 많이 사용하게 됨으로써 자재 비용을 낮추어 현장 제작 시공 대비 가격 경쟁도 높일 수 있다. 또한 설계의 정확도가 높아짐에 따라 낭비도 줄일 수 있다. 시공품질 향상 효과의 경우 사전 제작조립품의 정확성과 품질 및 현장 조립의 용이성

26) RIBA, DfMA Overlay to the RIBA Plan Work의 주요 내용 참고

으로 부설시공을 최소화함으로써 건축물 성능품질을 향상시킨다. 특히 건설현장 인건비의 경우 공장제작 인건비보다 2배 이상이 비싸지만 반면 생산성은 공장 생산이 현장 생산보다 200% 가량 높다.

한편, 이러한 세 가지 효과와 더불어 환경적 측면에서 효과를 함께 제시할 수 있다. 정확한 설계에 기반한 건축 부재의 공장제작으로 재료낭비가 줄어 환경폐기물을 감소시키고 필요한 것만 운송되므로 운송과정에서 발생하는 탄소량과 소음 공해도 최소화 할 수 있다. 또한 현장에서는 시공속도가 빨라져 각종 장비사용이 줄게 되며 그에 따른 에너지 및 물 소비를 최소화 한다. 사후 효과로는 건축물 성능품질이 향상되어 건축물 내구성 및 에너지 효율성도 좋아지게 되고 결과적으로 건물사용에 따른 탄소배출도 감소된다. 건축물 해체 시에도 건축 부재, 부분재 조립품 및 사전 조립품을 보다 쉽게 해체하여 재사용할 수 있어 건축물의 사회적 순기능이 확대된다.

2) 건축분야 DfMA 활용 방향²⁷⁾

건축산업은 건축시장, 정책 및 산업 여건 등 내외부적 특수성에 영향을 많이 받으므로 이를 염두에 둔 실행 가능한 활성화 전략이 필요하다. 즉 건축은 개별 수요자의 요구와 사업부지와 주변 환경, 사회 경제적 상황, 정책적제도적 여건 등을 고려한 단일 프로젝트라는 점에서 여타의 공장 생산품과 차별성이 있다. 따라서 '표준화된', '보편적으로 모두에게 적합한' 건축물을 대량 생산하는 설계는 매우 어렵다. 이에 DfMA 기반 건축 구현을 위해서는 세 가지 차별화된 전략이 필요하다.

첫째, 건축물 구축방식(시공주체, 프로세스) 및 외부적 요인을 반영한 실행전략이 필요하다. 둘째, 건축 자체 생산방식의 경우 공정별로 다양한 전문공정이 분할됨에 따라 어떤 공정에 초점을 둔 제조·조립 방법을 적용할 것인지 전략을 마련해야 한다.²⁸⁾ 마지막으로, 모든 건축 관계자가 함께 참여하여 협업하고 함께 기획 및 관리할 수 있는 디지털 소프트웨어 기반의 플랫폼(BIM 등)이 갖추어져야 한다.

한편 DfMA는 일반 신축 건축물 외 소규모 건축물, 기존건축물 등 모든 종류의 건축 프로젝트 및 소규모 기업에서도 활용 가능하며, 설계단계에 건축주와 건설업체뿐 아니라 하청 계약자, 건축 부재 제조업체, 엔지니어, 각종 컨설턴트 등 건축사업 관계자가 모두 관여할 수 있다. 특히 제조조립 효과 검토 및 비용 시뮬레이션, 제품생산 및 관리를 위한 디지털 기반 디자인 관리 도구(앞서 살펴본 DFA, DFM 등의 기능이 가능한 소프트웨어 또는 솔루션으로서 BIM)가 필요하다.

27) RIBA에서 제시하고 있는 비전(Vision)을 참고함 (DfMA Overlay to the RiBA Plan of Work, 2021)

28) 나경철, 김창덕. (2001), 협력설계를 통한 건설 프로세스 개선 방안. 한국건설관리학회논문집. 제2권제4호, p.148

◆ DfMA 기반 건축 구현을 위해 BIM을 적용하는 이유

- BIM을 통해 디자인 공장제조 및 현장 조립에 최적화된 디자인이 가능



[그림 2-11] DFA Product Simplification

출처: RIBA, DfMA Overlay to the RIBA Plan Work/ BCA, Design for Manufacture and Assembly

이와 더불어 건축에서 제조조립의 효율성을 고려한 사전 제조율 반영해야 한다. 이 경우 공장 등 현장 외의 장소에서 생산 및 조립되는 건축시공 비율(PMV; Pre-manufactured value)을 사업 효율성을 판단하는 지표로 활용하는데, 총 사업비에서 예비비(현장건설의 간접비) 및 현장 인건비를 뺀 값을 전체 사업비로 나눈 값으로 계산한다. PMV가 높을수록 예비 및 현장 노동에 소요되는 사업비 비율이 작아 이론적으로 사업 효율성은 높아진다. CLC(영국 주택위원회, Construction Leadership Council)에서는 그 판단 기준을 40%로 설정하고 있다.

$$\text{사전제작비율(PMV)} = \frac{\text{총사업비} - (\text{현장건설 예비비} + \text{현장건설 인건비})}{\text{총사업비}} \times 100$$

□ DfMA 건축 구현을 위한 분류²⁹⁾

Gibb(2001)의 분류에 따르면 DfMA 건축 구현 방법은 건축부재의 조합 및 기술적 결합 수준에 따라 크게 4개의 레벨로 설계의 방향을 결정한다. 레벨 1은 표준화된 건축부재(구조, 건축, 설비)와 일부 요소들을 반조립한 상태이며, 레벨 2는 레벨 1 요소들을 보다 복합적으로 조립한(예: 2차원 프리캐스트 콘크리트 벽 패널, 사용 공간이 포함되지 않은 프리캐스트

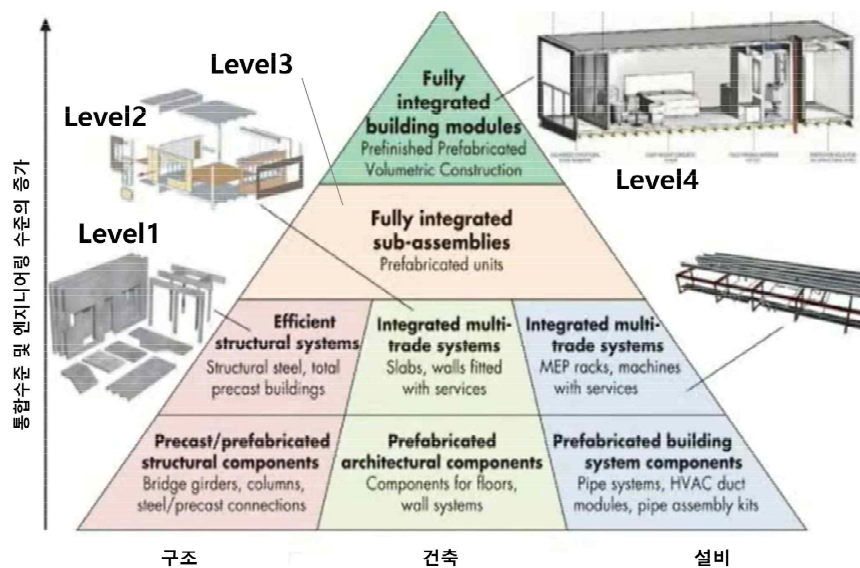
29) Alistair Gibb, 2001., Standardization and pre-assembly- distinguishing myth from reality using case study research, Taylor & Francis Journals, vol. 19(3), pages 307-315.

구성 요소) 상태다. 레벨 3은 3차원 유닛(예: 실내욕실, 주방 유닛) 또는 해체되어 있으나 현장에서 조립만 하면 되는 조립부재이며, 레벨 4는 완성된 기능의 3차원 모듈러가 하나의 단위 부재인 상태를 의미한다. 즉 레벨이 올라갈수록 건축부재의 공장 제작 및 조립 비율이 높아지게 된다. 여기서 DfMA 건축 요소로는 구조부재, 공간구성부재, 설비부재로 구분할 수 있으며 레벨별 기술적인 결합정도에 따라 설계 및 공사방식이 달라질 수 있다.

[표 2-2] DfMA 건축사례 분석 범위

구분	내 용
레벨 1	표준화된 건축부재(구조, 건축, 설비), 또는 이들의 반조립 상태
레벨 2	표준화된 건축부재들을 기능적으로 복합한 상태
레벨 3	현장에서 조립만 하면 되는 복합부재, 또는 단위모듈(욕실, 화장실 유닛 등)
레벨 4	완성된 기능의 3차원 모듈러가 하나의 단위 부재인 상태

출처: Alistair Gibb, 2001., Standardization and pre-assembly- distinguishing myth from reality using case study research, Taylor & Francis Journals, vol. 19(3), pages 307-315.를 참조하여 연구진이 재작성



[그림 2-12] DfMA 건축 구현을 위한 방법구분

출처: BIM Handbook, Third Edition, p. 281

3) DfMA 관련 건축의 종류

‘공장에서 제품을 생산하고 현장에서 조립한다’는 방법적 측면에서 DfMA 기반 건축과 유사한 개념의 건축용어들이 사용되고 있다. 대표적으로 ‘OSC(Off-site Construction, 탈 현장 건설)’, ‘PC건축(Prefabricated Construction, 조립식건축)’, ‘공업화 건축(Industrialized Construction)’, ‘모듈러 건축(Modular Construction)’이 있다. 다만 DfMA의 경우 ‘최신 기술’을 활용한 ‘정교한 설계’와 ‘건축 관계자 사전 협력체계 구축’ 등 제조조립을 위한 설계 과정의 요건이 중시된다는 점에서 차별성이 있다.

① 탈현장 건설(Off-site Construction, 이하 OSC)

OSC는 건축물의 부지가 아닌 공장 등에서 생산된 건축물 부재를 현장으로 운반하여 설치 및 시공하는 건축 방식으로, 현장중심의 공사방식(Site-built Construction)이 갖는 생산성 문제에 대한 해결책으로 주목받고 있다. 관련하여 대한건축학회(2020)는 ‘일반적으로 전통적인 현장 중심 생산방식에서 벗어나 건축물의 부지가 아닌 공장 등의 장소에서 계획, 생산, 조립된 건축물 부재를 현장으로 운반하여 설치 및 시공하는 건축 생산방식’으로 정의하고 있다.³⁰⁾ 미국 빌딩과학협회에서는 ‘영구적 구조물을 좀 더 빠르고 효율적으로 건설하기 위해 현장 밖에서 건축물의 요소들을 제작하고 현장으로 운송해서 미리 제작된 건축물의 요소를 조립하여 건축물을 완성시키는 건축 방법’으로 정의하고 있다.³¹⁾ 공통적으로 구조나 부재가 전체 혹은 부분적으로 시공 현장과 떨어진 장소에서 제작된 후 현장으로 운송, 인양되어 최종 위치에 시공되는 선 공장 생산, 후 현장시공 공법³²⁾을 지칭한다.

② 조립식 건축(Prefabricated Construction)³³⁾

전통적인 현장 작업으로 이루어지는 건축 방식 대부분이 공장 작업으로 진행되며, 공장 작업장에서 건축용 부자재와 부품(슬래브, 벽판, 계단, 베란다 등)을 가공하여 제작해 건설 현장으로 운송하고, 신뢰성이 있는 작업 방식으로 현장에서 조립하여 설치하는 건축 방식이다. 조립이라는 용어는 기계 분야에서 최초로 사용되었으며, 부품을 정해진 기술대로 조립하여 시험, 검사를 거쳐 양질의 완제품으로 만드는 과정을 가리키며 건축 분야에서 조립식 건축은 공장에서 만든 건물의 각 부분을 공사 현장에서 직접 조립하여 만드는 건축 방식을 의미한다. 부자재를

30) 이진미, OSC 활성화를 위한 선진국의 법 개정과 표준 신설 동향, 대한건축학회논문집 Vol.38 No.3, 2022.3 p.6

31) 배병윤, ‘OSC 활성화를 위한 제도개선 방향’, 주택공급 혁신의 뉴 패러다임, OSC 심포지엄 발제자료, 2022.10

32) 이진미, OSC 활성화를 위한 선진국의 법 개정과 표준 신설 동향, 대한건축학회논문집 Vol.38 No.3, 2022.3 p.6

33) 장건위, (2022), 조립식 건축 부자재 제작기기 디자인 연구:EPS 스틸메시 구조체 제작 용접기를 중심으로, 상명대학교 박사학위논문, p.11-12

공장에서 사전 제작하고 현장에서 조립·설치하는 모델로, 표준화된 디자인, 대규모 생산, 조립 공사, 일체화된 인테리어와 정보화 관리가 특징이다.



[그림 2-13] 조립식 건축 유형 : 콘크리트구조(左), 철골구조(中), 목구조(右)

출처: '조립식 건축 부자재 제작기기 디자인 연구:EPS 스틸메시 구조체 제작 용접기를 중심으로', 상명대학교 박사학위논문, 2022, p.13

③ 공업화 건축(Industrialized Construction)³⁴⁾

공업화 건축의 학문적 정의는 현장 이외의 장소(공장 등)에서 제작된 부재(단위 유닛)를 현장에 반입하여 조립하는 주택을 포괄하는 것으로 미국은 'manufactured house', 일본은 'smart system', 영국은 'modular building'으로 부른다. 국내에서는 공업화 건축의 개념을 적용하여 「주택법」의 '공업화 주택'을 정의하고 있는데 이는 주요 구조부의 전부 또는 일부를 국토교통부에서 정하는 성능기준 및 생산기준(공업화주택의 성능 및 생산기준)에 따라 맞춤식 등 공업화공법으로 건설하는 주택을 의미한다.³⁵⁾

성능기준으로는 구조안전성, 환기 및 기밀성, 열환경성(단열, 결로방지), 내구성(방청, 방부)이 있으며, 생산기준으로는 콘크리트 조립식 부재의 생산기준, 경량기포 콘크리트 조립식 부재의 생산기준, 그 밖의 조립식 부재의 생산기준이 있다. 공업화 건축의 주요 공법으로 PC공법, 패넬라이징 공법, 모듈러 공법으로 구분할 수 있다.³⁶⁾



[그림 2-14] 공업화 건축의 주요 공법 : PC 공법(左), 패넬라이징 공법(中), 모듈러 공법(右)

출처: 1. 네이버뉴스 홈페이지 <https://n.news.naver.com/mnews/article/001/0007061677>(검색일: 23.07.13.)

2. 네이버 블로그 <https://blog.naver.com/haven313/50075636597>(검색일: 23.07.13.)

3. 문화뉴스 홈페이지 <https://www.mhns.co.kr/news/articleView.html?idxno=405317>(검색일: 23.07.13.)

34) 국토교통부 홈페이지, 국토교통상식 '공업화주택이란'

35) 「주택법」 제51조 제1항

36) 한국건설기술연구원 모듈러건축연구센터(2020), 똑똑하고 빠르게, 지속가능한 모듈러 건축. p.113

이 중 PC(Precast Concrete)공법은 공장에서 콘크리트로 벽체, 기둥 등 각종 부재를 제작하고 현장에서 조립하는 것이고 패널라이징(Panelizing) 공법은 설계에 따라 공장에서 재단된 패널을 현장에서 바로 조립하여 벽체를 세우는 방식, 모듈러(Modular)공법은 공장에서 3차원 단위 유닛 형태의 모듈을 제작한 후 현장에서 조립하여 건축물을 완성하는 공법을 의미한다.

④ 모듈러 건축(Modular Construction)

국제적으로 통용되고 있는 모듈러 건축의 정의는 ‘공장생산 건축(factory made architecture)’으로 대형 또는 부피 구성요소 또는 건물 상당 부분이 공장에서 사전 제작되어 현장으로 운송하여 인양 및 조립되는 선 엔지니어링된 부재 단위(pre-engineered building units)를 말한다. 그러나 국내 산업계 및 연구기관에서 언급하는 모듈러 공법은 통상적으로 창호, 벽체, 전기배선, 배관, 설비, 욕실, 주방기구 등 자재와 부품이 포함된 볼륨 매트릭스(Volumetric 3D) 형태의 박스모듈을 공장에서 제작하여 현장에서 조립 및 설치하는 공법을 말한다.³⁷⁾

이는 OSC의 개념을 적용하여 공장에서 건축물을 사전에 제작하고 현장에서는 조립 및 설치하는 방식으로 공장에서 건축물의 부재 혹은 공간 단위로 40~90%를 완성하고 현장에서는 각각의 완성된 부재 혹은 공간을 조합하며 경우에 따라 건축물 철거 시 각 요소를 분해하여 재사용 가능하다. 따라서 모듈러 방식을 적용한 건설 프로젝트는 설계, 제작, 시공의 상당 부분이 통합된다.³⁸⁾ 모듈러 공법에서도 조립작업은 수반되나 완성도 높은 단위 표준형(Unit Module) 부재를 생산, 조립함으로써 현장에서의 작업량을 줄일 수 있다.³⁹⁾

• 모듈러 건축의 분류

모듈러 구성방식은 볼류메트릭(Volumetric, 3D)과 비볼류메트릭(Non-volumetric, 2D)으로 분류한다.⁴⁰⁾ 볼류메트릭은 정제된 공간의 3차원 개별 유닛을 오프사이트에서 사전 제작 후 현장에서 조립하여 단일건축물을 형성하며 비볼류메트릭은 프레임, 보, 및 기둥과 같은 구조적 요소, 빌딩 파사드 및 마감재 부품, 벽 패널과 실내 파티션, 바닥 카세트 및 슬래브, 지붕 트러스 등으로 비볼류메트릭 요소는 볼류메트릭 모듈러 유닛에 비해 부피가 적어 운송비용 절감 가능하나 현장에서 조립 및 실내공간에서의 작업에 추가 비용 소요된다. 모듈러를 구성하는 재료는 대체로 강재와 목재가 많고 PC, FRP, 또는 이들 재료를 혼합하여 사용하기도 한다. 일반적으로

37) 장명수, 이명식, (2020), ‘그린-스마트 이동식 모듈러 교사 통합설계 프로세스에 관한 연구’, 대한건축학회 논문집 Vol.38 No.5, p.56

38) 강인섭, "국내 도심지 소규모 공동주택을 위한 체적과 비체적의 통합 모듈러 건축설계," 국내석사학위논문 충남대학교 대학원, 2022.8. p.21

39) 김장욱, ‘모듈러 및 인공지능 기술을 적용한 지속가능한 건축설계기법’, 2022년 대한건축학회 춘계학술 발표대회논문집 제42권 제1호 2.22.4. p.219

40) 상계서, p.13

라멘구조 및 벽식구조의 적층식과 인필식으로 시공하며 대지 정착여부에 따라 정주형과 이동형으로 구분한다.

[표 2-3] 모듈러 건축의 분류

모듈러 건축 분류기준	모듈러 건축의 유형
모듈러 구성방식	볼류메트릭(3D), 비볼류메트릭(2D)
모듈러 건축 유형별 기술	유닛 모듈러 공법, 패널라이징 공법, 유닛 모듈-패널 하이브리드 공법
모듈러 주요 구성재료	강재, PC, 목재, FRP, 복합재
시공방법	적층식(라멘구조, 벽식구조), 인필식
이동·재사용 가능 여부	정주형(PMC, Permanent Modular Construction), 이동형(Relocatable Building, RB)

출처: 한국건설기술연구원 모듈러건축연구센터(2020), 똑똑하고 빠르게, 지속가능한 모듈러 건축. p.13-19

⑤ MiC(Modular Integrated Construction)⁴¹⁾

MiC는 홍콩에서 제시된 건설 방법이며 DfMA 건축에 포함된다. 일반적인 모듈러 건축에서 더 구체화하여 현장 건설 프로세스를 통제된 공장 환경으로 이전하여 공장에서 구조 및 설비, 건축마감재가 완성된 독립형 통합 모듈(마감, 고정 장치 및 피팅으로 완성)을 제조·조립하는 방식이다. 기상 조건이나 부족한 노동자원 및 현장 제약으로부터 영향을 덜 받고 높은 수준의 품질 관리, 건설 생산성, 안전성 및 지속성을 향상시킬 수 있다.

⑥ PPVC(Prefabulated Prefinished Volume Construction)

PPVC(Prefabulated Prefinished Volume Construction)는 싱가포르정부가 개발한 DfMA 기반 건축이라 할 수 있다. PPVC는 공장에서 내부마감재까지 완성한 3차원 모듈을 현장에 배송하여 조립하는 방식으로 홍콩 MiC와 유사하나 더 다양한 재료를 기술적으로 발전시켜 산업적 활용을 확대하고 있다. PPVC 또한 인력 및 공기절약을 위한 생산성 향상, 소음 및 먼지 등 건설환경 개선, 시공품질관리 향상을 목적으로 하며, 공공사업에는 의무적으로 적용되고 있다.

⑦ MMC(Modern Methods of Construction)⁴²⁾

스마트건설로도 알려진 'MMC'는 '전통적인 건축물의 대안으로 영국에서 등장한 개념이며 대량생산과 공장조립과 같은 현장 밖에서의 건설 기법에 초점을 맞춘 공정'으로 '더 짧은 시간 안에 더 많은 양질의 주택을 생산할 수 있는' 방법으로 설명되고 있다. 역사적으로 2차

41) CIC 홈페이지 <https://mic.cic.hk/en/MiCDisplayCenter>(검색일: 2023.05.15.)

42) Go Construct 홈페이지 <https://www.goconstruct.org/educational-resources/learn-about-construction/modern-methods-of-construction/>(검색일: 2023.09.01.), ZURICH 홈페이지 <https://www.zurich.co.uk/news-and-insight/what-are-the-types-of-modern-methods-of-construction>(검색일: 2023.09.01.)

세계대전 이후 급증한 주거용 건물 수요를 충족시키기 위해 등장하였고 인건비절감과 불필요한 낭비방지, 품질 향상, 에너지 효율성 향상을 추구하며 이를 위해 설계 및 시공분야의 혁신기술을 적극 채택하고 있다. 이러한 측면에서 MMC는 OSC와 DfMA를 포괄하는 개념으로 해석할 수 있다.



[그림 2-15] 건설산업에서 MMC와 OSC, DfMA의 개념

출처: Wider Adoption of DfMA in MEP Works (1) - Ir WONG Chi Kwong (Vice President, Building Engineering (MEP), AECOM HK), DfMA MiMEP Tradeshow 2021.3.2.

3. 소결

□ DfMA의 개념과 목적

DfMA(Design for Manufacture and Assembly)는 제품 설계단계에서 그 후속 공정인 제작 및 조립에 필요한 조건을 반영함으로써 제품의 구성요소인 부품들의 제작 및 조립 효율성을 높이기 위한 설계방식이다. 이는 기본적으로 제품 설계를 보다 쉽고 효율적으로, 그리고 최소한의 시간과 노력, 비용을 들여 제품 제조와 조립을 가능하게 하는 일련의 디자인 방법론이라 볼 수 있다.⁴³⁾ DfMA를 사용하는 목적은 첫째, 생산구조를 단순화하여 생산과 조립에 투입되는 비용을 절감하고 둘째, 생산과 조립의 문제점을 사전에 파악하여 대처하는 것이며 셋째, 수요 및 공급자 간 계약 협상을 위한 비용관리를 지원함으로써 결과적으로 재료낭비 최소화, 산업 현장 위험 감소, 균질한 품질확보와 더불어 환경 친화적 효과를 달성하는 것이다. 이러한 세 가지 목표는 상호 보완적이며 현재 건축산업이 당면한 과제 해결을 위한 방향과 맞닿아 있다.

43) 정서영(2021), 'OSC 프로젝트의 최적 설계안 선정을 위한 DfMA 평가모델', 광운대학교 박사학위논문을 참고하여 정리

□ DfMA 건축 활용 효과

DfMA 건축도 제조산업과 같은 맥락에서 그 효과를 설명할 수 있다. 즉 건축설계 프로세스를 합리화하고 재료선택을 개선하며 건물의 공사 계획 및 물류를 최적화하는 데 초점을 두고 있다. 이에 따른 건축적 효과는 첫째, 건축물 조성과정의 안전성, 품질, 경제성을 제고하고 자원의 낭비 및 운송비를 절감하며, 에너지 사용과 폐기물 발생을 감소시켜 지속 가능한 환경 구축에 기여 한다는 점이다. DfMA를 선제적으로 도입한 국가는 건축산업이 당면한 과제라 할 수 있는 노동 및 인력 문제, 끊임없는 공사현장 안전사고, 빈번한 설계변경과 그에 따른 시공 품질 저하 및 공사비 증가, 건설 소음 및 각종 폐기물 처리, 민원 등의 대응 수단으로 이를 활용하고 있으며 효과 검증과 데이터 축적을 통해 시장을 확대해 나가고 있다.

□ DfMA 기반 건축 구현을 위한 방향

건축산업에서 DfMA 활용을 확대하기 위해서는 크게 세 가지 전략을 필요로 한다. 첫째, 건축 생산방식이나 정책 및 산업여건 등 건축의 내외부적 특수성에 상응하는 실행 전략을 마련해야 한다. 둘째, 최대한 많은 건축 관계자가 설계과정에 참여해야 하므로 협업과 관리가 유리한 디지털 기반 플랫폼(BIM 등)이 필요하다. 특히 DfMA 건축 설계과정에 시공 편의와 효용을 담보할 수 있어야 한다. 이때 전제조건으로는 건축물 조성 및 관리단계에 정확한 정보를 공유할 수 있어야 한다. 건축물 정보에 기반을 둔 BIM의 경우 건축물 공정 간 또는 단계별 정보를 상호 공유하고 발생 가능한 변수에 더 쉽고 능동적으로 대응할 수 있으며 사전에 복잡한 공정의 간섭도 체크할 수 있어 DfMA건축에 필수적이다.

셋째, 건축에서 제조조립 효율성을 고려한 사전 제조율을 높여야 한다. DfMA건축은 근본적으로 제조에 기반을 둔 건축방식이고 따라서 건축 어떤 부재를 공장에서 제작(공업화)하고 어느 수준으로 조립 할지 결정해야 한다. 개별 건축요소를 현장에 도입하여 조립 공정을 높이는 것 또한 초보 단계의 DfMA건축을 실현하는 방법이 될 수 있다. 이를 토대로 제작부위를 늘려 가면 Level4의 모듈러건축까지 확장되는데 많은 공정이 공장에서 이루어지므로 건설현장의 문제를 줄이고 보다 균질하고 안정된 건축성능을 담보할 수 있게 된다.

제3장 국내 DfMA 기반 건축 현황 및 한계

1. DfMA 기반 건축 관련 법제도 운영 현황
 2. DfMA 기반 건축 관련 정책 추진 현황
 3. DfMA 기반 건축산업의 현황
 4. DfMA 기반 건축에 관한 산업계 전문가 의견조사
 5. 소결 : 국내 DfMA 기반 건축의 한계 및 제도개선 방향
-

1. DfMA 기반 건축 관련 법제도 운영 현황

1) BIM 관련 기준

□ BIM의 제도 운영 현황⁴⁴⁾

BIM(빌딩정보모델링, Building Information Modeling)은 공간 유닛의 공장생산을 위한 자동화 공정과 적정 물량의 산출, 생산품의 품질 관리 및 합리적이고 체계적인 조립 시공 절차 마련 등을 위한 필수 요건이다. 건축산업에서 BIM 활용은 「건설기술진흥법」 제10조의2에 근거하고 있으며 이는 건설기술과 정보통신, 전자, 기계 등 타 분야의 융·복합 기술 활성화를 위한 스마트건설지원센터(한국건설기술연구원에 위탁)설치·운영에 관한 규정으로 BIM의 활용에 관한 구체적이고 직접적인 사항은 부재하다.⁴⁵⁾ 다만 「건설기술진흥법 시행령」 제27조의2의 스마트건설기술지원센터의 업무 및 운영에 관한 규정에서 건설정보모델링(BIM) 관련 정책개발 및 활성화 지원 및 지침을 마련할 것을 명시하고 있으며 이를 토대로 관련 지침을 개발·제공하고 있다.

44) 국토교통부. (2020.12). 건설산업 BIM 기본지침. 머리말 참조: 3차원 설계와 건축물 조성과정에서 필요한 빅데이터를 융복합한 빌딩정보모델링(BIM, Building Information Modeling) 기술은 건축물의 계획-설계-조달-(공장생산)-시공-유지관리 등 전 생애주기 정보의 통합을 바탕으로 각 단계별 관계자의 효율적인 소통을 통해 건축물 조성과정에서 생산성과 시공성, 효율성을 극대화하는 스마트건설의 핵심 수단

45) 「건설기술진흥법」 제10조의2(융·복합건설기술의 활성화)②국토교통부장관은 융·복합건설기술을 활성화하기 위하여 스마트건설지원센터를 설치·운영할 수 있다.

◆ 정부 정책에 반영된 BIM

- 2018.10.31. 스마트 건설기술 로드맵 : BIM기반 스마트설계 분야에서 지형·지반 모델링 자동화 관련 AI 기반 BIM 연계 지반모델링 자동화 기술과 BIM 적용표준 관련 축적된 BIM 빅데이터 활용을 위한 표준 구축, AI기반 BIM설계 자동화 기술 확립을 추진
- 2020.4.~2025.12. 스마트건설기술개발사업 : 총사업비 1,969.8억원, 사업기간 5년 9개월에 걸쳐 진행하는 스마트건설기술개발사업을 통해 도로구조물에 대한 설계-제작-시공의 혁신을 위한 디지털(BIM) 가상 건설 실현과 관련 기술개발 과정에서 생성된 정보를 교환 가능한 디지털 정보로 표준화하고 민·관이 공유·활용 가능한 디지털 지식 플랫폼 개발 및 종합 테스트베드 운영
- 2018~2022. 제5차 건설산업진흥기본계획 : 민간 기술개발 및 품질 확보를 촉진하기 위해 현재 일부 건축 분야에 적용되고 있는 BIM 등 핵심기술에 대한 토목 및 건축 전 분야 적용을 단계적으로 의무화 추진
- 2018~2022. 제6차 건설기술진흥기본계획 : 4차산업 혁명에 대응한 기술개발을 위해 스마트 건설기술을 통한 생산성 향상을 도모하고 인프라 BIM을 활용한 가상시공(pre-con) gn, 3D 프린터를 활용하여 공장에서 건설 부재를 모듈화로 제작하고, AI를 탑재한 다기능 건설로봇에 의해 현장에서 조립하는 스마트 건설 자동화 기술 개발, 도로·철도 등 인프라 분야에 대한 BIM 도입 전략 및 설계기준 등을 마련하여 인프라 BIM 활성화를 추진하고 인프라 BIM 적용 확대를 위한 BIM 설계기준 제·개정 및 사용 주체별·공사단계별 가이드라인 등 마련 추진. BIM 적용을 활성화하기 위한 로드맵 수립과 2020년까지 500억원 이상 도로 사업에 대한 BIM 적용 의무화 추진
- 2022.7. 스마트 건설 활성화 방안 : BIM 도입을 통한 건설산업 디지털화를 위해 「BIM 시행지침」 제정, 설계·시공기준 디지털화, BIM 대가기준 마련 및 예산편성 지침 반영, 2022년 1,000억원 이상에서 2028년까지 300억원 이상 BIM 적용 의무화 추진

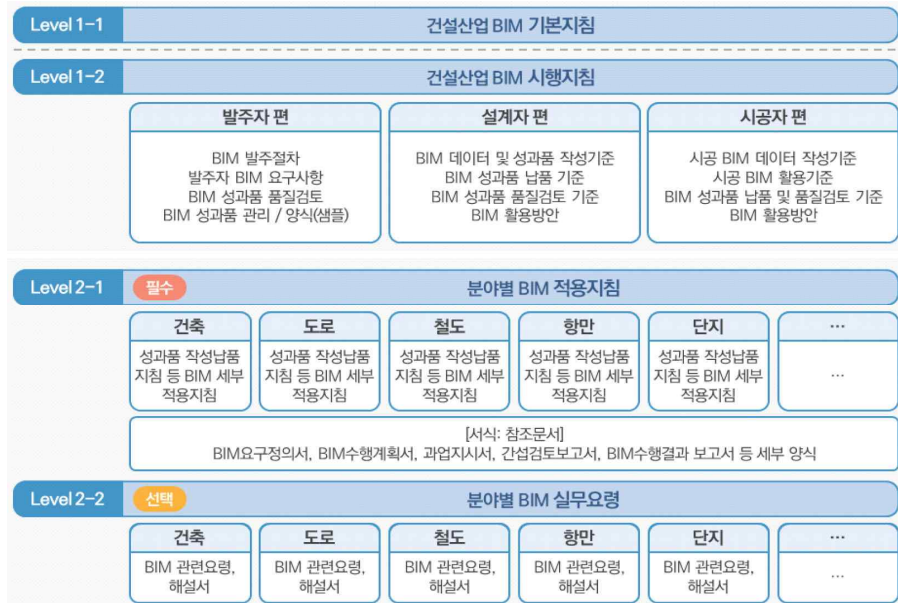
출처: 국토교통부(2018). 건설 생산성 혁신 및 안전성 강화를 위한 스마트 건설기술 로드맵, 한국과학기술기획평가원(2019). 스마트 건설기술 개발사업, 국토교통부(2018). 제5차 건설산업진흥기본계획, 국토교통부(2018). 제6차 건설기술진흥기본계획, 국토교통부(2022). 스마트 건설 활성화 방안.

□ 우리나라 BIM 지침

「건설기술진흥법」에 따라 국토교통부가 마련한 [건설산업 BIM 관련 지침]은 정부에서 공통으로 제시하는 ‘기본·시행지침’과 발주처별 기관 특성에 맞게 정한 ‘적용지침’으로 구분된다. 정부에서 제정한 「BIM 기본지침(2020.12)」은 BIM 적용을 위한 기본원칙과 표준에 관해 다루는 최상위 공통지침에 해당하며 「BIM 시행지침(2022.07)」은 BIM 성과품의 작성·납품 및 활용에 대한 방법과 절차 등 세부기준을 제시하고 있다.

「BIM 적용지침」은 공공부문에서 효율적인 사업 추진을 위해 필요한 BIM 적용절차와 데이터 작성기준, 품질기준, 대가기준 등을 제시한 것으로 서울주택도시공사가 가장 먼저 시행하였다. 서울주택도시공사는 2023년 이후 시행하는 총공사비 500억원 이상 공동주택 설계에 대해 BIM을 의무 적용하기로 하고 새로 마련한 건축설계분야 BIM 대가기준에 따라 기존 설계비 대비 최대 10%의 대가를 추가하였다.⁴⁶⁾

46) 서울경제 홈페이지 <https://www.sedaily.com/NewsView/26EZL99T0O>(검색일: 2023.08.14.)



[그림 3-1] BIM 지침의 위계

출처: 국토교통부, (2022.12.). 건설공사 BIM 시행지침 : 발주자편, p.13

□ 국토교통부 BIM 기본지침(2020.12)⁴⁷⁾

2020년 12월에 국토교통부가 제정하여 발표한 「BIM 기본지침」은 발주처 및 분야별로 개발되는 「BIM 적용지침」의 실무적용 혼선을 방지하고, 디지털정보의 원활한 공유·교환·관리 및 일관성 있는 업무수행을 유도하기 위한 국가 최상위 지침에 해당하며 건설 산업 전반에서 BIM의 적용 원칙과 방향성을 제시하고 있다. 「BIM 기본지침」의 내용은 BIM을 적용한 건설 사업 과정에서의 협업, 데이터 관리와 표준 등 사업 수행을 위한 기본적 절차와 방향, BIM 적용 원칙 및 단계, 방법, 계획 등이다. 구체적인 적용 대상은 「건설산업기본법」 제2조(정의) 제1호에 따른 건설산업(건설공사를 대상으로 하는 건설업 및 건설용역업)이다.

BIM은 건설공사의 조사-설계-발주-조달-시공-감리-유지관리 등 전(全) 생애주기 단계에 적용하는데 특히 설계단계는 전면 BIM설계(이하, “BIM 설계”라 한다.)를 원칙으로 한다. 이는 모든 유형의 사업발주에 적용할 수 있으나 국내 환경과 수준을 고려하여 설계·시공 일괄입찰(턴키), 기본설계 기술제안 입찰 및 시공책임형 건설사업관리(CM at Risk)방식 등 설계·시공 통합형 사업에 우선한다.

□ BIM 시행지침

「BIM 시행지침」은 「건설산업 BIM 기본지침」을 공공 및 민간 발주처에서 적극적으로 적용

47) 국토교통부, (2020.12.). 건설공사 BIM 기본지침을 참고하여 재정리

하고 활용할 수 있도록 구체적인 세부 기준을 제시하고 BIM 성과품의 작성·납품 및 활용에 대한 방법과 절차 등을 참조하여 발주처별 특성에 맞는 적용지침을 마련하기 위한 목적에서 작성되었다. 본 지침에는 BIM 적용절차, 데이터 및 성과품 작성·납품기준, 품질검토 기준과 함께 BIM 활용사례를 담고 있으며, 다양한 수행주체별 업무 범위가 다른 점을 고려하여 [발주자 편], [설계자 편] 및 [시공자 편]으로 구분하여 세부내용을 구성하고 있다.⁴⁸⁾

발주자편은 지침의 사용주체 및 역할에 대해 발주자와 건설사업관리기술인으로 구분하고, 발주단계별 절차를 사업착수전, 사업준비, 발주서류 준비 및 작성, 사업공고, 제안 평가 및 선정, 계약 및 보완, 사업수행 및 관리, 납품 성과품 품질검토, 성과품 관리 단계로 구분하여 필요한 업무기준을 제시하였다.⁴⁹⁾

설계자편에서는 수급인(설계자)이 모든 설계단계에서 전면 BIM을 수행할 경우에 필요한 BIM 성과품 작성·납품, 성과품 품질검토 및 활용에 대하여 세부적인 적용 절차와 수행내용을 단계적으로 제시한다.⁵⁰⁾ 시공자편은 수급인(시공자)이 시공단계에서 BIM을 수행할 때 필요한 BIM 데이터의 작성, 활용, 성과품의 납품 및 품질검토에 대한 세부 적용 절차와 수행내용을 단계적으로 제시하고 있다.⁵¹⁾

□ BIM 적용지침

국토교통부의 BIM 지침에 따라 공공부문에서 필수적으로 수립하는 「BIM 적용지침」은 2023년 4월 현재 조달청: 시설사업 BIM 적용지침서, 한국토지주택공사: LH BIM 활용가이드, LH Civil-BIM 업무지침서, LH BIM 적용지침서(단지분야 토목부문), 서울주택도시공사: 건설정보모델링 적용지침, 한국도로공사: 고속도로 스마트 설계 지침, EX_BIM 가이드라인, 도로분야 발주자 BIM 가이드라인, 국가철도공단: 철도인프라 BIM 가이드라인 등이 마련되어 있는 상황이다.

2022년 12월에 공표된 한국토지주택공사의 「LH BIM 적용지침서(단지분야 토목부문)」를 중심으로 주요 내용을 살펴보면 BIM데이터 및 성과품(설계) 작성, BIM 성과품(설계) 납품, BIM 성과품(설계) 품질검토, BIM 활용방안으로 구성되어 있으며, BIM데이터 및 성과품(설계) 작성에서는 BIM 적용절차 개요, BIM 기술환경 확보, BIM 데이터 교환, BIM 데이터 작성, BIM 성과품(설계) 작성에 관한 내용을 다루며 BIM 성과품(설계) 납품에서는 제출원칙, 대상 및 형식, 납품기준을 다루고 있다.

48) 국토교통부. (2022). 건설산업 BIM 시행지침 발주자편, p.11~13 참조함

49) 국토교통부. (2022). 건설산업 BIM 시행지침 발주자편, p.16

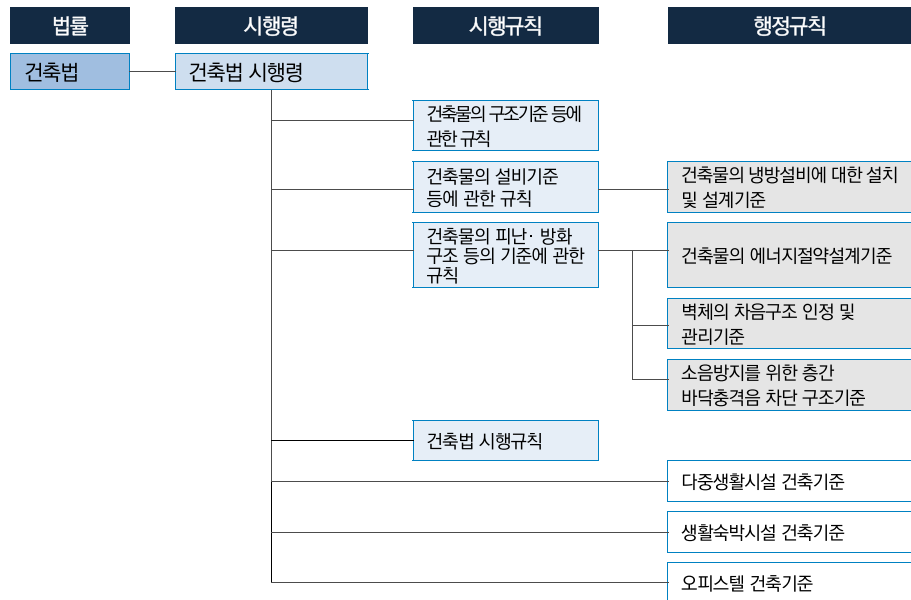
50) 국토교통부. (2022). 건설산업 BIM 시행지침 설계자편, p.17

51) 국토교통부. (2022). 건설산업 BIM 시행지침 시공자편, p.18

2) 건축 성능 기준

□ 「건축법」의 건축물 성능기준

모든 건축물이 반드시 갖추어야 할 성능에 관해서는 「건축법」과 그 하위 법령인 「건축법 시행령」 및 시행규칙에서 그 기준을 상세히 기술하고 있고 DfMA 건축도 「건축법」과 그 하위법령에서 제시하는 제반 기준을 준수하여야 한다. 「건축법 시행령」에서는 성능 항목의 중요도 및 복잡성 등을 고려하여 건축물의 구조기준과 설비기준, 피난·방화구조 등의 기준을 별도로 제정하여 관리하고 있으며 특히 「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」과 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」은 에너지이용 합리화나 건축물의 효율적인 에너지 관리, 세부적인 성능기준의 제시를 통한 쾌적한 생활환경 조성을 도모하기 위한 목적으로 별도의 행정규칙을 두고 있다.



[그림 3-2] 「건축법」에 근거한 건축물의 주요 성능기준 설정 현황

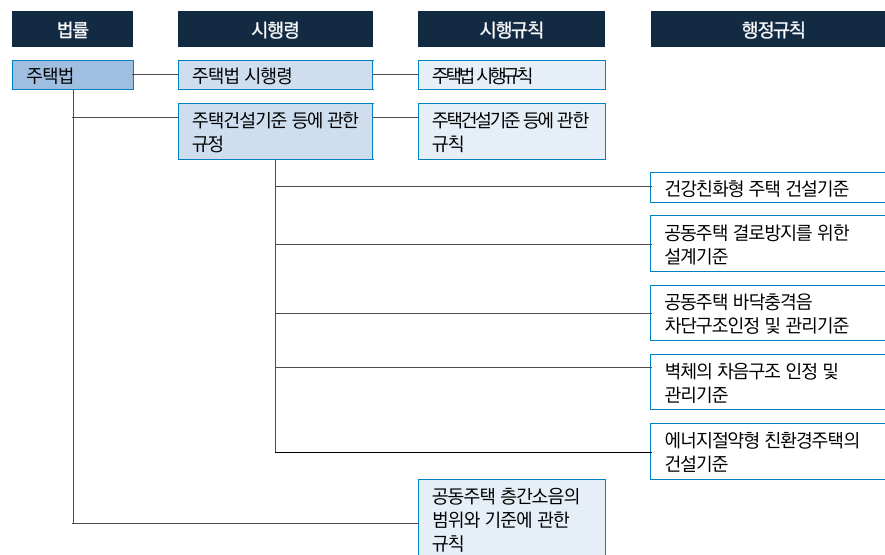
출처: 김상호, 조시은, 오민정. (2022). 1인가구 증가에 대응한 소형 공동주거시설의 건축기준 정비 방안. 건축공간연구원 p.107

「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」과 관련한 별도의 행정규칙으로는 「건축물의 냉방설비에 대한 설치 및 설계기준」이 있으며 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」과 관련한 별도의 행정규칙으로는 「건축물의 에너지절약 설계기준」, 「벽체의 차음구조 인정 및 관리 기준」, 「소음방지를 위한 층간 바닥충격음 차단 구조기준」이 마련되어 운용 중이다. 또한 다중생활시설이나 생활소박시설, 오피스텔 등 건축물의 용도에 따라 별도의 기준이 필요한

특수한 목적을 지닌 건축물에 대해서는 「건축법 시행령」 하부의 행정규칙(고시)으로 별도의 건축기준을 운용하고 있다.

□ 「주택법」의 주택 성능기준

「주택법」에서는 쾌적하고 살기 좋은 주거환경의 조성을 위한 주택의 건설·공급 및 주택시장의 관리 등에 관한 사항을 규정하고 있다. DfMA를 통해 생산된 주택 또한 법에서 규정하는 건설기준과 주거환경에 관한 기준을 반드시 준수하여야 한다. 이 중 주택 건설기준, 부대시설·복리시설의 설치기준, 대지조성의 기준, 공동주택성능등급의 표시, 공동주택 바닥충격을 차단구조의 성능등급 인정과 성능검사, 공업화주택의 인정절차, 에너지절약형 친환경주택과 건강친화형 주택의 건설기준, 장수명주택 등에 관한 사항은 별도의 「주택건설기준 등에 관한 규정 및 규칙」을 통해서 관리가 이루어진다. 또한 공동주택 바닥충격을 차단구조의 성능등급 인정과 성능검사와는 별도로 「소음·진동관리법」 및 「공동주택관리법」을 근거로 공동주택 층간소음의 범위와 기준을 규정하기 위한 「공동주택 층간소음의 범위와 기준에 관한 규칙」도 운용되고 있다.



[그림 3-3] 주택법에 근거한 주거용 건축물의 건설 및 주거환경 성능기준 설정 현황

출처: 김상호, 조시은, 오민정. (2022). 1인가구 증가에 대응한 소형 공동주거시설의 건축기준 정비 방안. 건축공간연구원 p.106을 바탕으로 수정함

□ 건축물 단열 및 결로 방지 성능기준

건축물 단열 및 결로 방지 성능 기준은 「녹색건축물 조성지원법」에 따른 「건축물의 에너지절약 설계기준」이 대표적이며 500㎡ 이상의 건축물에 공통적으로 적용되는데 이러한 성능 기준은 현장에서 조립 시공이 이루어지는 DfMA 기반 건축물 특성 상 매우 중요한 요소로

작용한다.

먼저 「건축물의 에너지절약 설계기준」은 건축물의 열손실방지, 에너지절약 설계, 건축물 에너지 소비 총량제 등을 주요 내용으로 하는데 열손실방지에 대한 규정을 통해 거실의 외벽, 최상층 거실의 반자 또는 지붕, 최하층 거실의 바닥, 층간 바닥, 지역별 거실의 창 및 문 등의 단열재 두께 기준을 구체적으로 제시하고 있다. 30세대 이상의 공동주택(50세대 이상의 단지형 연립 및 다세대주택의 도시형생활주택을 포함)으로 조성되는 제조·조립 기반 건축물의 경우에는 별도로 「주택법」에 따른 「에너지절약형 친환경주택의 건설기준」을 준수하여야 한다.

「에너지절약형 친환경주택의 건설기준」에서 제시하는 단열기준(열관류율기준)은 일반 건축물에 적용되는 「건축물의 에너지절약 설계기준」과 그 내용이 유사하지만 특별히 제주도 지역의 벽체 단열기준과 창·의 설계기준이 강화되어 적용되고 있으며 공동주택의 특성을 반영한 의무사항이 별도로 규정되어 있다.

[표 3-1] 「건축물의 에너지절약설계기준」 별표3 중부1지역 단열재의 두께 기준(단위: mm)

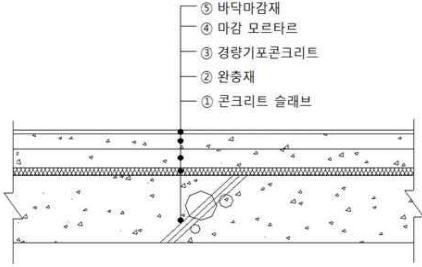
구분			단열재 등급별 허용 두께			
			가	나	다	라
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우	공동주택	220	255	295	325
		공동주택 외	190	225	260	285
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택	150	180	205	225
		공동주택 외	130	155	175	195
최상층 거실의 반자 또는 지붕	외기에 직접 면하는 경우		220	260	295	330
	외기에 간접 면하는 경우		155	180	205	230
최하층 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방인 경우	215	250	290	320
		바닥난방이 아닌 경우	195	230	265	290
	외기에 간접 면하는 경우	바닥난방인 경우	145	170	195	220
		바닥난방이 아닌 경우	135	155	180	200
바닥난방인 층간바닥			30	35	45	50

출처: 건축물의 에너지절약 설계기준, 국토교통부고시 제2023-104호, [별표 3] 단열재의 두께

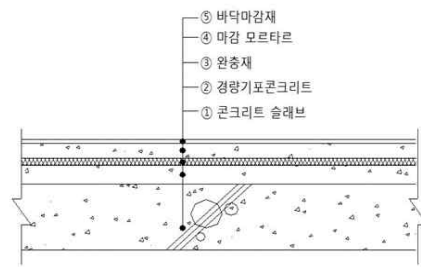
□ 건축물의 소음 및 차음기준

건축물의 소음 및 차음성능에 관한 기준은 경계벽과 바닥충격음으로 구분하여 적용되는데 「건축법 시행령」 제53조(경계벽 등의 설치) 기준의 적용대상은 제조·조립 기반 건축물 가운데 다가구주택, 공동주택, 기숙사의 침실에 설치되는 경계벽에 적용되며 「건축물 피난·방화 구조 등의 기준에 관한 규칙」 제19조(경계벽 등의 구조)에서 상세히 규정하고 있다. 이때 공동주택은 「주택건설기준 등에 관한 규정」 14조(세대 간의 경계벽 등)의 규정을 준수해야 하며 경계벽은 내화구조로 철근콘크리트조 등은 15cm 이상, 무근콘크리트 등은 20cm 이상, 콘크리트판 12cm 이상 또는 국토교통부 고시에 따른 차음성능 구조일 것을 요구한다.

실내 소음도에 관한 규정은 「주택건설기준 등에 관한 규정」 제9조(소음방지대책의 수립)에서 실외소음도는 65dB 미만, 6층 이상의 경우 실내소음도는 45dB 이하를 확보하여야 한다. 바닥충격을 관련 규정은 「주택건설기준 등에 관한 규정」 제14조의2(바닥구조)에 따라 공동주택(도시형생활주택 포함)의 경우 콘크리트 슬래브 두께 210mm 이상, 라멘구조는 150mm으로 규정하고 있다. 또한 「공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 관리기준」에서는 제4조(성능인정기준)과 별표1에서 경량충격음 및 중량충격음 성능기준을 별도로 정하고 있다.



⑤ 바닥마감재
④ 마감 모르타르
③ 경량기포콘크리트
② 완충재
① 콘크리트 슬래브



⑤ 바닥마감재
④ 마감 모르타르
③ 완충재
② 경량기포콘크리트
① 콘크리트 슬래브

형식·구조별 표준바닥구조 기준					
형식	구조	① 콘크리트슬래브	② 완충재	③ 경량기포콘크리트	④ 마감 모르타르
I	벽식 및 혼합구조	210mm 이상	20mm 이상	40mm 이상	40mm 이상
	라멘구조	150mm 이상			
	무량판구조	180mm 이상			
II	벽식 및 혼합구조	210mm 이상	20mm 이상	-	40mm 이상
	라멘구조	150mm 이상			
	무량판구조	180mm 이상			

형식·구조별 표준바닥구조 기준					
형식	구조	① 콘크리트슬래브	② 경량기포콘크리트	③ 완충재	④ 마감 모르타르
I	벽식 및 혼합구조	210mm 이상	40mm 이상	20mm 이상	40mm 이상
	라멘구조	150mm 이상			
	무량판구조	180mm 이상			
II	벽식 및 혼합구조	210mm 이상	-	20mm 이상	40mm 이상
	라멘구조	150mm 이상			
	무량판구조	180mm 이상			

[그림 3-4] 「소음방지를 위한 층간 바닥충격음 차단 구조기준」 별표1의 표준바닥구조

출처: 소음방지를 위한 층간 바닥충격음 차단 구조기준, 국토교통부고시 제2018-585호, [별표 1] 표준바닥구조의 종류

한편 「건축법」에 근거한 「소음방지를 위한 층간 바닥충격음 차단 구조기준」 제4조(바닥구조)에서는 30세대 이상 공동주택·오피스텔과 30세대 미만 공동주택·오피스텔·기숙사·다가구주택·다중생활시설을 구분하여 [별표1]에 따른 표준바닥구조(I형식 또는 II형식)를 적용하도록 규정하고 있다.

□ 건축물의 피난 및 방화, 내화구조 기준

주택의 용도로 사용되는 건축물은 「주택건설기준 등에 관한 규정」 제14조에 의거하여 세대간 또는 주택 이외의 시설과의 경계벽에 대해 내화구조로 설치하도록 규정하고 있으며 공동주택에서 3층 이상의 발코니에 경계벽을 설치할 경우 별도의 피난구를 설치하도록 규정하고 있다. 또한 계단과 복도, 벽 및 반자의 마감면에 대해서는 불연재료 또는 준불연재료를 사용하도록 규정하고 있다.

「건축법 시행령」 제56조(건축물의 내화구조)에 따라 2층이 단독주택 중 다중주택 및 다가구 주택, 공동주택, 제1종 근린생활시설(의료용 시설만 해당), 제2종 근린생활시설 중 다중생활 시설, 의료시설, 노유자시설 중 아동 관련 시설 및 노인복지시설, 수련시설 중 유스호스텔, 업무시설 중 오피스텔, 숙박시설 또는 장례시설의 용도로 쓰는 건축물로서 그 용도로 쓰는 바닥면적의 합계가 400㎡ 이상인 건축물은 주요구조부와 지붕을 내화구조로 하여야 한다. 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 제3조(내화구조)의 기준에 따라 DfMA 기반 건축물은 각 부위별로 내화구조 기준을 만족하거나, 한국건설기술연구원이 품질을 시험한 결과 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 별표1에 따른 성능기준에 적합해야하며 한국건설기술연구원이 국토교통부장관으로부터 승인받은 인정기준에 따라 내화구조로 인정한 것이어야 한다.

[표 3-2] 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」에 따른 건축물 부위별 내화구조 요구조건

부위	구조형식	요구조건
벽체	철근콘크리트 또는 철골철근콘크리트	두께 10cm 이상
	철골조	양면 두께 4cm 이상 철망모르타르(바름바탕을 불연재) 또는 두께 5cm 이상의 콘크리트 블록·벽돌 또는 석재마감
	철재 보강 콘크리트 블록조·벽돌조 또는 석조	철재에 덮는 콘크리트블록 등의 두께가 5cm 이상
	벽돌조	두께 19cm 이상
	고온 고압 증기 양생 경량기포 콘크리트패널 혹은 경량기포 콘크리트블록조	두께 10cm 이상
외벽 중 비내력벽	철근콘크리트 또는 철골철근콘크리트	두께 7cm 이상
	철골조	양면 두께 3cm 이상 철망모르타르(바름바탕을 불연재) 또는 두께 4cm 이상의 콘크리트 블록·벽돌 또는 석재마감
	철재 보강 콘크리트 블록조·벽돌조 또는 석조	철재에 덮는 콘크리트블록 등의 두께가 4cm 이상
	무근콘크리트조·콘크리트블록조·벽돌조 또는 석조	두께 7cm 이상
기둥	철근콘크리트 또는 철골철근콘크리트	작은 지름이 25cm 이상
	철골조	두께 6cm(경량골재는 5cm) 이상 철망모르타르 또는 두께 7cm 이상의 콘크리트 블록·벽돌 또는 석재, 5cm 이상의 콘크리트로 덮을 것
보(지붕틀 포함)	철근콘크리트 또는 철골철근콘크리트	
	철골조	두께 6cm(경량골재는 5cm) 이상 철망모르타르 또는 두께 7cm 이상의 콘크리트 블록·벽돌 또는 석재, 5cm 이상의 콘크리트로 덮을 것
	철골조 지붕틀(바닥에서 그 아랫부분까지 높이 4m 이상인 경우에 한함)	바로 아래에 반자가 없거나 불연재료로 된 반자가 있는 것
지붕	철근콘크리트 또는 철골철근콘크리트	
	철재로 보강된 콘크리트블록조·벽돌조 또는 석조	
	철재로 보강된 유리블록 또는 망입유리(두꺼운 판유리에 철망을 넣은 것)로 된 것	
계단	철근콘크리트 또는 철골철근콘크리트	
	무근콘크리트조·콘크리트블록조·벽돌조 또는 석조	

부위	구조형식	요구조건
	철재로 보강된 콘크리트블록조 · 벽돌조 또는 석조	
	철골조	

출처: 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙, 국토교통부령 제1247호, 제3조

3) DfMA 기반 건축 관련 건축물 인정에 관한 기준

□ 공업화주택의 인정

국내에서 DfMA 기반 건축물 인정에 관한 사항은 「주택법」 제51조(공업화주택의 인정 등)에서 규정한 공업화주택의 인정이 유일하다. 「주택법」에서 정한 공업화주택이란 “주요 구조부의 전부 또는 일부 혹은 세대별 주거공간의 전부 또는 일부를 국토교통부령이 정하는 성능기준 및 생산기준⁵²⁾에 따라 맞춤식 등 공업화공법으로 건설하는 주택으로 정의한다. 「주택건설기준 등에 관한 규칙」에서는 [공업화주택의 성능 및 생산기준과 함께 건축사의 설계·감리를 받지 아니하는 일정한 기술능력을 갖춘 공업화주택의 건설자에 관한 기준과 공업화주택인정 신청서 및 공업화주택 인정서의 양식, 공업화주택의 생산 및 건설실적 보고에 관한 사항 등을 규정하고 있다.

건축사의 설계·감리를 받지 아니하는 공업화주택 건설자란 「건축사법」에 의한 건축사 1인 이상과 국가기술자격법에 의한 건축구조기술사 또는 건축시공기술사 1인 이상을 보유한 자를 말한다. 공업화주택의 인정 신청에 필요한 첨부 서류로는 ① 설계 및 제품설명서, ② 설계도면·제작도면 및 시방서, ③ 구조 및 성능에 관한 시험성적서 또는 구조안전확인서, ④ 생산 공정·건설공정·생산능력 및 품질관리계획을 기재한 서류 등이 필요하며 공업화주택 인정의 유효기간은 공고일로부터 5년이다. 공업화주택의 인정에 관한 사항은 한국건설기술연구원장이 국토교통부장관으로부터 승인을 받아 인정에 관한 업무를 전담하고 있으며 국토교통부장관의 직인이 날인된 공업주택 인정서를 교부한다.

□ 공업화주택의 성능 및 생산기준

「주택건설기준 등에 관한 규칙」 별표6 [공업화주택의 성능 및 생산기준]은 「주택법」 제51조(공업화주택의 인정 등)에서 규정한 공업화주택의 성능 및 생산에 관한 기준을 정한 것이다. 「공업화주택의 성능 및 생산기준」은 공업화주택의 인정을 위한 절차와 관련 시험 등 제반 업무의 처리를 위한 기준으로 작용하며 성능기준은 단독주택과 공동주택을 구분하여 적용한다. 단독주택의 성능기준 항목은 구조안전성능, 환기성능 및 기밀성능, 열환경성능, 내구성능의 4가지 성능항목으로 구성되어 있으며, 공동주택(단독주택 중 다중주택과 다가구주택을 포함)은 구조안전성능, 내화 및 방화성능, 환기성능, 열환경성능, 음환경성능의 5가지 성능항목으로

52) 주택건설기준 등에 관한 규칙 별표6 공업화주택의 성능 및 생산기준을 지칭함

구성되어 있다.

성능기준의 적용에 있어서 단독주택과 공동주택에 적용되는 성능항목의 차이는 단독주택의 경우 별도의 기밀성능을 요구한다는 점과 공동주택의 경우 집합 거주 특성상 인접 혹은 상하층 세대 간 화재의 확산 방지를 위한 내화 및 방화성능과 소음 피해 방지를 위한 세대 간 경계벽의 소음차단과 바닥충격음의 차단을 위한 음환경성능을 요구하고 있다는 점에 기인한 것이다. 생산기준은 단독주택과 공동주택 모두 조립식 부재의 재료적 특성을 반영하여 콘크리트 조립식 부재, 경량기포콘크리트 조립식 부재, 그 밖의 조립식 부재로 구분한다.

[표 3-3] 「공업화주택의 성능 및 생산기준」에서 성능기준의 주요 내용

주택유형	성능항목	주요 내용
단독주택	구조안전성능	구조부분 - 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙」 제2조제1호에 따른 구조부재의 구조안전 성능은 「건축물의 구조기준 등에 관한 규칙」 등 관련 건축물의 설계기준에 적합
		접합부 - 벽판·바닥판·지붕판 등 주요 구조부재 간의 수평·수직 접합부는 해당 구조 설계 및 공사시방에 있어서 안전성이 확보
	환기성능 및 기밀성능	환기성능 - 창문, 출입구 그 밖의 개구부 면적은 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 제17조에 따른 창문 등의 기준에 적합하고, 부엌·욕실 및 화장실은 「주택건설기준 등에 관한 규정」 제44조에 따른 배기설비·환기설비 설치기준에 적합
		기밀성능 - 한국산업규격이 정한 창호의 성능시험방법(KS L ISO 9972)에 의하여 측정 하되, 압력차 50Pa을 기준으로 시간당 1.5회의 기밀성능을 유지
	열환경성능	단열성능 - 주택 각 부위의 단열성능은 「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」 제21조에 따른 열 손실방지 기준에 적합
		결로방지성능 - 결로방지의 성능시험방법(ISO 10211) 등 국제표준에 적합한 프로그램을 사용하여 실시한 건축물 결로방지성능 시뮬레이션에 의하여 측정하되, 접 합부위의 표면온도와 실내·외 온도의 온도차이비율(TDR: Temperature Difference Ratio)이 0.20 이하 - 외벽·최상층 반자·최하층 바닥 및 냉교부, 비난방실과 난방실 사이의 벽체, 접합부위 등에는 결로가 발생하지 않아야 함
	방청·방부 성능	철근의 피복두께 - 철근콘크리트의 철근피복은 부위에 따라 충분한 두께를 확보
		철재 및 접합철물 - 내식성 재료 또는 도금, 도장, 그 밖에 유효한 방청처리
		목재부분 - 방부 및 방충처리
	내구성능	지붕·차양 - 지붕의 기밀기 및 구조방법이 방수 및 배수에 지장이 없을 것 - 지붕마감은 내구성 있는 자재를 사용하거나 도장할 것 - 진동·충격·풍압 등에 의해 탈락이나 변형되지 않고, 누수되지 않을 것 - 지붕면과 외벽의 접합부는 방수에 효과적인 물끊기 또는 물막이턱 설치 - 낙수구·홍통 등은 강우량에 따라 적절한 크기로 설치
		방수·배수 성능 - 바탕재료 및 외장재료는 방수성 및 내구성이 좋고, 방수가 되도록 접합 - 직접 빗물이 닿는 창이나 문 그 밖의 개구부에는 방수에 필요한 조치
		물사용 옥내의 재료 - 바닥·벽 및 출입구는 내구성이 좋은 재료 사용, 방수에 필요한 조치

주택유형	성능항목	주요 내용
공동주택 (다중주택과 다가구주택을 포함)	구조안전성능	- 바닥은 배수에 지장이 없도록 적절한 기울기를 두고, 배수관을 설치 - 급수 및 배수관, 난방배관은 누수를 방지할 수 있는 자재와 공법으로 설치
		그밖의 부위 - 바탕면은 습기가 내장마감에 영향을 미치지 않는 공법으로 마감
	구조안전성능	구조부분 - 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙」 제2조제1호에 따른 구조부재의 구조안전 성능은 「건축물의 구조기준 등에 관한 규칙」 등 관련 건축물의 설계기준에 적합
		접합부 - 벽판·바닥판·지붕판 등 주요 구조부재 간의 수평·수직 접합부는 해당 구조 설계 및 공사시방에 있어서 안전성 확보
	내화 및 방화성능	구조부분의 내화성능 - 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 제3조에 따른 내화구조 기준에 적합
		내부 마감재의 방화성능 - 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 제5조부터 제7조까지의 규정에 따른 재료의 기준에 적합
	환기성능	- 창문, 출입구, 그 밖의 개구부의 면적은 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 제17조에 따른 창문 등의 기준에 적합하고, 부엌, 욕실 및 화장실은 「주택건설기준 등에 관한 규정」 제44조에 따른 배기설비·환기설비 설치기준에 적합
	열환경성능	단열성능 - 주택 각 부위의 단열성능은 「녹색건축물 조성 지원 등에 관한 법률 시행규칙」 제7조에 따라 국토교통부장관이 고시하는 열 손실방지 기준에 적합하여야 한다. 다만, 「주택법」 제15조제1항의 주택건설사업계획의 승인을 얻어 건설하는 경우에는 「주택건설기준 등에 관한 규정」 제64조제3항에 따라 국토교통부장관이 고시하는 단열성능 기준에 적합
		결로방지성능 - 결로방지성능은 「주택건설기준 등에 관한 규정」 제14조의3에 따라 국토교통부장관이 고시하는 결로방지를 위한 설계기준에 적합 - 외벽, 최상층 반자, 최하층 바닥 및 냉고부, 비난방실과 난방실 사이의 벽체, 접합부위 등에는 결로가 발생하지 않아야 한
	음환경성능	세대간 경계벽의 소음차단성능 - 세대간 경계벽의 구조는 「주택건설기준 등에 관한 규정」 제14조제1항 및 제2항에 따른 경계벽의 구조 기준에 적합
		바닥충격음의 차단성능 - 상하층 간의 바닥의 경량충격음 및 중량충격음의 기준은 「주택건설기준 등에 관한 규정」 제14조의2제2호에 따른 기준에 적합

출처: 주택건설기준 등에 관한 규칙, 국토교통부령 제1227호, [별표 6] 공업화주택의 성능 및 생산기준의 내용을 요약 정리

[표 3-4] 「공업화주택의 성능 및 생산기준」에서 생산기준의 주요 내용

부재유형	기준항목	생산기준
콘크리트 조립식부재	생산설비	배합 및 성형 시설 - 배처 플랜트(batcher plant: 콘크리트 대량 제조 설비) 설비: 1식 - 몰드(주조) 테이블 및 거푸집: 1식 - 철근가공 설비: 1식
	양생 시설	- 증기양생(증기를 뿌리면서 굳히는 일) 설비: 1식
	운송 시설	- 이동크레인 및 그 밖의 운반 설비: 1식
	그 밖의 시설	- 용지: 1만제곱미터 이상으로 하되, 45일 생산물량을 야적할 수 있는 규모의 야적장이 있을 것 - 환경공해 방지를 위한 시설 - 산업재해 방지를 위한 시설
	품질관리	품질시험 시설 - 시험실: 30제곱미터 이상 - 만능재료 시험기(100톤 이상): 1대 이상 - 압축강도 시험기(100톤 이상): 1대 이상 - 골재의 염화물함유량 측정기기: 1대 이상

부재유형	기준항목	생산기준
경량기포 콘크리트 조립식부재	생산설비	- 체가름 시험기: 1식 이상 - 실린더몰드(콘크리트 압축 강도 시험용 일정 규격의 시험용 물체를 만드는 기구): 15조 이상 - 시험용 양생조(養生槽: 굳기 전 콘크리트 보호 · 관리 탱크): 1식 이상 - 그 밖에 품질관리에 필요한 시험·검사 설비
		- 품질관리지침 또는 검사·시험자료 관리지침 등 제품의 품질관리를 위한 관리운용체제와 운용요원을 갖춘 것
		제조 및 성형 시설 - 제조 및 성형 설비: 1식 - 절단 및 가공 설비: 1식
		양생 시설 - 1식
		운송 시설 - 이동크레인 및 그 밖의 운반 설비 1식
		그 밖의 시설 - 용지: 9천 제곱미터 이상 - 환경공해 방지를 위한 시설 - 산업재해 방지를 위한 시설
	품질관리	품질시험 시설 - 시험실: 30제곱미터 이상 - 휨강도 시험기(20톤 이상): 1대 이상 - 함수량 측정기: 1대 이상 - 절건비중(골재가 완전 건조 상태일 때의 비중) 측정기기(항온건조기 포함): 1대 이상 - 그 밖의 품질관리에 필요한 시험·검사 설비
		- 압축강도 시험기(30톤 이상): 1대 이상 - 골재의 염화물함유량 측정기기: 1대 이상
		- 품질관리지침 또는 검사·시험자료 관리지침 등 제품의 품질관리를 위한 관리운용체제와 운용요원을 갖춘 것
		제조 시설 - 제조 또는 가공 설비: 1식
		운송 시설 - 이동크레인 또는 그 밖의 운반 설비 1식
그 밖의 조립식부재	품질관리	그 밖의 시설 - 용지: 5천 제곱미터 이상 - 환경공해 방지를 위한 시설(환경공해가 발생하는 경우에 한정한다) - 산업재해 방지를 위한 시설
		품질시험 시설 - 시험실: 30제곱미터 이상 - 해당 조립식 부재의 품질관리에 필요한 시험·검사 설비: 1식
		- 품질관리지침 또는 검사·시험자료 관리지침 등 제품의 품질관리를 위한 관리운용체제와 운용요원을 갖춘 것

출처: 주택건설기준 등에 관한 규칙, 국토교통부령 제1227호, [별표 6] 공업화주택의 성능 및 생산기준의 내용을 요약 정리

□ 공업화주택 인정 현황

2023년 4월을 기준으로 5년의 유효 인정기간을 확보한 공업화주택 인정 업체 수는 7개이며 인정 공업화주택은 8개가 전보다. 공업화주택으로 인정된 건축물의 용도는 공동주택 6개, 단독주택 2개이며 규모는 지상1층~지상6층으로 다양하다. 이들 주택의 구조형식은 철근 콘크리트(PC)조, 라멘구조(벽체는 비내력벽), 철골구조, 철골라멘조, 강구조(벽체는 비내력벽) 등으로 이루어져 있으며 공업화주택의 인정범위는 단독주택에서부터 공동주택의 천장과 벽을 포함한 개별실(개별 유니트), 다세대주택, 기초와 지상2층을 포함한 공동주택, 기초와 지상 4층을 포함함 공동주택 등 다양한 규모를 지니고 있다.

[표 3-5] 공업화주택 인정 현황 (2023년 4월 기준)

업체명	(주)포스코A&C	(주)예목종합건설	금강공업(주)	(주)유창이앤씨		(주)범양플로이	(주)KC산업	스타코(주)
공장 소재지	충남 천안	강원 횡성	경남 창원	충남 천안		충북 보은	경기 여주	경남 창원
명칭	MUTO Frame Modular Type-1	YM-재해구호 Modular	KMC Type-A	U'Vista A-2 Single House	U'Vista M-1 Multi-storey Housing	범양 모듈러 - Floy	KCPM M-1 Multi-story Housing	CHS 공업화 주택
용도	공동주택	단독주택	공동주택	단독주택	공동주택	공동주택	공동주택	공동주택
규모	미표시	지상 2층	지상 6층	지상 1층	지상 4층	지하1층(PIT), 지상 2층	지상2층	미표시
인정취득	18. 02. 12	19. 01. 10	19. 08. 01	20.01.13	20.07.06	20.07.06	21.12.15	2022.05.16
구조형식	-	강구조 (벽체 비내력벽)	철골 라멘조	철골구조	철골라멘구조	라멘구조 (벽체 비내력벽)	철근 콘크리트 (PC)	-
적용지역	적용 가능 지역 지정됨	-	-	국내 전 지역	적용 가능 지역 지정됨	-	-	-
인정범위 (주의사항)	천정과 벽을 포함한 개별실 (개별 유니트)	단독주택	천정과 벽을 포함한 개별실 (개별 유니트)	기초와 천정 및 벽을 포함한 원룸	기초 및 지상 4층을 포함한 공동주택	다목 다세대 주택에 한정	기초 및 지상 2층을 포함한 공동주택	천정과 벽을 포함한 개별실 (개별 유니트)
종합면허	토목건축공사업	건축공사업	건축공사업	건축공사업		토목건축 공사업	토목건축 공사업	건축공사업
전문면허	금속구조물 창호공사업, 지붕판금건축물 조립공사업 등	-	금속구조물 창호공사업, 지붕판금건축물 조립공사업 등	금속구조물창호공사업, 지붕판금건축물 조립공사업 등		시설물 유지관리업	상하수도 설비공사, 철근콘크리트 공사, 토공사	-

출처: 한국건설기술연구원(2023). 공업화주택 인정 업체 현황

4) 발주 관련 기준

□ 공공부문의 계약에 관한 기준

국가 및 지방자치단체가 계약의 주체가 되어 이루어지는 계약에 관한 사항은 「국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률」(국가계약법)과 「지방자치단체를 당사자로 하는 계약에 관한 법률」(지방계약법), 그리고 기획재정부가 운용하는 「계약예규 전문」을 통해 그 내용을 상세히 다루고 있다. 건축물의 조성과 관련한 계약의 형태는 그 목적에 따라 용역계약, 공사계약, 물품계약으로 구분할 수 있으며 「국가계약법」이나 「지방계약법」에서는 이러한 계약의 내용을 혼합하여 적용하는 혼합계약의 형태에 대해서도 규정하고 있다. 용역계약이란 계약자 중 한쪽이 생산과 소비에 필요한 노무를 제공하고 상대방이 그에 따른 보수를 지급하기로 약속하는 계약을 말하며 건축물 조성과 관련한 용역계약의 대상은 설계 및 감리, 건설관리, 학술연구 등이 해당

한다.

공사계약은 발주자와 계약 상대방간 계약 체결의 대상이 공사인 경우를 말하며 건축물 조성과 관련한 건설공사의 유형은 「건설산업기본법」 제2조에서 별도로 토목공사, 건축공사, 산업설비공사, 조경공사, 환경시설공사, 그밖에 명칭과 관계없이 시설물을 설치·유지·보수하는 공사(시설물 설치를 위한 부지조성공사를 포함) 및 기계설비나 그 밖의 구조물의 설치 및 해체공사로 구분한다. 이때 전기공사, 정보통신공사, 소방시설공사, 문화재 수리공사는 건설공사에서 제외하는데 전기공사, 정보통신공사는 개별 법령에서 건설공사와 분리하여 발주할 것을 의무화하고 있으며 소방시설공사의 경우 법령으로 분리발주가 의무화 되어 있지 않지만 관행적으로 분리발주가 이루어진다.

물품계약이란 물품의 제조와 구매에 관한 계약을 지칭하며 물품제조에 관한 계약과 물품납품에 관한 계약으로 구분한다. 건축물 조성과정에서의 물품제조 계약은 건축자재, 부품, 유닛 등에 대해 발주자가 제시하는 규격과 사양에 따라 새로운 물품을 만들어내기 위한 계약을 말하며 물품납품 계약은 이미 존재하는 규격과 사양으로 제작된 건축자재, 부품 혹은 유닛 등을 발주자에게 납품하는 것을 내용으로 하는 계약으로 구분한다.

「물품목록정보의 관리 및 이용에 관한 법률」(물품목록법)에 따라 조달청에서는 물품의 분류와 품명을 표준화하고 물품의 생산·수급·관리 및 운용에 관한 정보를 체계화한 물품목록정보를 제공하기 위해 상품정보시스템인 나라장터(<https://www.g2b.go.kr/index.jsp>)내 목록정보시스템(<https://www.g2b.go.kr:8053/main/main.do>)을 운영하며 여기에 등록된 DfMA 기반 건축물 관련 물품의 목록은 이동주택, 통나무집, 수면캡슐, 조립식건물부재, 조립식 건축모듈 중 조립식육실·모듈러교실·모듈러공동거주시설, 조립식구조물, 컨테이너하우스 등이 있다.

[표 3-6] 조달청 나라장터의 목록정보시스템에 등록된 제조·조립 기반 건축물 관련 물품 현황(2023.4.17. 현재)

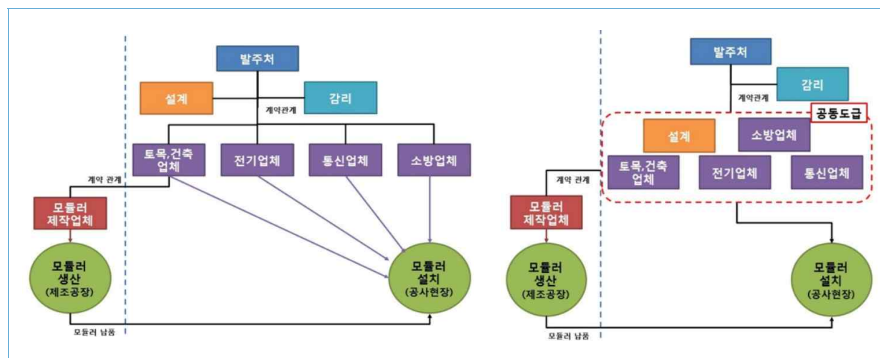
대분류	중분류	세분류	세세분류	세세세분류
[30] 건자재	[3020] 조립식건물	[302016] 거주용조립건물	[30201602] 이동주택	107건
			[30201603] 통나무집	7건
			[30201699] 수면캡슐	9건
			[30201795] 조립식건물부재	17건
		[302017] 상업및산업용조립건물	[3020178601] 조립식육실	0건
			[3020178602] 모듈러교실	290건
			[3020178603] 모듈러공동거주시설	1건
			[30201796] 조립식구조물	1,488건
		[3023] 이동식구조물	[302316] 이동식상용및산업용조립구조물	
			[30231699] 컨테이너하우스	7,189건

출처: 조달청 나라장터 홈페이지 <https://www.g2b.go.kr:8053/main/main.do>(검색일: 2023.04.13) 목록정보시스템 내용을 요약 정리

□ 건축물 조성과 관련된 발주방식

건축물 조성과 관련한 우리나라의 발주방식은 설계사무소를 통해 제작된 설계도면을 바탕으로 공사현장에서 대부분의 작업이 이루어지는 습식 시공을 중심으로 공사의 특성과 상황에 대응하는 형태로 발주가 이루어지는 특성을 지닌다. 발주방식은 설계-시공단계의 분리 혹은 통합(일괄), 설계와 감리를 포함하는 건설관리방식의 도입 등에 따라 설계-시공분리발주, 설계-시공일괄발주, 건설사업관리발주 등으로 구분된다.

설계-시공분리발주는 발주자가 건축설계사무소, 종합건설업체, 건설사업관리/감리전문업체와 각각 해당 용역계약 혹은 공사계약(도급계약)을 체결하고, 종합건설업체가 개별공사를 담당하는 전문공사업체와 하도급계약을 체결하여 공사를 진행하는 방식이다. 설계-시공일괄발주는 발주자가 총괄시행사(건축설계사무소와 종합건설업체가 일괄로 구성된 시행사를 지칭)와 건설사업관리/감리전문업체를 대상으로 각각 도급계약과 용역계약을 체결하고, 설계 시공 총괄시행자가 전문공사업체와 하도급계약을 체결하여 진행한다.

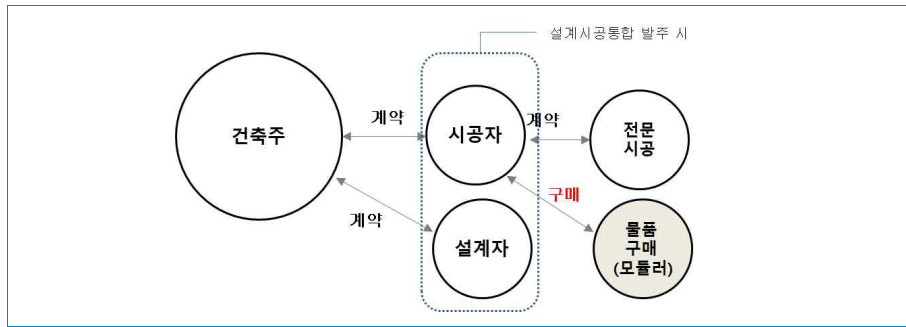


[그림 3-5] 발주방식(좌: 분리발주, 우: 일괄발주)

출처: 유일한. (2023), 세미나자료(제조조립 기반 모듈러 건축 산업 활성화를 위한 개선과제 및 전략, 2023.05.16.)

□ DfMA 기반 건축의 발주방식 적용 현황

DfMA 기반 건축은 공장에서 제작이 이루어지는 단위 공간 유닛의 종류와 구성단계에 따라 매우 다양한 특성을 지니며 해당 유닛의 운송을 포함하여 현장에서의 조립·시공과정에서도 많은 차이가 발생한다. 국내에서 DfMA 기반 건축의 대표적인 사례로 꼽히는 모듈러건축을 예로 들어 살펴보면 공장에서 모듈러공법을 적용하여 대부분의 유닛이 완성되고 현장에서는 단순 조립만이 이루어지는 공법의 특성에도 불구하고 기존의 습식공사에 최적화된 발주방식인 설계-시공분리발주 혹은 설계-시공일괄발주의 형태로 발주가 이루어진다. 이때 모듈러건축에서 핵심적인 요소가 되는 단위 유닛은 공사계약 발주방식과는 별도로 건축·토목업체나 공동도급업체가 모듈러 제작업체로부터 물품(이동형 주택)의 형태로 구매하는 방식이 적용된다.



[그림 3-6] 공공발주사업의 모듈러 조달 방식

출처: 연구진 작성

이러한 발주방식은 모듈러건축의 핵심적인 기술인 단위 유닛의 제조 및 조립기술을 갖춘 전문 업체로 하여금 단순히 모듈러 유닛을 제작하는 제조업체의 수준에 머물게 하거나 충분한 기술력을 갖추지 못한 모듈러 유닛 제작업체의 난립으로 모듈러 유닛의 성능 및 안전성을 저해하는 요인으로 작용한다.

한편 국토교통부가 발표한 「스마트건설 활성화 방안 S-Construction 2030」에서는 모듈러 건축 등 새로운 스마트 기술의 보급 확산을 위해 스마트 기술의 적용이 입찰조건인 스마트 턴키 제도를 도입하였는데 기술 중심의 평가 강화를 위해 턴키(설계·시공 일괄발주) 등 기술형 입찰 심의 시 스마트 기술에 관한 최소배점을 도입하고, 여타 발주방식에서도 설계단계에서부터 스마트 기술이 적극 반영될 수 있도록 '대형공사 등의 입찰방법 심의기준'을 개정하였다.

◆ 대형공사 등의 입찰방법 심의기준

- 제2조(적용범위) 이 심의기준의 적용범위는 중앙건설기술심의위원회, 지방건설기술심의위원회 및 특별 건설기술심의위원회(이하 "위원회"라 한다)에서 다음 각 호의 공사에 대한 입찰방법 및 실시설계적격자 또는 낙찰자결정방법(이하 "낙찰자결정방법"이라 한다)을 심의할 때 적용한다.
 1. 총공사비 추정가격이 300억원 이상인 신규복합공종 공사(이하 "대형공사"라 한다)
 2. 총공사비 추정가격이 300억원 미만인 신규복합공종공사 중 대안입찰또는 일괄입찰로 집행함이 유리하다고 인정하는 공사(이하 "특정공사"라 한다)
 3. 상징성·기념성·예술성이 필요하다고 인정되거나 난이도가 높은 기술이 필요한 시설물로서 기본설계 기술 제안입찰 또는 실시설계 기술제안입찰로 집행하려는 공사
 4. 공기단축이 필요한 공사 중 일괄입찰로 집행하는 것이 유리하다고 인정되는 공사(이하 "공기단축공사"라 한다)
 5. 설계와 시공단계까지 적용 가능한 스마트 건설기술을 일괄적으로 적용하려는 공사로서 일괄입찰 또는 기본설계 기술제안입찰로 집행하는 것이 유리하다고 인정되는 공사(이하 "스마트건설공사"라 한다 (신설: 2019.02.25.))

출처: 대형공사등의 입찰방법 심의 기준, 국토교통부고시 제2019-91호, 제2조

5) 운송 관련 기준

□ 도로교통법에 따른 이동의 제약조건

DfMA 기반 건축은 일정한 규격의 패널 혹은 공간구성 유닛을 공장에서 생산하고 현장에서

조립하는 공법을 전제로 하는 건축방식으로 공간유닛의 현장 수송과 관련하여 필연적으로 도로교통법에 의한 제약을 받게 된다. 「도로교통법 시행령」 제22조(운행상의 안전기준)에 따라 화물의 적재중량은 구조 및 성능에 따른 적재중량의 110% 이내로 하며 그 길이는 자동차 길이에 그 길이의 1/10을 더한 길이, 너비는 자동차의 후사경으로 뒤쪽을 확인할 수 있는 범위의 너비, 높이는 화물자동차는 지상으로부터 4m(도로구조의 보전과 통행의 안전에 지장이 없다고 인정하여 고시한 도로노선의 경우 4.2m)를 초과하지 않아야 한다.

도로의 폭을 초과하는 화물의 운반에 관해서는 별도의 허가를 받아야 하는데 「도로교통법」 제14조(차로의 설치 등에 따라 도로에 설치되는 차로의 너비는 3m 이상(좌회전전용차로의 설치 등 부득이하다고 인정되는 때는 275cm 이상)을 확보하도록 규정하고 있다. 만약 운반하려는 화물의 규격이 차로의 너비보다 넓은 경우에는 「도로교통법 시행규칙」 별지 5호 서식의 차로폭 초과차 통행 허가신청서를 관할경찰서장에게 제출하고 그 허가서를 교부받으면 운행이 가능하다.

한국도로공사에서 관련법에 따라 교통안전 확보를 위해 운행을 제한하는 차량⁵³⁾의 규격은 차량의 축하중 10톤을 초과한 차량, 차량의 종중량이 40톤을 초과한 차량, 적재물을 포함한 차량의 길이가 16.7m를 초과한 차량(고속도로 19m), 적재물을 포함한 차량의 폭이 2.5m를 초과한 차량(고속도로 3m), 적재물을 포함한 차량의 높이가 4.2m를 초과한 차량 등이 이에 해당한다.

따라서 모듈러주택 등 DfMA를 기반으로 하는 건축물의 경우에는 공장생산과정에서 이러한 운송 조건에 적합한 규격과 무게를 기준으로 생산이 이루어져야 하며 운송과정에서의 파손을 최소화할 수 있는 안전성의 확보와 함께 운송을 위한 상하차 및 현장에서의 적재의 용이성 등을 종합적으로 고려하여야 한다.

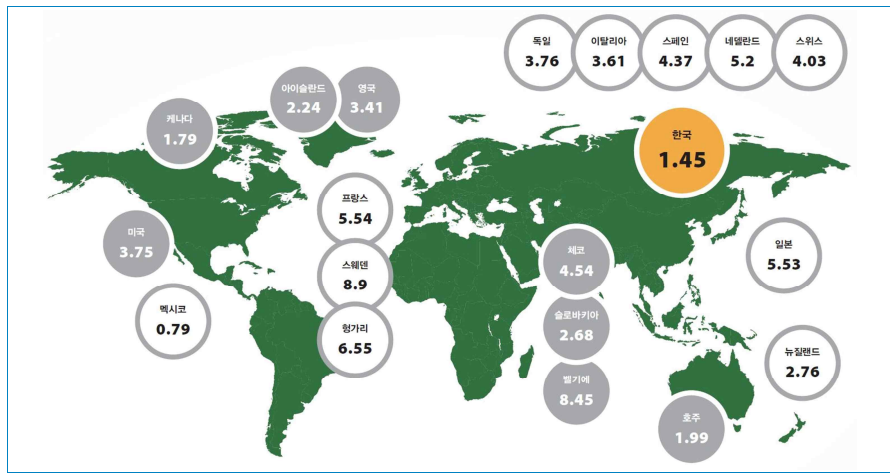
한편, 「도로법」에 근거하여 시행되는 도로 보급률⁵⁴⁾에 따르면 2016년 기준 우리나라의 도로보급률은 1.45로 33개 OECD주요 국가와 비교 시 하위권에 그치고 있다.⁵⁵⁾ 도로의 설치 여부 및 상태가 안정적이지 못하면 공장생산 제품의 현장으로 운반이 어려울 뿐 아니라 운송 과정에서 변형 및 파손이 발생하므로 도로 여건은 DfMA 기반 건축 수요 확대를 저해하는 근본적인 원인이 될 수 있다.

53) 한국도로공사 홈페이지 <https://www.ex.co.kr/> 내 고속도로/교통안전/운행제한의 내용을 참조함(검색일 2023.04.17.)

54) 국토면적과 인구를 모두 고려하여 도로보급율을 측정하는 지표

$$\text{국토계수당 도로보급율} = \text{도로연장(km)} / \sqrt{[\text{국토면적(km}^2\text{)} \times \text{인구(천명)}]}$$

55) 네이버 포스트 <https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=16198835&memberNo=25154814>
 (검색일 2023.04.13.)



[그림 3-7] 국가별 도로보급률

출처: 네이버 포스트 <https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=16198835&memberNo=25154814>
(검색일: 2023.04.13.)

2. DfMA 기반 건축 관련 정책 추진 현황

1) DfMA 기반 건축물의 기술개발과 보급 확산 정책

□ 모듈러건축 기술개발 R&D와 실증사업의 추진⁵⁶⁾

국내에서 제조·조립을 위한 설계가 적용된 모듈러건축에 관한 본격적 연구는 2014년부터 시행된 연구단 규모의 국가R&D 사업인 '모듈러 건축 중고층화 및 생산성 향상 기술 개발'이 그 시초라 할 수 있으며 이를 통해 13층 규모의 모듈러 건축물에 대한 실증이 이루어졌다. 2015년 이후 모듈러건축에 대한 연구는 모듈러건축 산업의 활성화를 위한 전문건설업 등록과 발주제도, 성능인정제도에 대한 정책연구 및 모듈러건축의 요소기술에 해당하는 온돌시스템, 연결철물, 내외장 마감재, 가변성, 목조 모듈, PC 모듈 등의 개발이 다양하게 진행되었다. 2017년 한국 토지주택공사에서는 공동주택에 모듈러 공법을 활용하기 위해 민간기업과 공동으로 중층용 구조시스템을 개발하고 2019년에 천안 두정 모듈러 실증단지를 대상으로 표준 공정관리를 구축하는 연구를 수행하였다.

□ 모듈러주택의 보급 확산을 위한 정책의 추진

56) 한국건설기술연구원 모듈러건축연구센터. (2020). 똑똑하고 빠르게, 지속가능한 모듈러 건축. p.88의 내용을 요약 정리함

국토교통부는 산학연 연계로 진행된 모듈러건축 기술개발 국가R&D (2014~2022)의 성과를 바탕으로 모듈러공법을 적용한 임대주택 1천호 공급 등 다양한 모듈러주택시장 활성화 대책을 마련하여 발표한 바 있다. 2022.11.23.에는 모듈러주택을 활성화하고 민간 참여를 바탕으로 모듈러주택 산업의 육성·발전을 위한 국토교통부, 한국토지주택공사, 한국건설기술연구원, 대한건축학회, 한국철강협회, 스마트모듈러포럼 등이 참여하는 산학연관 공동의 '모듈러주택 정책협의체'가 출범하였다.

이를 통해 모듈러주택 산업을 이끌어 가는 다양한 참여자들과 함께 제도개선 및 정책발굴, 상호협력, 최신기술 동향 및 발전의 흐름을 공유하고 긍정적 인식 확산을 위한 홍보활동을 지속적으로 추진할 계획을 밝혔다. 또한 모듈러주택 활성화를 위한 정책적 성과 확산을 도모하고자 국토교통부와 LH는 2024년 준공을 목표로 세종시 행정중심복합도시 6-3생활권에 국내 최대 규모의 모듈러주택단지 건설을 추진하고 있다.⁵⁷⁾



[그림 3-8] 세종시 6-3 생활권 모듈러주택단지 조감도

출처: 국토교통부 보도자료. (2022.09.19.), 국내최대 규모 모듈러주택단지 세종시에 들어선다. p.2

모듈러주택 활성화를 위한 「주택법」 개정도 추진 중이다. 2021.6.29.에 발의한 일부 개정 법률안에는 기존의 '공업화주택'을 '모듈러주택'으로 용어를 변경하고 인정대상에 준주택(숙박시설)을 추가하여 모듈러주택 인정제도 활성화 및 산업 외연을 확대하고자 하는 내용을 담고 있다.

한편 국토교통부가 제시할 예정인 「공업화주택 공급로드맵」에는 공업화주택의 보급을 활성화하기 위해 공공부문의 발주를 확대하고, 관련 인센티브 및 규제개선을 추진하여 연간 3,000호의 공공 공업화주택을 공급할 계획인데 공공발주기관을 중심으로 2030년까지 연간 3,000호 발주를 목표로 매년 발주계획을 수립하여 공업화주택 시장의 지속가능성을 보장하고 민간의 자발적인 투자 및 기술개발을 유도하고자 한다.

또한 모듈러건축 맞춤형 제도개선을 통해 전반적인 설계, 감리 등 공업화인정 특례제도와 내화기준, 친환경건축 인증제도, 인센티브를 모듈러주택에 맞게 종합적으로 개선하며 공업화주택 관련 지원체계 정비를 위해 모듈 제작 및 현장조립 관련업의 업종분류기준을 확립하고 공업화주택의 실적관리 및 통계처리 체계를 마련할 예정이다.

57) 지상 7층(4개 동) 규모로 총 416세대가 공급되며 주택의 평형은 전용면적 21~44㎡으로 구성

2) 스마트건설 활성화 방안 S-Construction 2030⁵⁸⁾

2022.7.20. 국토교통부에서는 2030년까지 건설 전 과정의 디지털화·자동화를 목표로 하는 스마트 건설 활성화 방안을 마련하고, 건설산업 디지털화, 생산시스템 선진화, 스마트 건설산업 육성을 중점과제로 선정하여 발표하였다. 구체적인 스마트건설 활성화 방안으로는 작업여건 개선, 건설안전 확보, 환경 문제 해결, 주변환경 영향 최소화 등을 위한 10개 기본과제와 46개 세부 과제를 채택하였다.

제조·조립 건축의 활성화를 위한 BIM 도입을 확대하기 위해 일정규모 이상 공공공사의 BIM 의무 도입과 건설기준의 디지털화, 시행지침 제정 및 설계대가 마련 등 제도 정비와 전문인력 양성을 추진하는데 공사규모 1,000억원 이상의 공공공사에 대해 전 과정 BIM 도입을 의무화하고, 2016년까지 719개 건설기준을 디지털화하여 BIM 작업의 생산성을 높이고자 한다. 이를 위해 2022. 12.까지 BIM 시행지침을 제정하고, 설계대가 마련 등 제도 정비와 더불어 연간 600~800명의 전문 인력 양성을 추진한다.

생산시스템 선진화와 관련한 제조업 기반의 탈 현장 건설(OSC) 활성화를 위해 공공발주 확대, 제도 정비, 기술개발 지원 방안을 구체적으로 제시하였다. 시장초기 불입을 위해 2023년 스마트 기술이 적용된 공공주택 발주물량을 1천호로 확대하고 지자체 인허가 단계에서 용적율·건폐율·높이제한을 완화(주택법 개정)할 수 있는 혜택(인센티브)을 제공하며 OSC주택(공업화주택) 인정제도의 인정대상을 현행 주택에서 OSC 수요가 많은 기숙사, 오피스텔 등 준주택까지 확대할 예정이다.



[그림 3-9] 스마트건설 활성화 방안(제조업 기반의 탈현장 건설(OSC) 활성화를 통한 미래 모습

출처: 국토교통부 보도자료, (2022.07.19.), 「스마트 건설 활성화 방안 S-Construction 2030」 추진, p.4

58) 국토교통부(2022). 스마트 건설 활성화 방안



[그림 3-10] 스마트 건설 활성화 방안 중 건설산업 디지털화를 위한 BIM 도입방안

출처: 한국건설신문 홈페이지 <http://www.conslove.co.kr/news/articleView.html?idxno=77564>(검색일: 2023.04.13.)

3. DfMA 기반 건축 산업현황

1) 국내 DfMA 기반 건축 산업 형성과 전개

□ 한국표준산업분류의 DfMA 기반 건축

우리나라의 산업 업종을 법적으로 구분할 때 사용하는 기준으로는 「한국표준산업분류」가 있으며 2017년 제10차 개정을 거쳐 통계청 통계분류포털에서 관련 서비스를 제공하고 있다. 산업분류는 생산 단위가 주로 수행하는 산업활동을 중심으로 산출물(생산된 재화 또는 제공된 서비스)의 물리적 구성, 가공단계, 수요처, 기능 및 용도 등의 특성과 투입물의 원재료, 생산 공정, 생산기술 및 시설 등 특성과 생산활동의 일반적인 결합형태 등을 기준으로 분류가 이루어진다.⁵⁹⁾

DfMA 기반 건축은 산출물의 특성과 생산활동의 결합형태가 단일 산업으로 분류하기 어렵고, 표준산업분류상 C 제조업, F 건설업, M 전문, 과학 및 기술서비스업에 걸쳐 있다. 'C 제조업'에서는 '16 목재 및 나무제품 제조업; 가구 제외'의 '161 제재 및 목재 가공업'과 '162 나무제품 제조업', '25 금속 가공제품 제조업; 기계 및 가구 제외'의 '251 구조용 금속제품, 탱크 및 증기 발생기 제조업' / '2511 구조용 금속제품 제조업' / '25111 금속 문, 창, 셔터 및 관련 제품 제조업'과 '25112 구조용 금속 판제품 및 공작물 제조업', '25113 육상 금속 골조 구조재 제조업'이 해당하나 벽체와 창호가 결합된 패널 형태의 공간유닛이나 천장과 바닥, 벽체가 결합된 모듈러

59) 통계청 통계분류포털 한국표준산업분류 개요의 분류 기준을 요약함.

통계청 홈페이지 https://kssc.kostat.go.kr:8443/ksscNew_web/index.jsp#(검색일: 2023.08.29.)

형태의 공간유닛에 특화된 분류 기준은 존재하지 않는다.

‘F 건설업’에서는 ‘41 종합 건설업’의 ‘411 건물 건설업’과 ‘42 전문직별 공사업’의 ‘421 기반 조성 및 시설물 축조관련 전문공사업’의 ‘4213 시설물 축조 관련 전문공사업’, ‘422 건물설비 설치공사업’, ‘423 전기 및 통신공사업’, ‘424 실내건축 및 건축마무리 공사업’이 해당하나 공장에서 제작된 공간유닛을 현장에서 조립하는 제조·조립에 특화된 분류 기준은 별도로 존재하지 않는다. ‘M 전문, 과학 및 기술서비스업’에서는 ‘72 건축기술, 엔지니어링 및 기타 과학기술서비스업’의 ‘721 건축기술, 엔지니어링 및 관련 기술 서비스업’이 해당하나 제조·조립을 위한 설계에 특화된 별도의 서비스 분류 기준은 부재한 것이 현실이다.

DfMA 기반 건축산업은 그 산출물 및 생산활동 특성상 패널 또는 모듈러 형태의 공간 유닛 생산 및 조립을 고려한 건축물 설계에서 공간 유닛의 공장 생산 및 운송, 현장 조립 및 시공에 이르는 건축생산 전과정이 통합된 형태로 별도의 산업생태계 조성이 필요하다. 반면에 기존의 표준산업분류 체계에서는 건축물의 생산과정을 설계와 시공으로 명확히 구분하고 있으며 따라서 DfMA 기반 건축에서 핵심 기술 요소가 되는 공간유닛의 생산과정이 일반적인 공산품 제조과정으로 취급되는 등 제조·조립을 위한 설계 기반 건축 산업의 지속 가능한 성장에 한계가 있다.

이러한 산업 생태계의 미성숙으로 조달청 등에서 시행하는 공공 건축물 발주 과정에서는 설계와 생산, 조립·시공의 전 과정에 걸친 통합된 생산프로세스에서 전문적인 기술이 요구되는 모듈러 등 공간유닛을 단순히 물품으로 구매하는 방식으로 대응하는 한계가 있다. 또한 현장에서 이루어지는 패널 또는 모듈러 등 공간유닛의 조립·시공은 별도의 지식과 경험을 보유한 전문적인 직종이 존재하지 않는 상황에서 표준분류체계상 42138 지붕, 내·외벽 축조 관련 전문공사업 등의 분야에 해당하는 업무로 취급되어 전문적인 경험과 지식의 축적이 이루어지지 못하는 실정이다.

[표 3-7] 제조·조립 기반 건축 산업의 한국표준산업분류와의 관계

대분류(21)		중분류(77)		소분류(232)		세분류(495)		세세분류(1,196)	
코드	항목명	코드	항목명	코드	항목명	코드	항목명	코드	항목명
C	제조업	16	목재 및 나무 제품 제조업; 가구 제외	161	제재 및 목재 가공업	1610	제재 및 목재 가공업	16102	표면 가공목재 및 특정 목적용 제재목 제조업
				162	나무제품 제조업	1622	건축용 나무제품 제조업	16221	목재 문 및 관련제품 제조업
		25	금속 가공제품 제조업; 가구 제외	251	구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업	2511	구조용 금속제품 제조업	16229	기타 건축용 나무제품 제조업
								25111	금속 문, 창, 셔터 및 관련제품 제조업
								25112	구조용 금속 판제품 및 공작물 제조업
								25113	육상 금속 골조 구조재 제조업
F	건설업	41	종합 건설업	411	건물 건설업	4111	주거용 건물 건설업	41111	단독주택 건설업
								41112	아파트 건설업
								41119	기타 공동주택 건설업

대분류(21)		중분류(77)		소분류(232)		세분류(495)		세세분류(1,196)	
코드	항목명	코드	항목명	코드	항목명	코드	항목명	코드	항목명
M	전 문 , 과학 및 기술 서비스업	72	건축기술, 엔지니어링 및 기타 과학기술 서비스업	42	전문직별 공사업	4112	비주거용 건물 건설업	41121	사무·상업용 및 공공기관용 건물 건설업
								41122	제조업 및 유사 산업용 건물 건설업
								41129	기타 비주거용 건물 건설업
						421	기반조성 및 시설물 축조관련 전문공사업	42138	지붕, 내·외벽 축조 관련 전문공사업
						422	건물설비 설치 공사업	42201	배관 및 냉·난방 공사업
								42203	방음, 방진 및 내화 공사업
								42209	기타 건물 관련설비 설치 공사업
						423	전기 및 통신공사업	42312	내부 전기배선 공사업
								42322	내부 통신배선 공사업
						424	실내건축 및 건축마무리 공사업	42411	도장 공사업
								42412	도배, 실내 장식 및 내장 목공사업
						424	기타 건축 마무리 공사업	42420	유리 및 창호 공사업
								42491	미장, 타일 및 방수 공사업
								42492	건물용 금속 공작물 설치 공사업
								42499	그 외 기타 건축 마무리 공사업
						7211	건축 및 조경 설계 서비스업	72111	건축설계 및 관련 서비스업
						7212	엔지니어링 서비스업	72121	건물 및 토목 엔지니어링 서비스업
						73	전문 디자인업	73201	인테리어 디자인업

출처: 통계청 통계분류포털. 10차 개정 한국표준산업분류에서 발췌, https://kssc.kostat.go.kr:8443/ksscNew_web/index.jsp# (검색일:2023.08.29.)

□ DfMA 기반 건축 산업 형성 과정

국내에서 공장생산을 전제로 하는 제조·조립 기반 건축의 대표적인 유형으로는 모듈러건축⁶⁰⁾이 있으며 국가 차원에서 집중적인 R&D 투자를 통해 2003년을 시작으로 산업적 관점에서도 꾸준한 성장이 진행되고 있다. 모듈러건축은 3차원의 단위 공간 모듈을 구성하는 방식으로 그 뼈대가 되는 프레임의 재료에 따라 스틸, 목재, 콘크리트 등 다양한 구조재료가 활용되며 목조 모듈은 주로 저층 단독주택에 활용되는 반면 중고층으로 개발되는 모듈러건축의 경우 대부분 스틸 모듈이 적용되는데 재료의 특성을 활용하여 콘크리트 코어와 스틸 모듈을 복합적으로 적용하는 방식 등 다양한 공법이 개발되었다.

국내 최초의 모듈러건축 건설프로젝트는 서울시교육청에서 방학기간 동안에 학교시설의 증축이

60) 좁은 의미로는 공기단축, 건축물의 이동 및 재사용, 공사비 절감을 목적으로 골조, 설비, 마감 등을 포함해 공장에서 생산한 3차원 건축 모듈(Volumetric Module)을 현장에서 조립하여 완성하는 건축시스템 및 시공 공법으로 설명할 수 있으며, 넓은 의미로는 프레임브건축(공장에서 다양한 형식으로 사전 제작되는 건축 방식)과 유사한 의미로도 사용됨(출처: 한국철강협회. (2020). 모듈러 건축시장 조사 및 전망. p.10)

가능한 조립식건축 공법을 요청함에 따라 포스코와 RIST에서 모듈러건축으로 관련 공법과 기술을 개발하고 2003년 처음으로 서울 신기초등학교에 적용되었다. 2014년에 시작된 모듈러 건축 기술개발 국가R&D를 필두로 관산학연 연계의 모듈러건축 활성화 방안이 지속적으로 논의되었으며 2022년에는 국토교통부 주관으로 모듈러건축정책협의회가 구성되어 모듈러 건축산업의 발전을 위한 논의가 활발하게 이루어지고 있다.

현재 국내에서 생산 및 시공이 이루어지는 모듈러건축의 용도를 살펴보면 공공부문에서는 교육 시설(교실), 의료시설(음압병실, 일반병실), 국방시설(군막사), 임대주택(공공임대, 행복주택), 간호시설 등에서 적용이 이루어지고 있으며 민간부문에서는 건설현장 임시시설물, 체인점, 오피스빌딩, 호텔, 주택/기숙사, 정거장/공항 및 상업/산업시설 등에서 폭넓게 적용되고 있다.

[표 3-8] 구조적 특성에 따른 모듈러건축의 유형 분류

유형	프레임식	내력벽식	비구조 모듈
특성	- 기둥과 보의 프레임으로 구성되며, 여러 개의 모듈이 합쳐져 대공간을 구성할 수 있음 - 보와 기둥 접합부의 성능이 중요함	- 모듈의 측면 벽체가 내력벽으로 구성되며, 기숙사와 같이 단위 모듈이 하나의 룸으로 구성되는 경우에 적합함 - StrapBrace/면재 활용 전단저항시스템 필요	- 별도의 구조 프레임 내부에 비구조 모듈이 설치됨 - 자체적인 구조성능 미보유
적용 예			

출처: 한국철강협회, (2022). 모듈러 건축시장 조사 및 전망. p.11 재구성

[표 3-9] 재료적 특성에 따른 모듈러건축의 유형 분류

유형	스틸(Steel Frame)	목조(Timber Frame)	콘크리트(Precast Concrete)
특성	- 기둥, 보 등의 주요 구조부를 형강이나 각형강판 등의 철골 부재로 하거나, 박판의 아연도금 강판을 이용해 내력벽 방식의 모듈을 제작함	- 경량 목구조로 단위 모듈의 바닥, 벽체, 천장 등을 구성함	- 모듈의 일부(바닥 및 벽체 등) 또는 전체를 철근콘크리트로 구성함
적용 예			

출처: 한국철강협회, (2022). 모듈러 건축시장 조사 및 전망. p.14 재구성

□ 국내 모듈러건축 산업의 발전과정⁶¹⁾

2000년대 중반~2010년에는 학교와 군시설 등 공공건축물 위주의 공급이 주로 이루어졌는데 독신자용 숙소와 군막사 등에 적용 가능한 모듈러건축이 많이 도입되었다. 특히 군막사의 경우 규격화와 이동의 용이성을 고려하여 모듈러건축 시스템이 적극적으로 개발되었으며 이후에는 기숙사와 단독주택 등 다양한 용도의 모듈러건축이 시도되고 있다.

2010년대에는 군시설 대량 발주와 공동주택, 수출용 등 모듈러건축의 적용 범위가 대폭적으로 확대되었다. 또한 2010년 중반부터 시작된 국토교통부의 국가 R&D 지원과 포스코 등 관련 산업체의 제품개발 노력을 바탕으로 대형 건설사들이 모듈러건축 시장에 참여하기 시작하면서 주거용 건축물과 이동형 모듈러건축 등으로 시장이 확산되기에 이르렀으며 한국토지주택 공사 등 공공부문 모듈러주택의 건설도 시작되었다.

2020년대는 고층 모듈러건축 기술 개발과 학교시설 공사의 대량 발주가 이루어진 시기다. 당시 국가 R&D를 통한 실증연구사업의 일환으로 12층 규모의 포스코 광양생활관과 13층 규모의 용인영덕 경기행복주택 등 중·고층 규모의 모듈러건축이 적극적으로 도입되었다. 2021년부터 시행된 정부의 그린스마트스쿨 확대의 일환으로 노후 학교시설의 그린리모델링 사업이 증가하였고 모듈러건축의 대량 발주도 이루어졌다.

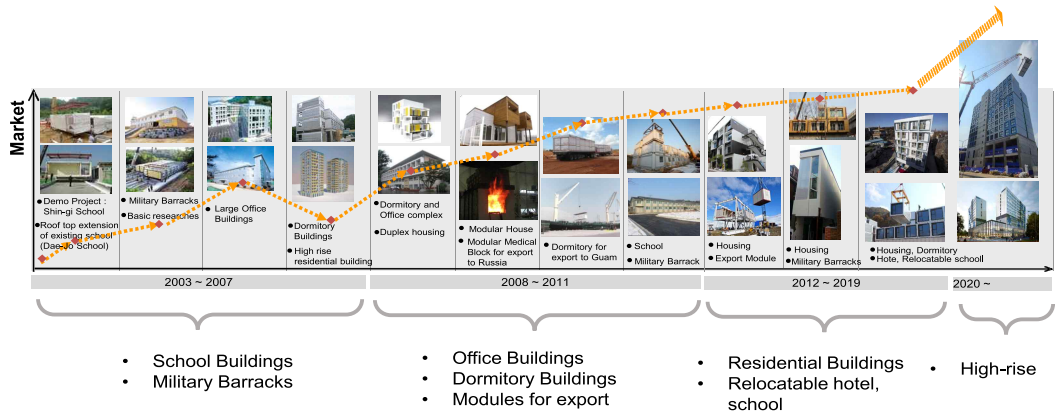
국토교통부의 스마트 건설 활성화 방안 발표와 함께 한국토지주택공사에서는 2024년 입주를 목표로 세종시에 지상7층(4개동) 규모의 총 416세대에 이르는 통합공공임대주택 단지를 건설 중에 있으며 2023년 7월 국토교통부에서 발표한 공공 공업화주택 활성화 방안에서는 공공 공업화주택 활성화 로드맵의 마련과 함께 2030년까지 연간 3,000호 이상의 공공 모듈러 주택 공급 계획을 발표하였다.

2) 모듈러건축 산업의 시장 전망

□ 기존 모듈러건축 시장 현황

철강협회에서 조사한 모듈러건축 회원사의 실적자료 및 일부 추정자료를 활용한 국내 모듈러 건축 시장규모는 2003년 7.8억원을 시작으로 2021년에는 1,457억원 규모로 성장한 것으로 나타났다. 모듈러건축 시장이 2012년에 1,687억원으로 최대의 실적을 달성한 것은 기존 노후 병영시설에 대한 현대화 사업의 일환으로 모듈러공법을 적용한 독신자 숙소 및 병영생활관 개선이 대규모로 이루어진 것이 그 배경이 되었으며 2021년에는 노후학교를 대상으로 시행한 학교시설 그린 리모델링사업의 일환으로 모듈러공법을 적용한 스마트학교의 이동형 학교 등 교육용 시장이 급격히 성장한 것이 직접적인 배경이 되었다.

61) 한국철강협회. (2022). 모듈러 건축시장 조사 및 전망. p.9-10을 참고하여 정리함



초기 시장

Needs

- 학교시설 : 방학중 증개축(신기초)
- 군시설 : 이동가능 군막사
- 시장확대 : 용도다양화, 수출용
- 주거용 시장 확대
- 중고층(12층 이상) 시장 확대
- 다양한 사업모델 적용

[그림 3-11] 우리나라 모듈러건축 산업의 발전과정

출처: 한국철강협회. (2022). 모듈러 건축시장 조사 및 전망. p.10

□ 모듈러건축 시장변화 중장기 예측⁶²⁾

한국철강협회의 모듈러건축 산업 분석자료에 따르면 2021년을 기준으로 전체 건축투자 규모는 약 185조원이며 이 중 모듈러 건축시장 규모는 1,457억원으로 전체 건축시장에서 차지하는 비중은 0.1%에도 미치지 못하는 상황이다. 한편 북미 사례를 참고하여 시나리오 분석을 통해 모듈러건축의 시장변화를 예측하였는데 미국과 유사한 방식으로 진행될 경우 국내 모듈러건축시장은 현재의 0.1%에서 2030년 최소 0.5%~최대 2%(최소 1조 1,000억원에서 최대 4조 4,000억원)까지 성장할 수 있을 것으로 전망했다.

◆ 참고 : 철강협회의 모듈러건축 중장기 시장 예측

- 지수평활법에 따라 국내 향후 건축시장을 추정한 결과 2030년 건축투자액은 약 221.9조원



[그림 3-12] 지수평활법을 이용한 건축투자 예측 곡선(단위: 십억원)

출처: 한국철강협회. (2022). 모듈러 건축시장 조사 및 전망. p.88

62) 한국철강협회. (2022). 모듈러 건축시장 조사 및 전망. p.87-91의 내용을 요약하여 정리함

◆ 건축투자 성장 시나리오에 따른 연도별 건축투자 예측치

- 건축투자 증가율을 2.0%로 가정할 때 지수평활법에 의한 건축시장 추정결과와 유사하게 2030년 건축투자액은 221.5조원으로 추정

[표 3-10] 건축투자 성장 시나리오에 따른 연도별 건축투자 예측치

단위: 십억원

연도	건축투자 1% 증가	건축투자 2% 증가	건축투자 3% 증가	건축투자 4% 증가	건축투자 5% 증가
2022	187,190.8	189,044.1	190,897.5	192,750.9	194,604.3
2023	189,062.7	192,825.0	196,624.4	200,460.9	204,334.5
2024	190,953.3	196,681.5	202,523.2	208,479.4	214,551.2
2025	192,862.8	200,615.2	208,598.9	216,818.5	225,278.8
2026	194,791.5	204,627.5	214,856.8	225,491.3	236,542.7
2027	196,739.4	208,720.0	221,302.5	234,510.9	248,369.8
2028	198,706.8	212,894.4	227,941.6	243,891.4	260,788.3
2029	200,693.8	217,152.3	234,779.9	253,647.0	273,827.8
2030	202,700.8	221,495.3	241,823.3	263,792.9	287,519.1

출처: 한국철강협회. (2022). 모듈러 건축시장 조사 및 전망. p.88

• 모듈러건축 시장점유율 변화에 따른 모듈러건축 총 공사비 예측치

- 건축투자 증가율을 지수평활법에 의한 투자예측 곡선과 유사한 2% 증가로 가정
- 모듈러건축 점유율을 0.5%로 가정할 때 2030년 모듈러건축 시장규모는 1조 1,000억원
- 모듈러건축 점유율을 1.0%로 가정할 때 2030년 모듈러건축 시장규모는 2조 2,000억원
- 모듈러건축 점유율을 1.5%로 가정할 때 2030년 모듈러건축 시장규모는 3조 3,000억원
- 모듈러건축 점유율을 2.0%로 가정할 때 2030년 모듈러건축 시장규모는 4조 4,000억원

4. DfMA 기반 건축 실태조사

1) 조사 개요

DfMA 기반 건축에 대한 국내 업계의 인식과 현황을 파악하고 이에 근거한 산업 활성화 전략 마련을 위해 실태조사를 실시하였다. 먼저 최근 3년간 DfMA 기반 건축 설계 또는 공사실적이 있는 사업체를 대상으로 1차 온라인 설문을 진행(2023.6.21.~30.)하고, 설문에 응답한 업체를 직접 방문하여 면담조사(FGI)를 실시하였다. 온라인 설문은 전체 26곳 중 10개 업체가 응답하였다. 조사 내용은 DfMA 기반 건축에 관한 인식, DfMA 건축 사업 수행실적, DfMA 건축 업무 수행방식 및 효과, DfMA 건축의 애로사항 및 활성화 방안 등이다.

[표 3-11] 조사 설계

구분	(1차) 설문조사	(2차) FGI
조사 대상	최근 3년간 DfMA 건축 실적이 있는 업체 관계자	좌동
조사 방법	구조화된 설문지를 이용한 온라인 조사	현장방문을 통한 대면조사
조사 기간	2023년 6월 21일 ~ 30일	2023년 10월 13일 ~ 31일
유효 표본	26곳 중 10곳 응답(응답률 38.5%)	설문조사 응답자

출처: 연구진 작성

[표 3-12] 응답자 특성

구분		사례수(명, 중복)
보유 면허 (복수)	전 체	(10)
	종합건설업	(4)
	건축설계 및 관련서비스업	(4)
	전문건설업	(3)
	건물 및 토목 엔지니어링서비스업	(1)
	기타(제조업)	(4)

출처: 연구진 작성

2) 조사내용

1차 설문조사 내용은 DfMA 기반 건축에 관한 인식, DfMA 건축 수행실적, DfMA 건축 수행 방식 및 효과, DfMA 건축의 애로사항 및 활성화 방안이며 이를 토대로 조사내용을 확장하여 DfMA 시행방법, 시장여건, 제조공장 여건, 사업 종류 및 발주처 등에 관한 세부사항을 조사 하였다.

[표 3-13] 조사 내용

구분	설문조사 항목	표적집단면접(FGI) 문항
응답자 일반사항	보유 면허	-
	'DfMA' 인지 여부	-
DfMA 기반 건축에 관한 인식	DfMA 건축 수준 평가	-
	DfMA 건축 수준이 낮은 원인	1. 업계(설계, 시공업계)에서는 왜 관심이 없다고 생각하십니까?
		2. 저급건물이라고 생각하는 이유가 디자인이나 품질 문제 혹은 실제로 저렴하다고 생각하 십니까?
		3. DfMA의 핵심은 초기 설계단계에 가장 효율적인 시공방법(현장조립방법)을 고민해서

		디자인을 해야하므로 설계과정에 제작업체나 시공자의 참여 및 협업이 중요한데 왜 잘 안된다고 생각하십니까? 4. DfMA를 위해서는 ‘정확성’이 중요하고, 이를 토대로 설계 및 제작, 시공 과정으로 계속 이어져야 합니다. BIM 같은 데이터 기반 프로그램을 활용이 기본인데 우리나라는 BIM 사용이 잘 안되는 이유는 무엇입니까? 5. DfMA 건축에 대해 선호도가 낮거나 시장이 작아 확장되지 못하는 이유는 무엇입니까? 6. 다른 나라의 경우 발주받아 제품을 제작해서 제공하는데 우리나라도 특정지역에 거점이 되는 제조공장을 만드는 것은 어떻게 생각하십니까? 7. 구체적으로 어떤 건축기준이 가장 큰 문제입니까?
	DfMA 건축 발전 가능성	-
	DfMA 건축 발전 가능성을 높게 평가하는 이유	8. 건설산업에서 심각한 문제는 무엇이며 DfMA가 어떤 측면에서 도움이 된다고 생각하십니까? 9. DfMA건축의 가장 큰 효과와 가치는 무엇이라고 생각하십니까? 10. 귀사가 느끼기에 정책이 사업을 추진하는데 직접적인 영향을 미친다고 생각하십니까? 11. DfMA건축 관련해서, 국내·외시장 양상을 고려하면 국내시장에 어떤 영향을 미칠 것 같습니까? 12. 국토부, 건기연, LH에서 모듈러 건축에 관한 연구, 개발, 사업등을 추진중인데, 기대하는 성과나 시급하다고 생각하는 부분이 있습니까?
DfMA 건축 실적	최근 3년간 DfMA 건축 계약 건수	13. 계약건수가 늘어난(또는 줄어든) 이유는 무엇인가? 수주한 사업들은 주로 어떤 건물들입니까(용도나 규모)?
	최근 3년간 DfMA 건축 수주액	14. 귀사가 수주한 사업의 대가에 대한 생각과 그 이유는 무엇입니까?
	전체 수주액 중 DfMA 건축 수주액 비중	15. 과거 대비 귀사의 DfMA건축사업 비중은 늘어나고 있습니까? 줄어들고 있습니까? 그 이유는 무엇입니까?
	수주액 상위 DfMA 건축 발주처	16. 해당 기관에서 발주하는 사업건수가 많기 때문인지? 아니면 해당 발주처가 이 분야에 관심이 많기 때문인지 이유가 있으십니까?
	수주건 상위 DfMA 건축 발주방식	17. DfMA건축은 시공자가 설계를 함께하거나, 설계자가 시공을 함께 할 수 있지 않습니까? (해외의 디자인빌드방식처럼)
DfMA 건축 수행방식 및 효과	DfMA 건축 적용 부분	18. 사전제작 수준은 어디까지입니까? 19. 보기 중 현실적으로 가장 쉬운 부분 또는 방법은 어떤 것이며 그렇게 생각하는 이유는 무엇입니까? 20. 모듈러에 대한 실제 현장에서 활용도나 향후 발전 가능성은 어떻다고 보십니까?
	DfMA 건축 수행시 초기 설계과정 참여 경험	-
	DfMA 건축 초기 설계과정 비참여 이유	21. 협업이 설계단계에 이루어져야하는데 설계단계에 참여가 안된다면 그 이유는 무엇입니까?
	DfMA 건축의 효과	22. 공기단축, 공사비절감, 안전사고, 공사폐기물 감소는 어느 정도입니까? 23. 기존 방식 대비 이런 방식으로 시행 시 건축물의 어떤 품질이 가장 좋아집니까? 24. 기존 설계에서의 가장 큰 문제점은 무엇입니까? 25. 예시한 효과 외 추가적인 효과가 있습니까?
	DfMA 건축 애로사항 및 활성화 방안	26. 계약서에 역할 관계가 명확하지 않습니까? 27. 설계단계에 꼭 참여해야한다고 생각하십니까? 만약 그렇다면 어느 설계(기본, 중간, 실기)단계에 필히 참여해야 하는게 좋다고 생각하십니까? 28. 사전 제조 및 운송에서 가장 큰 어려움은 무엇이고 그 이유는 무엇입니까? 29. 귀사에서는 DfMA 건축을 하기 위해 어떤 프로그램을 쓰고, 왜 사용하십니까? 30. 어떤 규제가 가장 심각하다고 생각하십니까? 그 이유는 무엇입니까?

31. 어떤 사업모델이 가장 이상적인가요? 현실적으로는 어떻게 접근하는게 맞습니까?
32. DfMA 건축을 위해 설계, 시공분야에 어떤 기술을 개발하는게 좋다고 생각하십니까?
33. 무슨 가이드가 업계에 가장 필요하다고 생각하십니까?
34. 어떤 방법이 가장 효과적으로 개선을 위한 효과 홍보가 된다고 생각하십니까?
35. 제조공장의 시장확장상 경쟁력이 있다고 생각하십니까?
36. 운송 과정에서 제도적, 정책적으로 필요한 것은 무엇입니까?

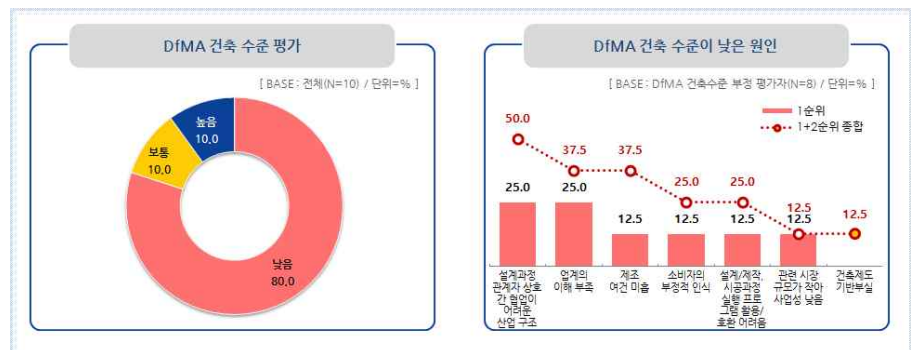
출처: 연구진 작성

3) 조사결과

□ DfMA 기반 건축에 대한 인식

본 조사가 모듈러건축 등 DfMA 기반의 건축물에 대한 설계, 제조, 시공 등의 경험이 있는 업체에 한정했음에도 불구하고 모두가 'DfMA'를 알고 있지는 않았다. 10개 사업체 10명의 응답자 중 7명만 이를 인식하고 있는 것으로 조사되었다. 이들 대부분은 국내 DfMA 건축 수준을 낮게 인식하고 있는데 그 원인으로 '설계과정에서 관계자 상호 간 협업이 어려운 산업 구조(50%)'와 '업계의 이해 부족', '제조 여건 미흡'을 들었다.

FGI에서도 이러한 문제의 원인을 설계단계에 사업 관계자 간 협업이 잘 이루어지지 않는다는 점을 강조하였고 더불어 전문 인력 부족 문제도 함께 지적하였다. 또한, DfMA 건축에 관한 주기적인 민간투자나 정책적 관심 부족, 발주처(개인, 민간, 공공기관 등)의 정보부족과 그에 따른 사업 계약의 어려움도 언급했다.

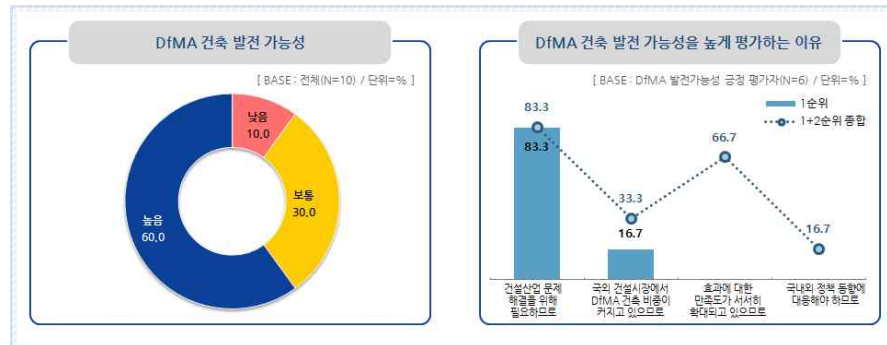


[그림 3-13] DfMA 건축 수준 평가 및 DfMA 건축 수준이 낮은 원인

출처: 연구진 작성

반면 향후 DfMA 건축산업의 발전 가능성에 대해서는 긍정적으로 평가했다. 이유(복수응답)로는 '건설산업이 지닌 문제의 해결을 위해 필요하다'는 의견과 함께 '효과에 대한 만족도가 서서히 확대되고 있다고 느낀다', '국외의 건설시장에서 DfMA 건축의 비중이 커지고 있기 때문이다' 등

점진적인 시장 확대 기대가 작용한 것으로 판단된다. 한편 응답자 FGI에서는 현재 건설산업이 당면한 가장 심각한 문제로 '인건비' 상승을 들며 소·중규모 주택사업에서는 DfMA 기반 건축 확산을 통한 인건비 부담을 줄일 수 있을 것으로 기대했고 그에 따른 DfMA의 시장 확대 가능성도 함께 전망했다.



[그림 3-14] DfMA 건축 발전 가능성
출처: 연구진 작성

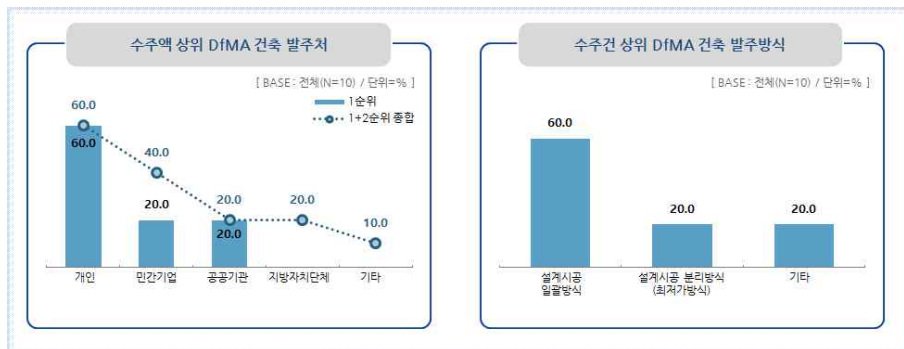
□ DfMA 기반 건축사업 수행 실적

조사대상 사업체의 경우 2020년 이후 최근 3년간 공공사업은 평균 30~40%, 민간사업은 90% 가까이 DfMA 기반 건축사업을 추진한 것으로 응답했다. 건수 기준으로는 공공분야가 1.6건, 민간분야가 38.8건으로 DfMA 기반 건축은 상대적으로 민간시장에서 관심이 큰 것으로 이해할 수 있다. 반면 수주액(평균)의 경우 공공분야가 28억원, 민간분야 90억원으로 사업 건수 대비 민간사업 규모가 과소한 것으로 판단되며 응답자 FGI를 통해 이들 대부분은 단독 주택 혹은 전원주택 공사인 것으로 확인되었다.



[그림 3-15] 최근 3년간 DfMA 건축 계약 여부 및 건수
출처: 연구진 작성

한편, 최근 3년간의 수주액 변화 경향을 살펴보면 공공분야에서는 실적이 크게 감소한 반면에 민간분야에서는 25억원 → 54억원 → 90억원으로 꾸준한 증가세가 유지되고 있었다. 비용과 관련한 FGI 결과에 따르면 DfMA 사업이 다른 사업에 비해 단가가 낮은 편이기는 하나 사회적인 선입견으로 인한 비용 절감 효과는 아직까지 체감되지 않는 것으로 파악된다. RC조처럼 주기적인 건축을 하는 것이 아닌, 필요시마다 제조하고 조립함으로써 공장가동률이 떨어지고 공장 월세 및 부지 임대료 등으로 실질적인 생산성이 높지 않고 설계나 공사대가 기준도 부재하여 공사비 산정도 어려운 실정으로 확인된다. 발주처는 ‘개인’(60.0%) > 민간기업(40%) > 공공기관(20%) 및 지방자치단체(20%)의 순으로 많고 대부분 ‘설계시공 일괄방식(60.0%)’으로 추진되었다.



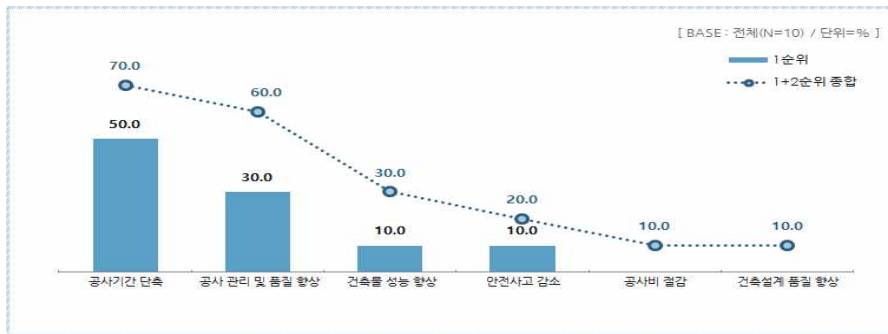
[그림 3-16] 수주액 상위 DfMA 건축 발주처 및 수주액 상위 DfMA 건축 발주방식

출처: 연구진 작성

□ DfMA 기반 건축사업 수행방식 및 효과

설문에 응답한 10개 사업체가 관여하는 DfMA 기반 건축 분야는 Level 1과 Level2에 해당하는 ‘구조부재’가 가장 많았고 ‘독립공간 모듈러(통합모듈러)’, ‘건축물 내외장재’, ‘부분 설치물로서의 모듈러’의 순으로 나타났다. 응답자 FGI에 따르면 현재 DfMA 기반의 소규모 건축사업의 경우 대체로 단독형 모듈러유닛으로 생산되며 급배수 연결 즉시 사용이 가능하다. 이러한 상품수준의 모듈러는 특수 목적의 장소에 건립되는 임시숙소, 병원으로서 활용도는 높으나 운송이나 작업공간이 협소한 도심 공사에 적용하기에 한계가 있다는 의견이 많았다.

한편, 사업체 응답자 10명 중 8명은 사업 초기 설계과정에 직접 참여하고 있는 것으로 확인 되었으며 DfMA 기반의 건축의 효과로는 ‘공사 기간 단축’, ‘공사관리 및 품질 향상’, ‘건축물 성능향상’, ‘안전사고 감소’ 등과 함께 ‘공사비 절감’이나 ‘건축설계 품질 향상’을 들었다. 관련하여 FGI 내용 중에는 공기단축이 최대 50%까지 이루어졌으며 공장생산에 따른 현장 안전사고 비율도 상당히 감소했다는 의견도 두드러졌다.

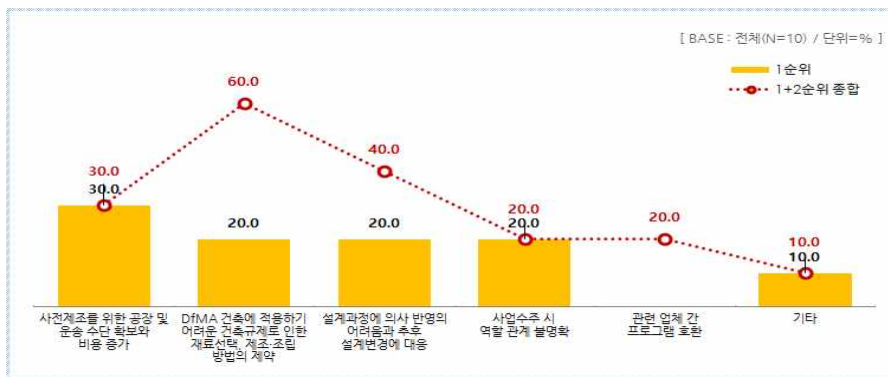


[그림 3-17] DfMA 기반 건축의 효과

출처: 연구진 작성

□ DfMA 기반 건축의 애로사항 및 활성화 방안

DfMA 건축 사업을 수행함에 있어 가장 큰 어려움은 ‘사전 제조를 위한 공장 및 운송 수단 확보와 비용 증가’를 꼽았다. 이외에도 DfMA 건축에 현행 건축규제를 적용하기 무리가 있다는 점과 설계변경에 대응하기 어려운 문제를 들고 있다. 또한 FGI결과에 따르면 현재 도로교통법의 적재하중은 주택이 아닌 물류나 자재기준으로 되어있어 가용범위가 제한적인데 밤이나 새벽 시간대 해당기준을 일시적으로 완화하여 원활한 운송이 가능한 법제도 개선 방안이 필요하다는 의견도 제시되었다.

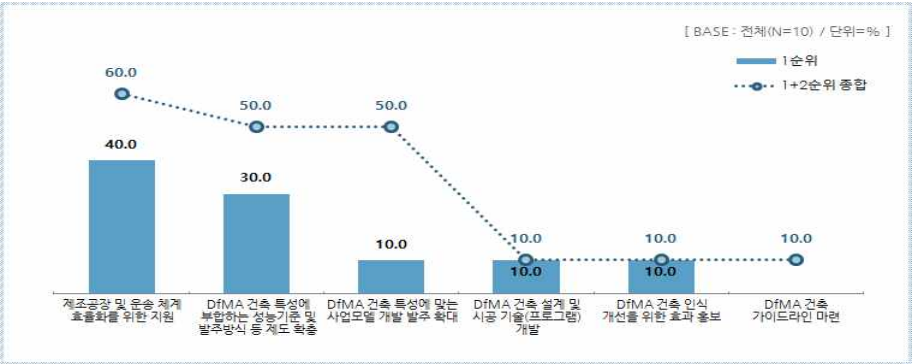


[그림 3-18] DfMA 건축 수행 시 애로사항

출처: 연구진 작성

DfMA 기반 건축 사업 수행과정의 또 다른 애로사항(복수응답)으로 ‘DfMA 건축에 적용하기 어려운 건축규제로 인한 재료선택 및 제조·조립 방법의 제약’과 함께 ‘사전 제조를 위한 공장 및 운송 수단 확보와 비용의 증가’ 및 ‘설계과정에서 의사 반영의 어려움과 추후 설계 변경에의 대응’이 주요하게 언급되었고 ‘사업수주 시 역할 관계의 불분명’이나 ‘관련 업체간 프로그램의 호환성’에 대해서도 어려움을 겪는 것으로 나타났다.

이러한 문제를 극복하기 위해서는 ‘제조공장 및 운송체계 효율화를 위한 지원’과 함께 ‘DfMA 기반 건축의 특성에 부합하는 성능기준 및 발주방식 등 제도 확충’, ‘DfMA 기반 건축의 특성에 맞는 사업모델 개발 및 발주 확대’가 필요하며 나아가 ‘DfMA 기반의 건축 설계 및 시공기술(프로그램 개발)’과 ‘DfMA 기반의 건축에 대한 인식개선을 위한 효과에 대한 홍보’도 필요함을 지적하고 있다. 응답자 FGI에서도 제도 개선의 필요성을 강하게 언급했다. 모든 행정기관이 기존 건축사업에 익숙하여 DfMA 기반 건축사업 발주나 문서 작성이 미흡하다며, 모두가 인식할 수 있는 새로운 제도 개발의 필요성을 제기하기도 했다. 또한 공공이 DfMA 기반 건축을 주도함으로써 사회적 인식개선을 위한 의도적인 노력이 필요하다는 의견도 제시되었다.



[그림 3-19] DfMA 건축 활성화를 위한 정책
출처: 연구진 작성

[표 3-14] DfMA 기반 건축 활성화를 위한 제안사항

구분	내 용
제도 관련	- 각종 건축규제 정비 필요(관련법 정비) - 규제완화-모듈러 공법은 경량 소재인 목재나 철재이므로 내화규제, 차음규제로 인하여 고층건축 등에 적용하기 어려움 - 현실성 있는 설계 프로그램 보급 필요 - 소비자(발주처) 인식은 저렴하고 빠른 건축물로 인식, 최저가 입찰방식 개선 필요 - 건축물을 면적당 단가가 아닌 건축물이 성능, 자원, 품질로 평가받는 여건이 마련되어야 진정한 DfMA가 구현 될 수 있음
인식 개선 관련	- 발주처의 이해부족 문제 해결 - 자동화에 기반한 공장생산이 저렴하다는 시장인식 개선 필요
DfMA 기반 건축의 시장 확대 관련	- DfMA 기반 건축 활성화를 위한 공공발주 물량 확대, 민간발주를 견인하는 정부의 노력 필요 - 공공분야 DfMA 기반 건축사업 선제적 확대 필요 - DfMA 기반 건축의 시장확대를 위한 정부의 인센티브 정책 마련 시급 - 정부차원의 기술개발, 체계화 필요 - 인건비 상승 문제, 탄소배출량 저감 의무화를 포함한 ESG 경영기업지원, DfMA 기반 건축사업 지원

출처: 연구진 작성

5. 소결 : 국내 DfMA 기반 건축의 한계 및 제도 개선 방향

□ DfMA 기반 건축에 적합한 건축기준의 부재

「건축법」에서 ‘건축물의 구조·설비·피난 및 방화기준’, ‘건축물의 에너지절약·차음기준’ 등은 현장 시공에 의한 철근콘크리트 혹은 철골철근콘크리트 구조의 건축물을 중심으로 내용이 구성되어 있으며 특히 「주택법」에 의한 공동주택의 경로방지, 바닥충격음, 벽체의 차음구조 등에 관한 기준은 철근콘크리트 벽식구조의 아파트를 대상으로 벽체의 두께 및 바닥판의 구성방식을 정하고 있다.

반면 부재와 부품의 공장생산을 기반으로 현장에서 조립 및 접합이 이루어지는 모듈러건축 등 DfMA 기반 건축물의 경우 개별 부품 단위의 인정을 통해서만 해당 건축기준의 충족 여부를 판단하는 실정이다. 이처럼 건축물에서 기본적으로 요구되는 성능 항목인 단열, 방화, 차음 등에 관한 성능기준이 전통적인 건축생산 방식인 습식의 철골·철근콘크리트 구조에 초점이 맞춰져 있다는 점에서 공간 유닛을 공장에서 생산하고 현장에서 조립 시공이 이루어지는 DfMA 기반 건축물의 생산 프로세스에 부합하는 별도의 건축기준 마련이 필요하다.

□ DfMA 기반 건축 인정제도 정비

DfMA 기반 건축물 인정제도는 「주택법」에 의한 공업화주택 인정이 유일하다. 공업화주택의 성능기준은 단독주택과 공동주택으로 구분한 반면에 생산기준은 조립식 부재의 재료적 특성에 따라 콘크리트, 경량기포콘크리트, 그 밖의 조립식 부재로 구분하고 있다. 또한 공업화주택 인정은 5년간의 유효기간을 지니며, 인정받은 주택의 치수나 면적, 재료 등이 변경될 경우 별도의 인정을 취득해야 하는 등 매우 경직되게 운영된다. 따라서 동일한 방식의 부재 조합으로 벽체 또는 바닥재의 규격이나 치수의 변경만이 이루어지고 동일한 성능을 확보할 수 있는 경우 등에 대해서는 기존의 인정을 유지할 수 있도록 하는 등 인정 공업화주택의 보급 활성화를 위한 제도적 정비가 필요하다.

□ DfMA 기반 건축 관련 BIM 지침 마련

건축물의 조성과정에서 생산성과 시공성, 효율성을 극대화하는 스마트건설의 핵심수단으로 인식되는 BIM의 도입 및 활성화를 목적으로 범정부 차원에서 건설산업 BIM 기본지침과 시행지침, 분야별 적용지침을 마련하여 시행 중이다. BIM 기본지침은 BIM 적용을 위한 협업, 데이터관리와 표준 등 건설사업 수행을 위한 기본적인 절차와 BIM 적용 원칙 및 단계, 방법, 계획 등에 대한 방향을 제시하고 있으며 BIM 시행지침은 발주자와 설계자, 시공자로 구분하여 공공 및 민간 발주처에서 활용 가능한 구체적인 세부기준과 BIM 성과품의 작성·납품 및 활용에 대한 방법과 절차 등을 규정하고 있다.

이러한 BIM시행지침에는 제조·조립을 위한 설계의 핵심 요소인 공장생산을 위한 발주자와 설계자의 대응방안이 전혀 언급되어 있지 않으며 시공자편에서 교량 등 인프라 구조물에 대한 탈현장 시공에 관한 내용이 일부 언급될 뿐 건축물을 중심으로 공장생산과 현장조립에 필요한 BIM 성과품의 작성 및 관련 세부 기준이 부재하다. 따라서 모듈러건축 등 공장생산과 관련한 적정 규격의 설정과 자동화를 위한 적정 물량산출 등의 프로세스가 중요한 요소로 작용하는 DfMA 기반 건축물에 관련한 BIM 시행지침의 보완이 필요하다.

□ DfMA 기반 건축 활성화를 위한 발주제도 정비

현행 건축물을 포함한 건설공사의 발주방식은 별도의 설계발주에 선행 후 설계사무소를 통해 제작된 설계도면을 바탕으로 시공업체를 선정하는 방식의 설계·시공 분리 발주제도를 운영 중이다. 또한 DfMA 기반 건축의 대표 유형인 모듈러건축은 공장에서 생산되는 모듈러 유닛을 발주처가 물품의 한 유형으로 구매하여 현장에 공급하고 시공자가 이를 단순 조립하는 구조로 발주되고 있다. 이로 인해 고도의 기술을 바탕으로 전체적인 건축물의 생산과정에서 중요한 부분을 담당해야 할 유닛의 공장생산 과정이 단순한 제조업으로 취급되면서 관련 기술의 고도화나 전문성의 축적 등이 이루어지지 못하는 실정이다. 따라서 DfMA 기반 건축물의 단위 부재, 부품 유닛을 단순한 물품으로 구매하는 방식에서 벗어나 공장생산 과정을 전체적인 건축물의 생산과정에 포함하여 포괄적으로 계약이 이루어질 수 있는 별도의 발주방식 도입이 필요하다. 관련하여 스마트팅키 또는 기술제안입찰방식에서 공장생산을 통한 성능 확보 수준 및 그 과정을 고도의 기술로 인정하는 등에 대해서도 검토가 필요하다.

□ DfMA 기반 건축 활성화를 위한 정책적 지원 확대

현재 국내에서 DfMA 기반 건축물의 보급 확산 정책은 모듈러건축 기술개발을 위한 국가 R&D 지원과 실증사업이 대표적이다. 국가 R&D 사업인 ‘모듈러 건축 중고층화 및 생산성 향상 기술 개발’을 통해 13층 규모의 모듈러건축에 관한 실증이 이루어졌고, 이어서 모듈러건축 산업의 활성화를 위한 전문건설업 등록과 발주제도, 성능인정제도에 대한 정책연구 및 모듈러건축의 요소기술에 해당하는 온돌시스템, 연결철물, 내외장 마감재, 가변성, 목조 모듈, PC 모듈 등의 개발이 다양하게 진행되었다. 이러한 국가 R&D사업은 DfMA 기반 건축물의 다양한 유형 중 하나인 모듈러건축의 기술개발에만 초점이 맞춰진 나머지 제조·조립을 위한 설계를 통한 건축물 생산 전 단계에 걸친 새로운 생태계 조성 및 혁신에는 이르지 못한 한계를 지닌다. 따라서 제조·조립을 위한 설계를 기반으로 건축생산 전 과정에 걸친 혁신과 공장생산의 비율을 높여 건축물의 품질 향상을 도모하고자 하는 새로운 건축생산 관련 생태계 조성을 위한 보다 종합적인 문제 진단과 함께 설계-공장생산-시공-유지관리에 이르는 종합적이고 체계적인 정책 지원이 이루어질 필요가 있다.

제조·조립을 위한 설계 기반 건축의 활성화를 위한 정책적 지원에 대해서는 영국이나 싱가포르 등 해외 사례를 참고하여 건축산업 전반에서 달성하고자 하는 공장생산 비율의 설정이나 공장생산 비율에 따른 인센티브 제공의 차별화 등 다양한 접근 방법을 모색할 필요가 있다. 나아가 국내 DfMA 기반 건축산업의 지속가능한 발전을 위한 산업생태계의 조성을 위해서는 인정제도 등의 개선 및 다양한 인센티브의 도입과 함께 기존의 건축물 생산과정과 차별화 되는 설계-생산-시공이 결합된 새로운 산업분류도 검토되어야 한다.

제4장 DfMA 기반 건축 사례 분석

1. DfMA 기반 건축물 사례 분석
 2. 국외 DfMA 기반 건축 제도 및 정책 사례 분석
-

1. DfMA 기반 건축물 사례 분석

1) 분석개요

DfMA 기반 건축의 목적과 원칙 등을 토대로 DfMA 기반 건축을 선제적으로 도입, 운영하고 있는 해외 건축물 사례를, 살펴 앞서 제시한 DfMA 기반 건축 수준별 구현 방법 및 효과를 중심으로 분석하고 시사점을 도출하였다. 국내 사례의 경우 해외사례 분석 결과 대비 현재 수준과 산업적 한계를 파악하였다. 분석대상은 2010년 이후 건립된 건축물로서 Alistair G. F. Gibb.(2001)의 분류기준인 건축 부재의 조합 및 기술적 결합방식의 수준 4개 단계(레벨 1 ~ 레벨 4)별 총 15개 사례(국내 4개, 국외 11개이며)(표 4-1) 구조, 건축, 설비의 건축물 공종별로, 건축물 부분별 DfMA 적용 기법과 건축물 조성과정 및 사용과정의 효과(건설노동력, 공사기간 단축, 탄소 저감, 에너지 감소, 기밀성, 디자인 등), 공사 발주방식(설계 및 시공 분리 방식, 설계·시공 통합방식)에 대해 분석하였다. 가급적 모든 사례에 공통으로 확인 가능한 내용에 한정하며 일부 확인이 어려운 정보는 제외하였다.

[표 4-1] DfMA 건축사례 분석 대상 개요

사례	개요				Level			
					1	2	3	4
Port Plus Building	용도	업무시설	위치	일본(요코하마)				
	규모	44m, 11층	DfMA	기동+보				
JTC Logistics Hub	용도	물류시설	위치	싱가포르(굴 서클)				
	규모	144,076㎡	DfMA	보				
AFS: VUE Terrace Homes	용도	주택단지	위치	호주(로비나)				
	규모	236채	DfMA	지붕+외부마감				
Global Switch Data Centre	용도	데이터센터	위치	싱가포르				
	규모	25,000㎡	DfMA	모듈러				
메이플 빌리지	용도	주택단지	위치	국내(경기도 용인)				
	규모	161.29㎡, 17세대	DfMA	패널라이징				
제주 성산 호텔	용도	휴게시설	위치	국내(제주도 성산)				
	규모	각동736㎡, 4개동	DfMA	지붕+패널				
Ng Teng Fong General Hospital & Jurong Community Hospital	용도	병원	위치	싱가포르				
	규모	170,941㎡	DfMA	모듈러				
Mini Sky City	용도	오피스텔	위치	중국(후난성)				
	규모	179,600㎡, 57층	DfMA	모듈러				
산청 예술인 마을 프로젝트	용도	주택단지	위치	국내 경상남도 산청군				
	규모	각 단독주택별 50㎡, 30세대	DfMA	화장실+욕실 유닛				
Avenue South Residence	용도	숙박시설(콘도)	위치	싱가포르(캄퐁 바루로드)				
	규모	84,551㎡	DfMA	PC 모듈러				
Nanyang Technological University Student Hostel	용도	기숙사	위치	싱가포르				
	규모	6개동 각 13층	DfMA	RC구조 모듈러				
Crowne Plaza Hotel Extension	용도	숙박시설	위치	싱가포르(창이 국제공항)				
	규모	10층, 243세대	DfMA	모듈러				

출처: 연구진 작성

[표 4-2] DfMA 건축사례 분석 내용

구분	내용
건축 개요	발주자, 시행자/ 용도, 규모, 층수, 구조 및 재료, 공사비, 공사기간 등
DfMA 기법	건축 부품, 부분 조립수준 별 DfMA 건축기법분
효과	건설노동력효과 DfMA 건축기법 적용 이전과 적용 이후를 비교하여 저감된 인력, 인건비
	공시 기간 단축 효과 DfMA 건축을 통한 공사 단축 기간
	공사비감소 효과 DfMA 건축기법을 적용하여 공사에서 발생한 공사비 감소 효과분석
	탄소, 에너지효율, 기밀성 탄소 저감 효과, 기밀성 등 분석을 통한 에너지 사용량 감소 효과분석
	디자인 효과 DfMA 건축기법에 따라 적용된 건축물의 디자인 효과분석 ※ 건축물 디자인상, 작품상 등
공사 발주방식	- 사업발주방식(통합, 분리)에 따른 설계자, 시공자, 발주처 등

출처: 연구진 작성

2) DfMA 기반 건축물 사례 분석

① Level 1 - 구조, 마감, 설비 부재 사전 제작 및 부분적인 조립

□ 주요내용

Level 1의 분석 대상 건축물은 일본의 Port Plus Building과 싱가포르의 JTC Logistics Hub다. Port Plus Building은 오바야시 상사 직원들을 위한 훈련 시설로서 100% 목재로 축조된 일본에서 가장 높은 내화 건축물이다. 특징적인 사항으로 화재 방지 기준 및 프로세스를 충족하기 위해 구조부재에만 철골대비 30~40% 높은 비용이 발생하였다.⁶³⁾ JTC Logistics Hub는 1,600㎡~2,500㎡ 단위로 구획할 수 있는 10m 높이의 물류시설로, 통합 발주방식 IDD(Integrated Digital Delivery)를 적용하여 첨단 디지털기술이 접목되었다.

[표 4-3] 건축 부재 사전 제작 및 서브 조립 활용단계 사례 개요

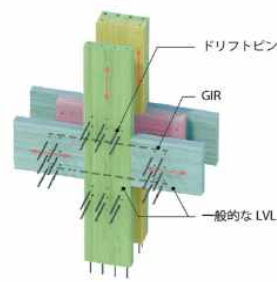
구분	건물명	용도	규모	위치	DfMA기법	효과	발주방식
1	Port Plus Building	업무시설	높이 44m, 11층	일본 (요코하마)	기둥과 보가 서로 연결된 십자형 유닛을 사전 제작	이산화탄소 배출량 1/4	설계 및 시공 통합발주
2	JTC Logistics Hub	물류시설	연면적 144,076㎡	싱가포르 (Pioneer)	보 구조 부재를 공장에서 사전 제작	생산성 70% 향상 자재비30~40% 절감	설계 및 시공 통합발주

출처: 연구진 작성

• DfMA 기법

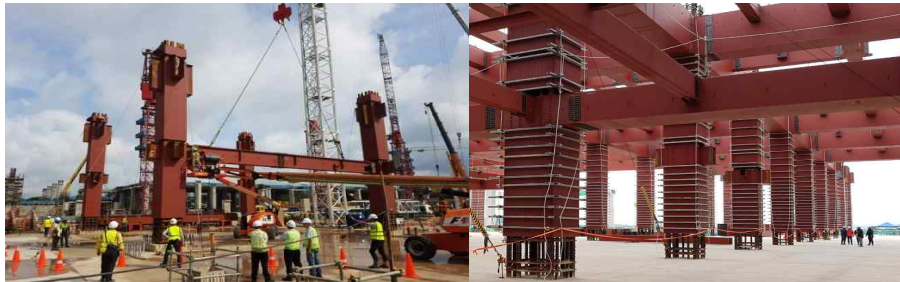
Port Plus Building과 JTC Logistics Hub 모두 주요 구조부재를 공장에서 제작한 후 현장에서 조립하는 방식을 도입했다. Port Plus Building의 경우 건물의 내진성능 강화를 위해 강도 높은 특수목재로 기둥과 보가 결합된 십자형 유닛을 공장에서 사전 제작하고 현장에서 조립함으로써 현장 공정을 최소화하였다. 마찬가지로 JTC Logistics Hub 또한 U형 강판, 전단 연결재, 스테프너 등 보 구조 요소 일체를 공장에서 미리 용접 조립하였고, 이를 그대로 현장으로 운송한 후 가장 최소한의 공정인 데크플레이트를 설치 후 콘크리트 타설방식으로 진행하였다.

63) The Asahi Shimbun 홈페이지 <https://www.asahi.com/ajw/articles/14856719>(검색일: 2023.08.25.)



[그림 4-1] Outline of Beam-Column Joint Unit

출처: 에노모토 히로유키(榎本浩之) 외(2021). 도시목조실현을 위한 구조기술 개발(都市木造の実現に向けた構造技術の開発).大林組技術研究所報 No. 85. 5p



[그림 4-2] JTC Logistics Hub_TSC(Thin Steel-plate Composite Beam)

출처: SEN engineering group 홈페이지 <http://senkuzo.com/2018/07/16/media-exposure-%EB%A7%A4%EC%9D%BC%EA%B2%BD%EC%A0%9C-%EC%8B%B1%EA%B0%80%ED%8F%AC%EB%A5%B4-%EB%AC%BC%EB%A5%98%EC%84%BC%ED%84%B0-%EC%88%98%EC%A3%BC-%EA%B4%80%EB%A0%A8/>(검색일: 2023.07.24.)

• 효과

Port Plus Building은 일본 최초로 3시간 이상 화재에 버티는 목재를 사용하여 이산화탄소 배출량이 철근콘크리트의 약 75%까지 감소하였다. 또한 IF Design Awards 2023 수상, 제5회 COFI 목조 건축 디자인 어워드 중층 목조 부문 수상, 제24회 (2023년) 일본 면진 구조 협회상 작품상 수상 등 72개를 수상하였다.⁶⁴⁾ JTC Logistics Hub 또한 디지털 주문 및 제조 방식을 통해 건설 생산성을 최대 70% 향상시켰고 인건비는 10% 줄였으며, 기존 철골 합성보 대비 30~40%의 자재비 절감을 달성했다. 내화 피복량은 70% 이상이 감소하였고 구조부의 공장 제작으로 층고를 낮춰 공사원가도 절감하였다. 그 결과 IES(Institution of Engineers Singapore)⁶⁵⁾가 주최한 World Engineers Summit 2021에서 Prestigious Engineering Achievement Award 2021을 수상하였다.⁶⁶⁾

64) Port Plus 홈페이지 <https://www.oyproject.com/news/>(검색일: 2023.08.25.)

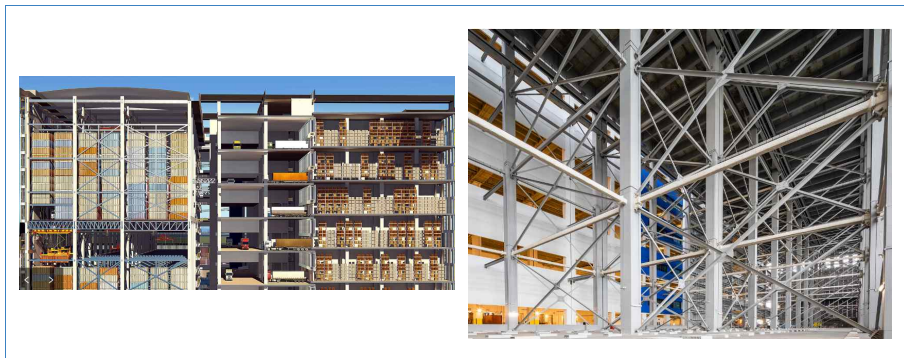
65) IES(Institution of Engineers, Singapore)은 싱가포르 엔지니어링 협회로 1966년 7월 설립되어 정부로부터 전문 엔지니어링 문제에 대한 피드백을 제공하도록 요청받는 기관이다.



[그림 4-3] Port Plus Building

출처 1: The Asahi Shimbun 홈페이지 <https://www.asahi.com/ajw/articles/14856719>(검색일: 2023.08.25.)

출처 2: PortPlus 홈페이지 <https://www.oyproject.com/details/>(검색일: 2023.08.25.)



[그림 4-4] JTC Logistics Hub

출처 1: JTC 홈페이지 <https://www.jtc.gov.sg/find-space/jtc-logistics-hub-gul>(검색일: 2023.08.25.)

출처 2: JTC 홈페이지 <https://www.jtc.gov.sg/about-jtc/news-and-stories/feature-stories/log-hub-constructing-jtc-logistics-hub>(검색일: 2023.08.25.)

- 발주방식

Port Plus Building은 오바야시 상사 직원들을 위한 훈련 시설로 오바야시 상사가 직접 통합 발주방식으로 진행하였다.⁶⁷⁾ JTC Logistics Hub은 단일 개발 내에 창고, 컨테이너 창고, 차량 등을 수용할 수 있는 싱가포르 최초의 고층 다세대 물류 시설로 설계 및 시공을 통합 발주로 AWP Architects와 계약을 체결하였다.⁶⁸⁾

② Level 2 - 구조, 마감, 설비 부재의 시스템화된 조립

66) SENcoretech 홈페이지 <http://www.sencoretech.com/42/?idx=8844342&bmode=view>(검색일: 2023.08.25.)

67) Obayashi wood vision 홈페이지 <https://www.obayashi.co.jp/woodvision/#/portplus/>(검색일: 2023.08.25.)

68) AWP architects 홈페이지 <https://awparchitects.com/projects/industrial-science-technology/jtc-logistics-hub/>(검색일: 2023.08.25.)

Level 2는 Level1의 단위 부재들을 한 단계 더 조립하는 방식이고 그 자체로 벽이나 지붕, 바닥, 계단 등 건축공간의 일부가 된다. 사전 제작된 벽 패널, 바닥, 지붕 등을 예로 들 수 있다. 본 연구에서는 호주의 AFS: VUE Terrace Homes, 홍콩 Global Switch Data Centre, 우리나라 제주 성산호스텔, 메이플빌리지를 살펴보았다.

[표 4-4] 건축 부재 및 조립 활용단계 사례 개요

구분	건물명	용도	규모	위치	DfMA기법	효과	발주방식
1	AFS: VUE Terrace Homes	주택단지	타운하우스 263채	호주 (로비나)	지붕 및 외부 마감을 사전 제작	공사 기간 2개월 단축 재료비용 8% 절감	설계, 시공 분리발주
2	Global Switch Data Centre	데이터 센터	연면적 25,000㎡	홍콩 (Woodlands)	모듈러 유닛	공사 기간 단축 비용 절감	설계, 시공 분리발주
3	제주 성산 호스텔	숙박시설	각동 736㎡, 4개동	국내 (제주도 성산)	지붕 및 패널 사전 제작	골조 1개월~2일 폐기물처리비용 감소	설계, 시공 분리발주
4	메이플 빌리지	주택단지	161.29㎡ 17세대	국내 (경기도 용인)	패널라이징 사전 제작	에너지 6~18% 감소 기밀도 30~70% 감소	설계 및 시공 통합발주

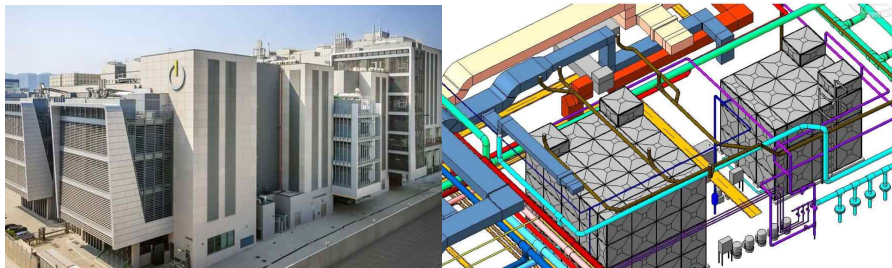
출처: 연구진 작성



[그림 4-5] AFS: VUE Terrace Homes

출처: Hutchinson builders 홈페이지

<https://www.hutchinsonbuilders.com.au/projects/residential/vue-terrace/>(검색일: 2023.06.26.)



[그림 4-6] Global Switch Data Centre / MEP구조

출처:(좌) Global Switch 홈페이지 <https://www.globalswitch.com/locations/hong-kong-data-centre/>(검색일: 2023.06.26.) (우) monarch 홈페이지 <https://www.monarch-innovation.com/types-of-mep-drawings>(검색일: 2023.06.26.)



[그림 4-7] 제주 성산 호스텔

출처: 천상현. (2017). 냉간성형강(C.F.S) 경량철골구조를 이용한 프리패브건축. 건축, 61(6), 5p

- DfMA 기법

VUE Terrace Homes에서는 LGS 프레이밍을 활용하여 사전 제작한 기둥, 보, 지붕, 외부 마감을 공장에서 조립하여 현장으로 이동하였고 설계단계부터 BIM을 활용함으로써 공사비에 적합한 공사방식을 선정하였다.⁶⁹⁾ Global Switch Data Centre는 조립식 기계, 전기 및 배관(EMP)을 전체의 60% 이상 도입하고 구조물 작업의 70% 이상을 공장에서 제작, 조립하여 운반하였다. 특히 조립식 MEP 방식을 채택하였으며 BIM설계과정 중 부재간 간섭을 최대한 검토함으로써 가장 효율적인 결합방식을 설정하였다.⁷⁰⁾ 국내 사례인 제주 성산 호스텔은 지붕과 벽체패널을 공장에서 사전 제작하여 현장에서 조립하였고 메이플 빌리지는 목조 건축물로서 벽체의 패널라이징을 공업화 공법으로 추진하였다.



[그림 4-8] 스틸패널라이징 작업

출처: 천상현. (2017). 냉간성형강(C.F.S) 경량철골구조를 이용한 프리패브건축. 건축, 61(6), 5p

69) Blue Scope 홈페이지 <https://truecore.com.au/news/new-hall-frame-case-study-afs-vue-terrace-homes-project>, <https://www.scottsdalesteelframes.com/blog/projects/australian-framing-solutions-and-vue-terrace-homes-project> (검색일 2023.07.20.)

70) BCA 홈페이지 <https://www1.bca.gov.sg/buildsg/productivity/design-for-manufacturing-and-assembly-dfma/prefabricated-mechanical-electrical-plumbing-systems/global-switch-singapore-woodlands-data-centre>(검색일 2023.08.28.)

- 효과

VUE Terrace Homes는 최초 공사기간을 18개월로 계획하였으나 DfMA 적용을 통해 16개월에 준공되어 2개월이 단축되었다. 또한 사용되는 강철의 공급 및 설치 구성요소에 재료비용을 8% 절감하였고 기존 목재 프레임을 사용할 때보다 각 주택 설치가 일주일씩 단축되었다.⁷¹⁾ Global Switch Data Centre는 MEP 및 구조체 사전 제작조립 비율을 높고 냉각수 시스템을 단순화하여 비용 절감 및 전체 10% 이상 공사 기간을 단축하였다.⁷²⁾ 제주 성산 호스텔은 1개월 걸리는 지붕 작업을 공장에서 2일 만에 완료하였고 사전 제작하여 폐기물 처리비용을 저감하였으며 분진 방지 비용을 절감하였다. 메이플 빌리지는 사용효과로 일반 건축물 대비 에너지 6~18% 감소, 기밀도 30~70%를 향상시켰다.



[그림 4-9] 메이플 빌리지

출처: 강태웅. (2022). 공업화 주택 현황과 활용사례. 전원주택 라이프, 61p

- 발주방식

AFS: VUE Terrace Homes는 설계시공분리 발주방식으로 진행되었고 TVS Architects와 Andrew Halstead Architect가 공동으로 계약을 체결하고 설계를 담당하였으며 시공은 분리하여 Hutchinson Builders에서 시행하였다.⁷³⁾ Global Switch Data Centre 또한 설계 시공을 분리하여 시행하였으며 AWP Pte Ltd에서 설계, Gammon Pte에서 시공을 담당하였다. 제주 성산 호스텔도 설계시공 분리 발주방식으로 진행되었다. (주)현우건축사사무소가 설계하고 (주)해비치건설이 시공하였으며 (주)스틸라이트가 구조계획 및 시공을 담당하였다.⁷⁴⁾ 메이플 빌리지는 통합 발주방식으로 시행되었으며 국내기업 (주)케이즈종합건축사사무소가 설계 및 시공을 담당하였다.⁷⁵⁾

71) Blue Scope 홈페이지 <https://truecore.com.au/news/new-hall-frame-case-study-afs-vue-terrace-homes-project> (검색일 2023.08.28.)

72) BCA 홈페이지 <https://www1.bca.gov.sg/buildsg/productivity/design-for-manufacturing-and-assembly-dfma/prefabricated-mechanical-electrical-plumbing-systems/global-switch-singapore-woodlands-data-centre> (검색일 2023.08.28.)

73) Blue Scope 홈페이지 <https://truecore.com.au/news/new-hall-frame-case-study-afs-vue-terrace-homes-project> (검색일 2023.08.28.)

74) 천상현. (2017). 냉간성형강(C.F.S) 경량철골구조를 이용한 프리패브건축. 건축, 61(6), 5p

③ Level 3 - 시스템화된 모듈 유닛

DfMA 기반 건축의 Level 3은 화장실 및 주방 유닛과 같이 건물 내부에 설치할 수 있는 구조 및 설비, 건축마감을 완료한 부분적인 개별실이나 모듈러와 같이 독립적으로 사용가능한 유닛을 공장에서 제작하되 조립은 현장에서 실시하는 방식이라 할 수 있다. 본 연구에서는 싱가포르의 Ng Teng Fong General Hospital & Jurong Community Hospital, Mini Sky City 오피스텔, 국내 산청 예술인마을 프로젝트를 살펴보았다.

[표 4-5] 조립식 모듈 및 공간 체적 단계 사례 개요

구분	건물명	용도	규모	위치	DfMA기법	효과	발주방식
1	Ng Teng Fong General Hospital & Jurong Community Hospital (2015)	병원	16층 3개 동	싱가포르 (Jurong East Street)	모듈러 유닛	공사 기간 단축 비용 절감 에너지 30% 감소	설계, 시공 분리발주
2	Mini Sky City	오피스텔	연면적 179,600㎡	중국(후난성)	모듈러 유닛	공사 기간 단축 비용 절감 에너지 80% 효율 이산화탄소 배출량 감소	설계, 시공 통합발주
3	산청 예술인 마을 프로젝트	주택단지	단독주택별 50㎡, 30세대	국내 (경상남도 산청군)	사전 제작된 기둥과 보 화장실+욕조 유닛	공장 제작률 50%	설계, 시공 분리발주

출처: 연구진 작성

• DfMA 기법

Ng Teng Fong General Hospital & Jurong Community Hospital은 병원으로 지상 16층의 규모이며 3개 동으로 구성된다. 병원 8개 층의 전문클리닉, 700개의 종합병원 병상, 286개의 지역사회 병상이 있으며 병상구조에 맞게 사전 제작된 프리캐스트 모듈을 현장에서 조립하는 방식으로 진행되었다.⁷⁵⁾ Mini Sky City는 구조, 외벽, 내부 및 MEP로 구성된 2,736개 모듈, 전체 공정의 90%이상을 230,000㎡ 규모 공장에서 사전 제작하고 부분적으로 해체 운반하여 현장에서 조립하는 방식으로 시공되었으며 약 4.5개월, 운반에 1개월이 소요되었다. 산청 예술인 마을 프로젝트는 경남 산청군 내수리에 마을로 50㎡ 크기 단독주택 20호와 컨테이너 하우스 10호로 구성되어 있고 공장에서 제작한 2단계 수준의 구조(스틸하우스조의 서브 어셈블리)와 단위욕실 및 화장실 모듈이 결합된 방식을 적용했다.⁷⁷⁾

75) 강태웅. (2022). '공업화 주택 현황과 활용사례'. 전원주택 라이프, 61p

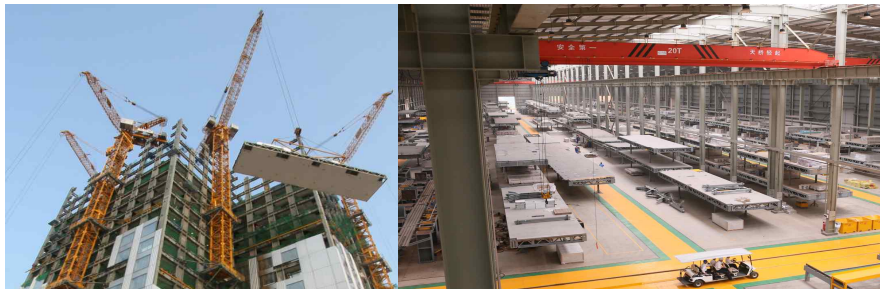
76) Futurarc 홈페이지 <https://www.futurarc.com/project/ng-teng-fong-general-hospital-and-jurong-community-hospital/> (검색일: 2023.06.21.)

77) 천상현. (2017). 냉간성형강(C.F.S) 경량철골구조를 이용한 프리패브건축. 건축, 61(6), 5p



[그림 4-10] Ng Teng Fong General Hospital & Jurong Community Hospital외관 및 단위모듈평면

출처: Futurarc 홈페이지 <https://www.futurarc.com/project/ng-teng-fong-general-hospital-and-jurong-community-hospital/>, (좌) <https://www.studio505.com.au/work/project/ng-teng-fong-general-hospital/62.html>(검색일: 2023.06.21.)



[그림 4-11] Mini Sky City의 모듈 조립과정 및 제작과정

출처: Building design+Construction 홈페이지 <https://www.bdcnetwork.com/asias-modular-miracle>(검색일: 2023.06.26.)



[그림 4-12] 산청 예술인 마을 프로젝트 (우: 지붕 및 벽체 패널과 화장실 및 욕실유닛)

출처: Steelite 홈페이지 <https://www.steelite.co.kr/single-post/%EC%82%B0%EC%B2%AD-%EC%98%88%EC%88%A0%EC%9D%B8%EB%A7%88%EC%9D%84>(검색일: 2023.08.25.)

- 효과

Ng Teng Fong General Hospital & Jurong Community Hospital은 DfMA 적용 및 고효율 장비를 활용하여 전체 70%를 자연 환기가 가능하고 일반 병원보다 38%의 에너지를 절감하였다.⁷⁸⁾ 이러한 성과를 인정받아 Green Mark Platinum Award 수상하였다.⁷⁹⁾ Mini

78) AIA 홈페이지 <https://www.aia.org/showcases/76821-ng-teng-fong-general-hospital--jurong-commun>

Sky City는 사전 제작한 모듈 조립으로 공사비용 20%~40%를 절감하였다. 더불어 콘크리트 사용 비중 절감, HVAC 시스템 공기 열 교환방식적용으로 중국 유사 건축물보다 80%의 에너지 효율을 높이고⁸⁰⁾ 이산화탄소 배출량도 12,000톤이 감소되었다.⁸¹⁾ 산청 예술인 마을 프로젝트는 공장에서 제작한 완성된 화장실 및 목조 모듈을 포함하여 전체 사전 제작제품 비율을 50%까지 확대하였으며 이를 통해 균질한 건축성능을 확보할 수 있었다. 또한 패넬라이징기법을 활용하여 운송 및 패킹 비용을 최소화하였다.⁸²⁾

- 발주방식

Ng Teng Fong General Hospital & Jurong Community Hospital은 정부부처인 복지부가 설계, 시공을 분리하여 발주하였으며 CPG Consultants Pte. Ltd가 설계를 담당하고 GS건설이 시공하였다.⁸³⁾ Mini Sky City는 설계시공이 통합으로 발주되었고 계약사인 BSB(Broad Sustainable building)가 설계 및 시공을 담당하며 조립부재의 90% 이상을 자사 기술과 설비를 활용하여 제작하였다.⁸⁴⁾ 산청예술인 마을 프로젝트는 설계, 시공 분리발주되었으며 스틸하우스 시공에 특화된 (주)스틸라이트가 단위모듈 및 부재의 구조계획 및 시공분야를 담당하였다.⁸⁵⁾

④ Level 4 - 모듈러

레벨 4는 제작된 제품이 독립적인 건축물 또는 실로 기능할 수 있는 3차원 모듈유닛이라 할 수 있고 일반적인 모듈러 건축이 이에 해당한다. 이 단계에서는 하나의 모듈 외 복수의 모듈을 조합하여 실을 구성할 수 있고, 구조체 설계에 따라 모듈러 구성방식도 달라진다. 단독주택, 공동주택, 호텔, 학교, 병원 등 단위 유닛을 반복적으로 구성하는 건축물에 쉽게 적용할 수 있다. 본 연구에서는 모듈러건축의 확장력이 큰 싱가포르 사례 5개를 분석하였다.

(검색일: 2023.09.06.)

79) Futurarc 홈페이지 <https://www.futurarc.com/project/ng-teng-fong-general-hospital-and-jurong-community-hospital/> (검색일 2023.08.28.)/ BCA Green Mark Champion Award는 BCA Awards 2008에서 시작.기업의 사회적 책임에 대한 강한 의지와 환경 지속 가능성에 대한 탁월한 성과를 가진 개발자들을 인정하는 상

80) Building design+Construction 홈페이지 <https://www.bdcnetwork.com/asias-modular-miracle> (검색일 2023.08.28.)

81) WEB Urbanist 홈페이지 <https://weburbanist.com/2015/03/28/record-breaking-57-story-chinese-skyscraper-built-in-19-days/> (검색일 2023.08.28.)

82) 천상현. (2023). OSC 기반 한국형 CFS ASSEMBLY 프리패브건축. 세미나발제자료(2023.03.22.)

83) Futurarc 홈페이지 <https://www.futurarc.com/project/ng-teng-fong-general-hospital-and-jurong-community-hospital/> (검색일 2023.08.28.)

84) Building design+Construction 홈페이지 <https://www.bdcnetwork.com/asias-modular-miracle> (검색일: 2023.06.26.)

85) 천상현. (2017). 냉간성형강(C.F.S) 경량철골구조를 이용한 프리패브건축. 건축, 61(6), 5p

[표 4-6] 유닛 모듈 단계 사례 개요

구분	건물명	용도	규모	위치	DfMA기법	효과	발주방식
1	South Avenue Residence	숙박시설 (콘도)	바닥면적 : 84,551㎡ 56층, 1,074세대	싱가포르 (캄퐁 바루로드)	조립식 모듈과 모듈러 유닛	인력 40% 단축 공사 기간 40% 단축	설계 및 시공 통합발주
2	Nanyang Technological University Student Hostel	기숙사	6개 동, 각 13층	싱가포르 (난양기술대학교)	PPVC 모듈 유닛	인력 25% 감소 현장 노동력 40% 감소 공사 기간 15% 단축 에너지 40% 저감	설계 및 시공 통합발주
3	Crowne Plaza Hotel Extension	숙박시설	10층, 243세대	싱가포르 (창이 국제공항)	PPVC 모듈 유닛	현장 노동력 75% 감소 공사 기간 50% 단축	설계 및 시공 통합발주

출처: 연구진 작성

• DfMA 기법

Avenue South Residence는 부지면적 245,975㎡에 지상 56층, 바닥면적 84,551㎡, 규모로 지어진 건축물로 PC 부재와 PPVC 시스템을 적용하였다. Nanyang Technological University Student Hostel은 싱가포르 난양기술대학교 기숙사로 6개 동 13개 층으로 구성된 RC구조 건축물이다. 싱가포르 최초로 PPVC 시스템을 사용한 공공시설이며,⁸⁶⁾ 중국에 위치한 공장에서 사전 제작된 PPVC 모듈을 운송하여 레고를 쌓듯(Lego-Style)현장에서 조립하였다. BIM을 활용하여 모든 과정의 간섭을 사전 검토하였으며 준공 후 관리 플랫폼으로 활용하고 있다.⁸⁷⁾



[그림 4-13] Avenue South Residence 적용 모듈

출처: Futurarc 홈페이지 <https://www.futurarc.com/project/avenue-south-residence-worlds-tallest-ppvc-residential-building/>(검색일: 2023.06.21.)

86) The Straits Times 홈페이지 <https://www.straitstimes.com/singapore/education/ntus-new-230m-residential-sports-halls-will-be-eco-friendly>(검색일: 2023.08.28.)

87) https://www.businesstimes.com.sg/sites/default/files/attachment/2015/11/05/BT20151104_SMENOVDEC_05.pdf

Construction Authority)의 Green Mark Platinum⁹³⁾등급을 획득했다.⁹⁴⁾

Crowne Plaza Hotel Extension의 PPVC 모듈은 설계 및 모듈 설치 과정을 미리 검사하고 승인하는 프로토타이핑(prototyping) 단계를 거치도록 하여 발생 가능한 문제를 미리 예측하고 대응하였다. DfMA 도입으로 모듈 제작기간 155일, 현장공사기간 26일 만에 완공되었고 하루 필요 인력이 75명에서 45명으로 감소하였다. PPVC 공법 이후 한 층에 평균 3~4일(기존 방식 14~21일) 소요되어 현장 노동력이 약 75% 가까이 감소하였으며 공사 기간은 50% 단축하였다.⁹⁵⁾

- 발주방식

Level4의 3개 사례는 모두 설계·시공 통합발주방식으로 추진되었다. Avenue South Residence는 ADDP architects에서 설계 및 시공을 담당하였다.⁹⁶⁾ Nanyang Technological University Student Hostel은 싱가포르 난양기술대학교에서 발주하였으며 Zheng Keng 종합회사가 기존 철근콘크리트 구조에 PPVC용 모듈러식 시스템으로 설계 및 시공계약을 진행하였다. Crowne Plaza Hotel Extension은 OUE 공장에서 발주하여 WOHA, RSP Architects Planners & Engineers Pte Ltd (C&S) and Surbana Jurong (M&E)에서 공동으로 설계와 시공을 담당하였다.

3) DfMA 기반 건축물 사례의 시사점

DfMA 기반 건축물 사례 분석 결과를 앞서 살펴본 국내 DfMA 기반 건축실태에 견주어 요약하면 다음과 같다.

□ 활용 효과

DfMA의 활용효과로 먼저 기존 건축방식 대비 공사기간 단축, 비용 절감, 건축 성능 향상을 들 수 있다. Level 1의 경우 인건비 10%, 자재비 30~40%가 절감되었고 특히 목재를 사용한 사례에서 탄소배출량이 콘크리트 건물 대비 75%나 감소한 것으로 나타나 재료와 건축효과의 상관관계를 이해할 수 있다. Level 2의 사례 또한 전체 비용 10% 이상, 재료비 8% 이상이 절감되었고 공사 기간은 12%가 단축되었다. 성능면에서는 기밀도가 30~70%까지 높아지면서

92) zheng keng 홈페이지 <https://zhengkeng.com.sg/student-hostel-at-nanyang-technological-university-of-singapore-ppvc/>(검색일: 2023.08.28.)

93) 그린마크제도는 BCA에서 2005년부터 시작한 제도로 부동산 시장의 차별화, 건물 임대 및 판매 가치, 에너지 사용량 절감, 스마트한 건물, 친환경적 요소 등을 종합하여 등급이 주어지는 평가제도

94) The Straits Times 홈페이지 <https://www.straitstimes.com/singapore/education/ntus-new-230m-residential-sports-halls-will-be-eco-friendly>(검색일: 2023.08.28.)

95) Archello 홈페이지 <https://archello.com/project/crowne-plaza-extension>(검색일: 2023.08.28.)

96) Avenue South Residence 홈페이지 <https://avenuesouthresidencecondo.sg/>(검색일: 2023.07.20.)

에너지 소비량도 최대 18%까지 감소하였다. Level 3에서는 공사비용이 최대 40%⁹⁷⁾까지 절감되었으며 에너지절감효과도 38%~80까지 확대된다. Level4는 대규모 시설장비에 기반한 표준화된 모듈러의 대량 생산으로 인건비 및 공사기간 40%까지 절감, 단축되었고 그만큼의 노동 생산성도 향상되었다. 또한 현장에서 발생하는 각종 소음과 오염도 최소화한 것으로 파악된다.

공사 및 건축물 성능 향상과 더불어 합리적인 디자인성과 또한 DfMA 활용 효과로 이해할 수 있다. DfMA의 경우 공장설비나 도로여건 등에 따라 제품제조가 제한적이고 따라서 설계자가 의도하는 공간구조 및 형태, 재료 선정 등에 일부 제약이 따른다. 그러나 모든 건축설계가 제각기 주어진 조건을 해결하는 과정이며 DfMA 또한 특징적인 설계 방법론 중 하나라는 점에서, 다양한 건설현장의 문제를 해소하고 우수한 성능의 건축물을 조성할 수 있는 합리적인 설계라는 점 또한 인정해야 한다. 본 연구에서 살펴본 사례들 다수가 정부 또는 관련 기관이 운영하는 상을 수상한바, 이는 DfMA 기반 건축이 주거문제, 환경문제, 산업문제 등 현재 우리 사회가 당면한 여러 이슈와 국가의 정책방향에 능동적으로 대응하고 효용가치가 검증되었기 때문이다. 인간과 자연이 공존하는 건축공간 조성을 위한 디자인으로서 DFMA 방법론과 효과는 사회적 가치를 실현하는 수단으로 의미를 확장할 수 있다.

□ 애로점 및 주의사항

한편, DfMA의 효과를 기대하며 건축에 적용하기 위해서는 몇 가지 애로사항과 주의할 점이 있다. 먼저 DfMA의 조립수준이 높아질수록 시공 생산성 및 성능효과는 높아지지만 공장에서 제작하는 물량증가에 따른 장비, 시설물의 종류, 규모도 커져야 하고 인력도 확보되어야 하므로 대규모 공장부지 및 시설물 설치, 고용에 대한 부담이 증가한다. 시장의 수요에 비례하고 안정적인 물량공급이 이루어지지 않으면 오히려 사업을 저해하는 리스크로 작용할 수 있다는 것이다. 본 연구에서 살펴본 싱가포르, 홍콩 사례의 경우 인접한 말레이시아 및 중국의 대단위 제조공장으로부터 안정적인 물량을 공급받고 있어 DfMA 기반 건축 사업 추진이 용이하고 결과적으로 관련 시장의 성장확대도 유리하다.

DfMA 기반 건축에서 주의해야 할 또 다른 사안은 도로여건이다. 건축공사 부지와 제조공장을 연결하는 안정적인 도로가 확보되지 않으면 제품운송 자체가 불가능하거나 운송 비용이 상승할 수 있다. 특히 Level3와 4 수준의 조립도가 높은 제품은 운반 중 충격으로 파손이나 변형 가능성이 있으므로 도로는 포장된, 물리적으로 양호한 상태가 전제되어야 한다. 앞서 살펴본 바와 같이 우리나라의 낮은 도로율을 감안할 때 운반과정은 DfMA 활성화에 중요한 문제로 부각될 수 있다. 이 경우 DfMA 기반 건축물의 용도나 입지가 제한적일 수 밖에 없고 제조 및 조립의 수준 또한 상대적으로 운송이 용이한 Level 1~2에 해당하는 방식을 선택해야 한다.

97) 전체 공사비보다 모듈이 적용된 공정에 한정되는 것으로 이해됨

공장 및 도로 여건과 더불어 가장 중요하게 고려해야 할 사항은 설계-시공 협업체계, BIM 플랫폼 구축에 관한 사항이다. DfMA는 디자인 단계에 제품 제작 및 조립을 함께 검토해야 하므로 초기 설계단계에 설계자와 시공자가 협력할 수 있는 사업구조가 갖추어져야 한다. 본 연구에서 살펴본 사례 중 대다수가 설계, 시공 통합발주 방식으로 추진된 이유도 관계자간 신속하고 유연한 협업을 유도하기 위함이다. 설계와 시공이 협업할 수 있는 시점은 기본 설계 단계가 가장 이상적이나 기본설계이후 중간설계 단계부터도 가능하다. 다만 반드시 제조업체가 참여할 수 있어야 한다. 그리고 이러한 협업은 상호 정보를 공유하고 소통할 수 있는 디지털 플랫폼을 필요로 한다. 이때 데이터 기반의 BIM이 일반적으로 사용된다. 그러나 현재 국내 건축업계의 BIM 이용실태는 최저수준(전체 사업체 중 5%미만)으로 DfMA 기반 건축 확산 및 고도화의 최대 걸림돌이 될 수 있다.

2. 국외 DfMA 기반 건축 제도 및 정책 사례 분석

1) 분석개요

건설산업의 탈현장화, 제조화를 위한 핵심기술은 건설정보모델링(이하 'BIM')이며 그 중에서도 제조조립을 위한 설계(이하 'DfMA')는 오프사이트 제작 및 조립의 오류를 최소화하여 OSC의 장점을 극대화할 수 있다. 각국에서는 건설산업의 스마트산업화, 디지털화 등을 목표로 BIM을 적극 도입하여 활성화하는 정책을 추진하고 있으며 그 관리 대상을 계획단계로까지 확대하여 DfMA 도입하는 사례도 증가하고 있다. 2절에서는 건설산업 혁신을 위해 DfMA를 적극 도입하고 있는 영국, 싱가포르, 홍콩, 미국 사례와 함께 건설산업 디지털화, 모듈러 공법 도입 및 인증 제도를 마련하고 있는 일본 사례를 검토하여 국내 DfMA 기반 건축 활성화 방안 마련에 참조하고자 한다.

2) 영국

□ 영국의 OSC 산업 개요

1940년대 전후 주택 복구사업의 일환으로 OSC를 활용하기 시작하여 1960~1970년대 강재 또는 목재로 제작된 경량 박스를 묶어 완성한 건축물이 등장하였고 1980~1990년대에는 강재, 목재, 콘크리트 프리패브 주택이 발전하기 시작하였다. 본격적인 OSC는 1990년대 말 건설산업의 질과 효율성을 개선하기 위한 정부 보고서 'Rethinking Construction'으로부터

시작되었고, M4I(Movement for Innovation)와 주택 포럼(Housing Forum)에서 주거혁신을 주도하기 위한 전략으로 발전하여 2016년 기준 시장 규모 연간 약 4.2조 원에 이르고 있다.⁹⁸⁾

□ 건설산업 혁신을 위한 영국의 주요 정책

영국 정부는 2011년 수립한 건설전략(Government Construction Strategy : 2016-2020)에서 주택난 해결을 위한 실행방안으로 ‘모듈러’를 채택하였으며, 2016년 4월에는 정부 발주 프로젝트를 대상으로 BIM 적용을 의무화하였다. 2013년에는 영국 건설산업의 미래를 위한 정부와 산업계의 공동전략으로서 ‘Construction 2025’를 발표, ‘스마트 기술’, ‘친환경 건축’, ‘해외 진출’을 주요 전략으로 제시하였다. 이 중 ‘스마트 기술’의 실행전략(Action Plan)으로 ‘스마트 건설과 디지털 디자인(Smart construction and digital design)’을 설정하고 BIM 활성화를 위한 인력과 기술 투자를 계획하였다.

2018년 영국 정부에서 발표한 ‘건설산업전략(Construction Industry Strategy)’은 생산성과 성능향상을 위해 디지털 기술, 오프사이트 제조기술 등에 중점을 두고 산업 전략 기반을 제시하였다. 디지털 및 제조기반 접근 방식의 개발을 혁신하고 가속화하기 위한 투자, 채용 및 직업훈련 개혁, 정부 목표를 뒷받침하는 국가 인프라 및 건설 보급, 보다 나은 조달 및 지속가능한 사업모델 개발, 영국 전역에 걸쳐 공급망과 기술기반을 강화하고 해외로 확장하기 위한 노력이 그 내용이다.

2020년 발표한 ‘더 나은 2040년을 위한 영국의 전략(2020.11.)’은 COVID-19, 경제 침체, 기후 위기 등의 위기 속에서 다양한 미래예측 시나리오 분석을 통해 건설산업 전략을 제시하고 세부 계획으로 모듈식 건설공법 및 BIM 활성화를 채택하였다.⁹⁹⁾ 친환경 건설공법으로서 탈탄소화를 위한 오프사이트·모듈식 건설 공법 및 플랫폼에 대한 투자와 함께 BIM 적용을 통해 다양한 자산 정보를 생성하고 활용함으로써 건설환경을 개선하고 안전성 확보하는 등 디지털 정보 관리 개선을 계획하고 있다.

2021년에는 TIP(Transforming Infrastructure Performance, 2021. 9. 13.)에서 ‘2030 로드맵’을 발표하였는데 TIP 프로그램의 핵심은 인프라 계획, 설계, 제조, 구축, 운영하는 방식에 있어 생산성과 효율성을 단계적으로 변화시키는 데 있다. 또한 영국 정부 각 부처의 건설사업은 새로운 건설방식(MMC, Modern Methods of Construction)을 채택하였다. 교육부는 2020년 1월부터 차세대 표준설계 및 조달 방식을 도입하였고, 법무부는 신축 교도소의 70%를 OSC 방식으로 건립하였다. 보건사회복지부는 병원 기획·설계·구현 표준 가이드를 마련하였고 국방부는 방어 인프라에 MMC를 채택하고 새로운 기술 적용을 유도하기 위해 빌딩성능표준을 운영하고 있다.

98) 정서영. (2021). OSC 프로젝트의 최적 설계안 선정을 위한 DfMA 평가모델. 광운대학교 박사학위논문

99) Four Futures, One Choice, Options for the Digital Built Britain of 2040., CDBB, (2020.11.)

□ 건설산업의 디지털 혁신을 위한 다양한 지원정책¹⁰⁰⁾

2008년 금융 위기를 전환점으로 공공지출이 대폭 삭감됨에 따라 디지털 혁신을 가속화함으로써 사업예산을 절감하고 생산성을 향상시켜 위기를 극복하고자 하였다. 영국 정부는 BIM 활성화를 추진하기 위해 2016년까지 모든 공공 프로젝트에 대해 BIM 레벨2를 의무 시행하였고 이러한 정부 주도 프로그램이 성공적인 결과를 보임에 따라 글로벌 BIM의 선두주자로 발돋움하게 되었다¹⁰¹⁾

◆ 글로벌 BIM의 발전과정

‘글로벌 BIM’은 국가가 주도적으로 디지털화된 자산에 대한 공통 표준 세트를 만들고 구현한다는 아이디어이며, 국가 간 공유 학습, 협업 및 멘토링을 장려함. 이러한 활동은 건물 및 인프라를 설계, 계획, 시공 및 운영하기 위한 체계적인 디지털 접근방식을 만드는 것을 목표로 하며, 다양한 국가의 동일한 접근방식을 통해 통일된 세계 건설기준을 수립하고자 하는 것임

1. 2011 : 글로벌 BIM의 초기

- 영국디지털건설센터(Center for Digital Built Britain, CDBB)는 기존의 건설 산업을 혁신하기 위한 정부와 공공 부문의 역할은 무엇인가에 대한 질문을 던짐으로써 글로벌 BIM이 시작됨
- 한 국가에서 세계 최대의 산업을 정비하는 것에 대한 위험을 인지하여 다수의 국가가 참여하는 글로벌 BIM을 통한 협업의 필요성이 야기됨.

※ CDBB 시범 프로그램으로 다른 국가와의 파트너십을 구축하여 모범사례를 개발하였으며, 이로 인해 건설 산업의 디지털 전환에는 전략적으로 통일된 접근 방식이 필요하고 이러한 혁신을 추진하기 위해서는 정부가 주도적인 역할을 해야 함을 다시 한번 확인함.

2. 2015: 다수 국가의 글로벌 BIM 참여

- 영국이 추진한 모범사례를 벤치마킹하여 다수의 국가에서 글로벌 BIM에 참여하기 시작함
- 칠레, 멕시코, 콜롬비아, 페루, 브라질, 베트남, 싱가포르, 홍콩 등이 영국과 파트너십을 맺었으며, 현재까지 진행되고 있음
- 또한, 2015년에는 EU BIM 태스크 그룹이 구성되어 글로벌 BIM을 통한 디지털 건설로의 도약 발판이 마련됨

3. 2021: 글로벌 BIM 서밋 추진

- 2021년 3월 글로벌 BIM 네트워크는 공식적으로 최초의 글로벌 BIM 서밋을 개최함
- 약 100여개의 국가에서 2,000명 이상의 공공 및 민간 대표로 구성된 네트워크는 전 세계 BIM 모범 사례를 발전시키기 위한 협업 체계를 갖추

출처: 한국건설기술연구원, ‘Smart Construction Report’ VOL.8, 2021.6. p.2

‘영국 디지털 건설센터(Centre for Digital Built Britain, 이하 ‘CDBB’)는 영국의 비즈니스, 에너지 및 산업 전략 부서인 BEIS와 케임브리지대학교 간의 파트너십으로, 영국 BIM과 디지털 영국 건설 프로그램의 핵심으로써 2017년 영국 중앙정부(HMG)가 설립했다. BIM은 정보관리 프로세스를 사용하여 설계 및 시공 프로세스의 효율성을 확보하여 영국 건설산업을 변화시키고 있으며 향후 10년 동안 이 기술은 디지털 트윈 및 사물인터넷과 결합하여 인프라를 보다 효과적으로 계획하고 더 낮은 비용으로 구축하며 더 오랫동안 더 나은 성능을 유지할 것이라고 영국은 전망하고 있다.¹⁰²⁾

100) <http://www.cdcb.cam.ac.uk/>, 한국건설기술연구원, ‘Smart Construction Report’ VOL.4, 2020.10., p.2-3

101) 한국건설기술연구원, ‘Smart Construction Report’ VOL.8, 2021.6., p.4

한편 CDBB는 산업계, 학계 및 정책 입안자로 구성되며 설계·시공·유지관리, 사회 인프라의 통합자산관리 등에 디지털 기술 적용을 지원하는 등 디지털 혁신을 통해 빠르게 변화하는 건설 환경에 대응하는 해법을 제시한다. 스마트 건설을 위한 디지털을 환경을 제공하고, 미래를 위한 사회 및 경제 인프라를 계획·구축·운영·유지하기 위해 영국 건설산업의 접근 방식을 혁신하고자 하며 주요 연구분야는 스마트건설, 고성능 인프라 자산, 스마트시티 등의 디지털 환경과 일반 국민들에 의해 생성되는 풍부한 데이터를 활용하여 미래에 적합한 영국의 발전 방향을 제시하고 새로운 기술, 데이터 및 분석 기법을 활용하여 건설 환경의 근본적인 개선, 산업의 경쟁력과 생산성 향상, 국민 삶의 질을 향상시킬 수 있는 정책 개발과 검증을 시행한다.¹⁰³⁾

주요 사업으로 디지털 기반 인프라 개발을 위해 '건설 혁신 허브(Construction Innovation Hub, CIH)' 및 '국가 디지털 트윈 프로그램(National Digital Twin Programme, NDTp)' 등과 관련된 다양한 프로그램을 추진하고 있다. 건설산업 발전을 위해 다양한 사례 연구 및 지침 작성, 건설 혁신 허브 및 국가 디지털 트윈 프로그램 참여, 국제 홍보 및 디지털 교육 도구 개발 및 자문, 최신 연구개발 자금 지원 등의 사업을 수행하고 있으며, 특히 BIM을 지원하기 위한 표준 및 기본 틀 구축, 관련 사례 연구 및 지침 작성, 기술과 훈련에 대한 개발과 지원이 활발히 이루어지고 있다.

◆ 건설 혁신 허브 (Construction Innovation Hub, CIH)

- 2018년 11월 영국 정부가 UKRI(United Kingdom Research and Innovation)와 건설산업을 혁신하기 위해 추진한 프로그램으로 4년간 7,200만 파운드(약 10조 5,800억)를 지원
- 건설 혁신 허브는 제조기술센터(Manufacturing Technology Centre, MTC), 영국건설연구소(Building Research Establishment), 영국 디지털 건설센터(Centre for Digital Built Britain) 등 세계적 수준의 전문가로 구성
- 디지털, 가치, 제조, 보증 등의 4가지 핵심 주제를 중심으로 건물 및 인프라 설계·제조·통합관리 분야의 혁신을 추구함

출처: 한국건설기술연구원, 'Smart Construction Report' VOL.4, 2020.10., p.3

BOPAS(Buildoffsite Proprety Assurance Schme)는 영국의 공업화주택 사용 60년 기간 동안 해당 건설 제품 및 프로세스를 보증하는 인증제도이다. BOPAS는 전통 건설방식이 아닌 모듈러와 같은 새로운 건설부품이나 프로세스를 도입하는 경우 기존 방식에 익숙한 건설 자금 조달 기관이나 보험사들의 거부감을 해소하여 혁신적인 방식의 건설 제품이나 방식에 대해 자금 조달을 용이하게 하며 해당 제품 및 방식에 대한 성능을 보증하고 건설 제품 제조업체나 건설업체의 건설 프로세스를 기존 방식처럼 진행할 수 있도록 지원한다. 2013년 BOPAS 인증제도 시행 이래 등록 회원수는 지속적으로 증가하고 있으며 인증에 참여한 업체에 따르면 해당

102) 현창호, 영국 Centre for Digital Built Britain(CDBB), 제어·로봇·시스템학회지 제26권 제4호 (2020.12.), p.108

103) 문현석 외(2021). BIM 클러스터 운영 전략 로드맵 수립 및 연구기획. 한국건설기술연구원. p.72를 참조하여 재정리

업체의 관리시스템에 대한 인증과 검증 과정을 통해 지속적 개선이 이루어짐으로써 긍정적인 영향을 주고, 인증받은 생산품이나 시스템을 건설 시장에 적용할 수 있는 기회를 확대하고 있다.¹⁰⁴⁾

◆ 국가 디지털트윈 프로그램 (National Digital Twin Programme, NDTp)

- 2018년 7월 영국 재무부에 의해 시작되었으며 국가인프라위원회의 ‘공익을 위한 데이터 보고서’의 주요 권장사항을 확산시키기 위해 추진
- 인프라 및 산업의 디지털화를 위한 핵심 단계로 정부의 지원을 받아 건설 전문가의 집단지식과 타 분야 전문가 등의 다양한 목소리를 통합하여 디지털트윈을 수용하고 발전시킬 수 있는 체계 구축을 목표로 함
- 국가 디지털트윈을 지원하기 위해 개발자, 프로세스, 정보, 기술을 정의할 수 있는 작업환경에 대한 정보를 관리하고, 안전하고 탄력적인 데이터 상호 운용성을 확보하기 위해 정보 관리 체계(Information Management Framework, IMF)를 구축

[표 4-7] 국가 디지털트윈 프로그램의 6개 핵심 분야

구분	분야별 주요 내용
DT Hub stream	디지털트윈을 테스트하고 개발하는 사람들에게 교육 및 실습 커뮤니티 제공
Commons stream	효과적인 정보관리를 위해 제품, 지침, 사양 및 표준 개발을 통해 국가 차원의 지원 업무 수행
Change Stream	전체 디지털 생태계 내에서 조기수용자와 후발 주자 간의 통일성 있는 데이터 체계 도입 지원
Governance stream	개발, 적용, 지속적인 감독 등의 3단계를 통해 데이터 체계를 관리하기 위한 구조 및 프로세스 정립
Enablers stream	디지털트윈을 적용하는데 필요한 개선사항 도출이 가능한 사전 프로그램 활용 지원
Approach Stream	데이터 체계 및 효율적인 정보관리 체계의 확산을 위해 전체 NDT 프로그램의 활동을 조율·조정

출처: 한국건설기술연구원, 'Smart Construction Report' VOL.4, 2020.10., p.3

□ OSC 및 BIM 관련 기준

건설환경 분야에 대한 현행 영국 표준은 일반적인 건설방식을 기준으로 마련되었기 때문에 OSC에 적용하기에는 제한적이고 또한 OSC 기술 발전을 따라가지 못하고 있어 개선 필요성에 대한 인식이 확산되고 있으며 다른 경로를 통해 OSC 관련 표준들이 제정되고 있다.¹⁰⁵⁾ 영국표준협회(BSI : British Standards Institute)의 OSC 관련 기준은 국제표준(BS ISO), 유럽표준(BS EN), 국가표준(BS/PAS), 그리고 전문 가이드 및 지침 등으로 이루어지며, 구성 재료에 따라서는 콘크리트, 목재, 스틸 구조에 대한 기준으로 분류된다. BIM 관련 국제표준으로는 영국왕립표준협회(BSI)가 제정한 'ISO 19650'이 있으며, 건축 및 토목 공사에 대한 BIM 기반 정보관리 기준으로 2018년 8월 국제표준으로 정식 발행되었다.¹⁰⁶⁾ ISO 19650은 BIM 기술 활용이 크게 증가하는 상황에서 BIM 정보관리 운영체제에 대한 글로벌 기준을 규정한 것으로,

104) 배규웅, 박금성, 이상섭, 광명근, 부윤섭, 민기요. (2019). 모듈러 건축 성능인정 제도 도입(안)에 관한 연구. 한국건설기술연구원, p.28

105) BSI, The role of Standards in offsite construction, 2019, p.8

106) 김민수. (2022). BIM 전면 의무화 3년 앞으로... 건설사 'ISO 인증' 바람. 대한경제신문. 9월 26일 기사. [https://www.dnews.co.kr/uhtml/view.jsp?idxno=202209230849477760049\(검색일: 23.07.13\)](https://www.dnews.co.kr/uhtml/view.jsp?idxno=202209230849477760049(검색일: 23.07.13))

BIM 분야 정보 요구사항, 프로젝트 사례 등 총 26개 분야에 대한 엄격한 기준을 정하고 있다. 싱가포르, 홍콩, 사우디 등은 ISO 19650을 기준으로 BIM 국가 지침을 개정했고 다수의 국가가 공공사업 발주를 중심으로 BIM 인증 보유 여부를 확인하거나 BIM 국제표준 준수를 요구하는 경우가 증가하고 있다. 가장 최근에 추가된 기준으로는 기본 혹은 복합 모듈러 유닛의 국제 수평 정합을 규정하고 수직 정합을 제안하는 ISO 21723:2019가 있다.¹⁰⁷⁾

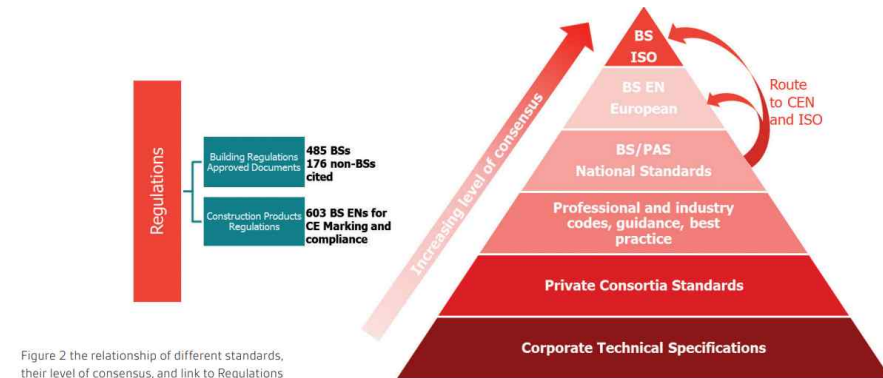


Figure 2 the relationship of different standards, their level of consensus, and link to Regulations

[그림 4-17] 다양한 표준의 관계, 합의 수준 및 규정과의 연계

출처: BSI, The role of Standards in offsite construction, 2019, p.7

[표 4-8] Standard in offsite construction : General

구분	내용
ISO 1006:1983	Building construction. Modular coordination. Basic module
ISO 1040:1983	Building construction. Modular coordination. Multimodules for horizontal coordinating dimensions
ISO 6513:1982	Building construction — Modular coordination — Series of preferred multimodular sizes for horizontal dimensions
ISO 6512:1982	Building construction — Modular coordination — Storey heights and room heights
ISO 6514:1982	Building construction — Modular coordination — Sub-modular increments
ISO 2445:1972	Joints in building — Fundamental principles for design
BS 5606:1990	Guide to Accuracy in Building
BS 6954-1:1988	Tolerances for building. Recommendations for basic principles for evaluation and specification
BS 6750: 1986	Specification for modular coordination in building
BS 7000-4:2013	Design management systems. Guide to managing design in construction
RIBA 2013	Plan of Work DfMA Overlay
BOPAS	Buildoffsite Property Assurance Scheme
BPS 7014	BRE standard for Modular Systems for Dwellings
Buildoffsite	Glossary of Terms 2013

출처: BSI, The role of Standards in offsite construction, p.14

107) 이진미, OSC 활성화를 위한 법제도 및 정책 사례, 대한건축학회논문집 Vol.38 No.3 (2022.3.) pp.3-12

BRE(Building Research Establishment)는 OSC 산업시스템의 안전(Safety)과 보증(Assurance), 상호운용성(Compatibility)을 개선하기 위해 많은 노력을 기울여 왔고, 통합적인 법 개정과 표준을 마련 노력하고 있으며, 2021년 1월 OSC공법 중 하나인 모듈러 건축 시스템에 대한 성능 및 검증 요구사항을 규정한 'BPS 7014'를 정식으로 공고하였다.¹⁰⁸⁾

영국건축가협회(Royal Institute of British Architects, RIBA)는 건설산업에 DfMA 도입 필요성에 대한 인식으로 건설생산단계별 DfMA 적용 전략을 마련하였다. 2013년 'RIBA Plan of Work 2013 Design for Manufacture and Assembly'를 발간하고 건설산업에 DfMA를 적용할 경우 20~60%의 공기단축, 20~40%의 공사비 절감, 70% 이상의 현장 노동력 감소, 품질향상, 안전성 확보, 건설 폐기물 감소 효과가 있음을 제시하며 DfMA적용의 필요성을 시사하였다.¹⁰⁹⁾ 이후 2016년에 'DfMA Overlay to the RIBA Plan of Work' 초판을, 2021년에는 개정안을 발행함으로써 건설 생산단계별 DfMA 적용 전략을 제시하였으며, 그 주요 내용은 성공적인 프로젝트 관리를 위해 설계단계에서 설계업체, 제조 및 공급업체, 시공업체 간의 초기 협업을 통해 제조 및 시공과정에서의 프로젝트 리스크를 줄이고, 성공적인 DfMA 프로세스를 위해 설계 시 다음과 같은 사항을 고려하도록 제시하였다.

- 설계과정에서 OSC 구성요소 간의 연결성 고려
- 적절한 허용오차를 제시하여 제조 및 조립의 용이성 확보
- OSC 구성요소를 표준화하여 반복적인 사용을 고려한 설계로 제조 및 조립에 소요되는 시간과 비용을 최소화
- OSC 구성요소의 기능 및 최적 적합 방법을 고려하여 모듈의 배치를 최적화
- OSC 구성요소의 조립 용이성을 고려한 설계로 현장 노동력 및 현장 작업시간 최소화
- 유지보수 및 해체 과정에 발생하는 문제를 설계단계에서 고려

[표 4-9] 건설생산프로세스별 DfMA전략(RIBA)

건설생산 프로세스	단계별 DfMA 전략
0. Strategic Definition	1~7까지 단계에서의 DfMA의 적용가능성을 검토
1. Preparation and Briefing	프로젝트의 목표에 부합하는 DfMA 적용 범위 고려
2. Concept Design	생산성, 안전, 품질, 유지관리 측면에서 상위 수준의 DfMA 적용 전략 고려
3. Spatial Coordination	전 단계에서 수립한 DfMA 전략을 공급업체, 시공사 및 하도급업체와의 협업을 통해 모듈의 설치 순서, 제조 기술 및 허용오차 등을 고려하여 DfMA의 적용 전략을 수립
4. Technical Design	앞에서 수립한 DfMA 적용전략을 보다 상세화하여 모듈의 제조, 양중, 운송 전략을 수립하고 제조 및 조립단계에서의 위험 요소를 미리 식별하여 건물의 접합 및 인터페이스에 관한 DfMA 전략을 수립
5. Manufacturing and Construction 6. Handover 7. Use	시공 및 사용 과정에서의 DfMA 성과를 분석하고 모니터링하여 향후 피드백 정보로 활용할 수 있는 계획을 수립

출처: 정서영, 'OSC 프로젝트의 최적 설계안 선정을 위한 DfMA 평가모델', 광운대학교 박사학위논문, 2021, P.32

108) 이진미, OSC 활성화를 위한 법제도 및 정책 사례, 대한건축학회논문집 Vol.38 No.3 (2022.3.) pp.3-12

109) 이진미, OSC 활성화를 위한 법제도 및 정책 사례, 대한건축학회논문집 Vol.38 No.3 (2022.3.) pp.3-12

◆ BPS 7014

- BPS7014는 영국의 건축 전문 연구기관인 BRE의 제품기준(BRE Product Standard)으로 OSC 공법 중 하나인 모듈러 건축 시스템에 대한 성능 및 검증 요구사항을 규정한 것으로 2018년부터 초안을 기획하였고 2021년 1월에 정식 발표함
- 일반 대중(주택 수요자)은 물론 제품 제조업체, 개발자, 기획자, 은행권(모기지 대출 기관), 보험사 및 관계자를 포함하는 포괄적인 이해관계자를 위한 지침을 제공하고 있으며 총 5개의 섹션으로 나누어짐
- 세부 구성과 주요내용
 - (1장) 기존의 범위를 규정하며 적용되는 시스템으로는 바닥, 벽, 지붕, 유닛이 포함되고 내부 서비스나 마감, 외벽은 포함되지 않음. 단, 내부 서비스 마감의 경우 기계실은 포함되어 있고 내부 서비스의 경우도 화재 방지, 부속 수선 및 교체, 유지 관리 보수와 관련하여 모듈 사이의 연결부와 관련된 사항을 포함. 외벽 파사드의 경우는 모듈러 시스템의 내후성층은 내구성 측면에서 포함되므로 외벽에 부착되는 고정물, 외벽 관통부, 중공벽체는 기준에 포함
 - (2장) 용어 정리
 - (3장) 성능요구사항
 - ① 기계적 저항 및 안정성
 - ② 화재 시 안전
 - ③ 위생, 건강 및 환경
 - ④ 사용상의 안전
 - ⑤ 방음
 - ⑥ 에너지 절약 및 보온성
 - ⑦ 보안
 - ⑧ 디자인 변경 및 서비스 수명 계획
 - ⑨ 내구성, 탄력성, 재료 및 시공 숙련도
 - ⑩ 천연자원의 지속 가능한 사용
 - (4장) 품질관리 충족 사항 : 생산과 운송, 인양 및 설치에 관한 사항부터 BIM까지 포괄적인 내용포함
 - ① 설치의 시공성
 - ② 수리, 교체 및 호환성
 - ③ 빌딩 시스템의 식별
 - ④ 공장 생산 관리
 - ⑤ 취급 및 보관(공장 및 현장)
 - ⑥ 현장 조립
 - ⑦ 거주자를 위한 정보
 - ⑧ 빌딩 정보 모델링(BIM)
 - (5장) 영국 내 관련 규정, 표준 및 참고 간행물

출처: 이진미, OSC 활성화를 위한 법제도 및 정책 사례, 대한건축학회논문집 Vol.38 No.3 (2022.3.) p.8

3) 싱가포르

□ 싱가포르 OSC 산업 개요

싱가포르는 전체적으로 OSC가 가장 활성화되고 있는 나라로 1988년 PC 도입을 기점으로 OSC가 적용되기 시작하여 현재 싱가포르 정부는 건축물 골조의 65% 이상에 대해 PC 적용을 의무화하였다. 국토면적이 좁은 도시국가 특성에 따라 건축자재를 수입한 후 가공하여 건설 사업을 진행하기보다 해외에서 PC 부재를 만들어 운반하고 현장에 설치하는 방식이 보편화 되어 있다. 2000년대에는 공장 제작 조립식 화장실 유닛인 PBU(Prefabricated

Bathroom Unit)을 적용하기 시작하였고 현재 대부분의 건축물 화장실은 PBU로 시공하고 있다. 또한 기계·전기·수도와 관련된 배관을 공동구 형태의 모듈러 박스로 만들어 설치하는 ‘Prefabricated MEP’와 독립형 3차원 모듈인 ‘Prefabricated prefinished Volumetric Construction(이하 ‘PPVC’)'를 도입해 적용하고 있다. 특히 PPVC는 초창기 콘크리트를 사용해 저층 위주로 사용되었으나 최근 주요 재료가 철재로 바뀌면서 고층화되는 추세다.

□ 정부 주도의 건설 생산성 향상 정책

싱가포르 건설청(BCA, Building and Construction Authority)은 싱가포르의 건설 및 부동산 산업 규제 및 진흥을 전담하는 주요 정부 기관으로 건설 산업의 전반적인 발전과 질 향상을 위해 다양한 프로그램과 정책을 개발하고 실행하며, 안전하고 지속 가능한 환경을 위한 건물 규정과 기준을 마련한다.

[표 4-10] BCA의 주요 역할과 책임

구분	주요내용
건물 규제 및 라이선스	건물 및 건설 작업에 대한 기준, 건물의 안전성과 지속 가능성을 보장하기 위한 기준과 지침을 마련하여 제공
산업 발전	건설산업의 경쟁력을 향상시키고 혁신을 촉진하기 위한 다양한 프로그램과 이니셔티브를 실행
지속가능한 건설	싱가포르의 건물과 인프라가 환경 친화적이고 지속 가능하게 설계되고 건설되도록 권장하며, 관련 기준과 지침을 제공
교육 및 연수	건설 전문가를 위한 교육 및 연수 프로그램을 제공하여 건설 산업의 전문성과 역량을 향상
연구 및 발전	건설 기술과 방법론의 혁신과 개발을 지원하기 위해 연구 프로그램과 파트너십 촉진

출처: BCA 홈페이지 <https://www1.bca.gov.sg/>(검색일: 2023.08.28.)를 참조하여 연구진 작성

싱가포르 정부의 건설 생산성 향상 정책은 비용보다 생산성과 효율성에 중점을 두고 정부의 충분한 예산 지원이 이루어지고 있으며, 건설 생산성 향상 정책의 최종 목표인 스마트시티 조성을 위한 인프라 스트럭처에 GDP의 4~6% 정도를 일정하게 투자하고 있다. 싱가포르 건설청(BCA)에서 2010년, 2015년에 발표한 1, 2차 건설 생산성 향상 로드맵은 노동력 의존 감축, 생산적인 스마트기술 사용, DfMA 활용 증가를 주요 내용으로 한다.

□ BIM과 DfMA를 통해 건설산업의 제조화 추진

싱가포르 정부는 건설 생산성 향상을 위해 빌딩정보모델링(BIM)을 적극 장려하고 있으며 BIM 활용도를 높이기 위해 BCA 산하에 BIM 운영위원회를 두어 BIM 가이드를 제작·배포하는 한편 BIM 어워즈를 만들어 매년 우수한 프로젝트 및 기관에 포상을 하고 있다. BIM 가이드는 도입기관, 실행계획, 설계자, 시공자, 컨설턴트, 빌딩운영자, 토지조사자 등 각 활용대상에 따라 맞춤형으로 세세하게 구분된다. 싱가포르에서 BIM은 설계, 사전 제작, 시공을 통합해 가상의 환경에서 건설공사를 시뮬레이션하고 발생 가능한 문제를 사전에 해결하는 수준까지

상용화되었고, 건축분야에서는 공공·민간 건축물 연면적 5000㎡ 이상에 대해 BIM 설계·시공을 의무화하였다.

※ 싱가포르 정부의 건설 생산성 향상 로드맵

싱가포르의 1차, 2차 건설 생산성 향상 로드맵(Construction Productivity Roadmaps)은 2010년부터 2020년까지 매년 2~3%의 생산성 향상을 목표로 하고 있다. 싱가포르 건축·건설청(BCA: Building and Construction Authority)에서는 2010년과 2015년에 각각 1차와 2차 건설 생산성 향상 로드맵을 발표하였다. 이러한 노력에 힘입어 싱가포르의 건설 생산성 향상은 2010년 약 0.3% 정도에 불과했으나 2014년부터 2016년에는 연간 2%까지 상승했다. 2차 건설 생산성 향상 로드맵은 (1)고숙련 인력의 확보, (2)새로운 기술 활용, (3)가치사슬 통합 등 세 부문에 초점을 맞추고 있다.

- 1) 먼저 싱가포르 정부는 건설회사로 하여금 건설 인력 중 고숙련 인력을 최소 10% 이상 고용하도록 의무화했다. 노동 집약적인 특성을 갖고 있으나 대부분의 인력이 해외노동자로 구성되어 있는 싱가포르 건설산업의 경우 고숙련공이 생산성 향상에 미치는 영향이 크다. 이에 일반 기능공을 고급 숙련공으로 성장시키기 위한 다양한 경로를 제시하고, 고숙련 외국 인력 고용 확대 등의 다양한 지원책을 마련했다. 싱가포르의 고숙련 건설 인력은 2011년 약 2%에 불과했으나 2014년에는 20%, 2017년에는 40%까지 증가했다.
- 2) 새로운 기술의 활용은 공장 제작 및 조립 방식(DfMA: Design for Manufacturing and Assembly) 중 가장 대표적인 PPVC(Prefabricated Pre-finished Volumetric Construction)를 중심으로 표준화를 위한 입법, 특정 사업에서 PPVC 채택 의무화 등 다양한 방면으로 노력을 진행했다. PPVC 방식을 사용하는 업체는 2013년 1개에 불과했으나 2017년 24개로 크게 증가했다.
- 3) BIM의 활용은 설계, 사전 제작 및 건설을 통합하여 가상의 환경에서 건설 공사를 시뮬레이션하고 발생 가능한 문제를 사전에 해결할 수 있다. 이에 BIM 활용을 유도함으로써 다양한 이해관계자 간의 협력 강화와 가치사슬 통합이 이루어지도록 하였다.

출처: 건설산업연구원, 건설동향브리핑-건설정책 및 경영 동향 제19권 제3호, 2018.6. p.45

※ 생산성 향상을 위한 펀드 조성

-BCA는 S\$8억(약 6,527억원) 규모의 건설 생산성 펀드(CPCF: Construction Productivity and capability Fund)를 조성, 생산성 향상을 추구하는 민간 기업에게 인센티브를 부여하고 있다. 2016년 말까지 인력 개발, 기술 도입, 역량 개발, 가치사슬 전반에 걸친 통합을 위해 S\$4억5천만(약 3,672억원)이 투입되어 9,000개 이상의 기업이 혜택을 받았다. 싱가포르 정부는 공공부문 프로젝트의 생산성 향상을 위한 S\$1억5천만(약 1,224억원) 규모의 공공부문 건설 생산성 기금(PSCPF: Public Sector Construction Productivity Fund)도 조성하였다.

출처: 건설산업연구원, 건설동향브리핑-건설정책 및 경영 동향 제19권 제3호, 2018.6. p.45

DfMA는 BIM과 더불어 싱가포르의 건설 생산성 향상을 이끄는 축으로서 설계·시공의 획기적 변화를 주도하고 있다. ‘모듈러’가 현장 외 제조를 용이하게 하는 기술의 일반적 건설 용어라면 ‘DfMA’는 건설생산성을 높이고 설계·시공 프로세스를 근본적으로 변화시키는 새로운 접근으로 건축물 계획 단계부터 시도되는 개념이며 BCA의 BIM 가이드는 DfMA를 위한 가이드(BIM for DfMA)를 별도로 제공한다. BCA는 빌딩정보모델링(BIM)과 모듈러(공장제작 및 조립방식·DfMA) 통합을 유도하고 있으며¹¹⁰⁾ 싱가포르 현지 공사 수주를 위해 BIM과 모듈러 공법 활용이 필수적이며 2014년 이후 BIM과 모듈러 통합을 통해 건설현장의 생산성을 매년 2%씩 높여가고 있다.

스마트건설기술 개발에 대한 예산 지원도 적극적으로 이루어지고 있다. BIM과 모듈러 분야에 대해 건설기업들이 장비 등에 투자하면 투자금 일부를 정부가 지원한다.¹¹¹⁾ 예를 들어 첨단 건축물과

110) 김태형·정희훈·권해석. (2019). 생산성 혁명! 스마트 건설이 온다. 대한경제신문. 1월 2일 기사.
<https://www.dnews.co.kr/uhtml/view.jsp?idxno=201812261055335640171>(검색일: 23.08.28)

인프라 시설에는 각종 전자 장비, 항온·항습 장치가 많아 공사효율을 높이고 공기를 단축하기 위해서는 MEP 모듈화가 필수적이라고, 대형 MEP모듈의 현장 시공에 최적화된 리프트업 장비 개발하게 된다면 해당 예산을 지원하는 것이다.

□ PPVC 활성화를 통해 생산성·품질·건설환경 향상 도모

모듈러는 공장제작 조립식 화장실 유닛(PBU : Prefab Bathroom Unit)에서 출발해 건축물 내부를 구성하는 유닛을 레고 블록처럼 사전 제작해 조립하는 방식(PPVC : Prefabricated Pre-finished Volumetric Construction)으로 발전하고 있으며, 건축물의 뼈대가 되는 빔·슬래브 등을 현장에서 콘크리트 타설하는 대신 공장 제작 후 현장으로 운반해 그대로 설치하는 PC(프리캐스트 콘크리트) 공법도 적극 활용 되고 있다.

◆ 싱가포르의 모듈러 공법 발전 과정

- 싱가포르의 모듈러 공법은 1988년 건축물의 뼈대를 이루는 프리캐스트 콘크리트(PC)에서 시작되었으며 싱가포르 정부는 건축물 골조의 65% 이상은 PC로 짓도록 의무화
- 2000년대 들어 건축물 내부에 적용된 첫 모듈러로서 PBU(공장 제작 조립식 화장실 유닛)가 활성화되어 싱가포르의 건축물 화장실은 100% PBU로 시공하고 있음
- PC와 PBU를 거친 싱가포르의 모듈러는 MEP(기계·전기·수도), PPVC(조립식 프리마감 형태 제작)로 발전하였으며 각종 배관의 모듈러는 건설공정의 효율성을 극대화
- 2014년부터 본격 적용되고 있는 PPVC는 PBU를 모든 건축물 구성단위로 확장시킨 개념으로 모듈러의 집대성으로 평가되며 콘도미니엄, 호텔, 유스텔, 요양원, 기숙사 등 다중이용시설에 유리함
- PPVC 생산시스템은 싱가포르 콘크리트연구소(SCI)와 구조강철협회(SS)에서 관리하는 인증제도(MMS)에 따라 관리함

출처: 정희훈. (2019). 배관·구조물 등 DfMA 일반화... 설계·시공 획기적 변화. 대한경제신문. 2월 13일 기사. https://m.dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idno=201902121050366710541§ion=S1N4(검색일: 2023.08.28.)

PPVC는 프로젝트의 복잡성에 따라 인력 및 시간 절약 측면에서 생산성을 최대 40%까지 향상시킬 수 있고, 설치활동과 인력의 대부분을 외부로 이동시킴으로써 먼지와 소음 공해를 최소화하고 현장 안전을 향상시킬 수 있으며, 통제된 공장 제조를 통해 성능이 확보된 제품생산에 유리하다. BCA는 PPVC가 DfMA를 지원하는 획기적 기술이며 생산성 향상에 가장 효율적이고 완전한 원칙이라면서 정부규제 완화와 인센티브(건설생산성 펀드, CPCF)를 통해 PPVC를 확대·활성화 노력을 기울이고 있다.

싱가포르 정부는 PPVC 활성화를 위해 민간 주거시설의 경우 토지임대를 해주는 특정 지역(GLS)에서는 반드시 PPVC를 적용하도록 의무화하였고, 주택개발청(HDB)은 공공임대주택의 35%이상에 대한 PPVC 적용계획을 발표하기도 했다. 또한 민간기업에 용적률 10%의 인센티브를 제공하고 있으며 고임대 수익을 기대하여 호응이 높고, 향후 시장 확대 가능성도 긍정적이다. PPVC를 적용하는 경우 사업 초기 계약당사자의 참여가 중요하다. 개발자 또는 프로젝트 관리자는

111) 김태형. (2019). 발로 뛰는 싱가포르 건설행정...스마트기술 도입 앞서 해외 수출기업 직접 찾아 성능·적합성 확인. 대한경제신문. 2월 11일 기사. https://m.dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idno=201902081037458250332§ion=S1N4(검색일: 23.08.28)

한편 그동안 정부에서 추진한 사업사례 분석을 통해, PPVC비중이 65%이상일 경우 비용효과가 가장 큰 것으로 나타나 싱가포르 정부는 주요구조부의 65% 이상을 PPVC로 시공하도록 하고 그 비중을 더 늘리도록 유도하고 있어 향후 발전 가능성이 높다고 할 수 있다. PPVC를 사용하는 프로젝트가 증가함에 따라 싱가포르에서는 전문 컨설턴트 및 시공회사에 대한 수요도 증가하는 추세이다.



어려움으로 기술중심의 건설공법으로 전환하고 있으며 또한 세계적으로 높은 부동산 임대료도 PPVC 수요증가의 주요 원인이 된다. 개발자 입장에서는 가급적 신속하게 시공하는 방안이 필요한 것이다.

또한 PPVC 설치를 위한 운송 및 현장 여건도 중요하다. 주변 도로는 PPVC 모듈 배송이 가능해야 하고, 특히 현장 내 접근은 적재된 트레일러를 수용할 수 있어야 한다. 대량의 PPVC 모듈을 현장에 적재하는 것은 실용적이지 않으므로 제시간 운송이 중요하며, 현장에 배치된 크레인도 모듈 무게를 감당할 수 있어야 하고 설치를 위해 모든 블록에 도달할 수 있도록 위치를 적절하게 계획해야 한다. 공사 완료 후에는 건축물의 유지 관리, 교체 및 개조와 관련하여 사용자(건축주)에게 PPVC 사용설명서를 제공하여야 한다. PPVC 모듈 생산공장은 작업이 가능한 넓은 부지가 필요해 대체로 싱가포르 주변 국가, 특히 말레이시아에 위치한다. 최근에는 모듈러를 내재화해 싱가포르를 ‘공장제작의 글로벌 허브’로 만드는 것을 목표로 자국 내 제조 인프라 확보를 위해 모듈러공장(ICPH, Integrated Construction and Prefabrication Hub)을 지어 운영하고 있다.¹¹²⁾



[그림 4-19] Moderna Homes의 말레이시아공장 모듈러 제작모습

출처: Moderna Homes 제공

□ 건설산업혁신 전략으로서 DfMA와 IDD

싱가포르 건설청(BCA ; Building and Construction Authority)은 ‘건설산업 혁신 계획

112) 정회훈. (2019). 거주자가 모듈러 인지도 모듈만큼 완성도 높아. 대한경제신문. 2월 13일 기사.
https://m.dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201902121353029780571(검색일: 23.08.28)

(Construction Industry Transformation Map : CITM, 2017)’에서 건설산업 혁신을 위한 3가지 핵심영역으로 DfMA, IDD(Integrated Digital Delivery), Green Building을 선정하였다.

[표 4-11] ‘건설산업 혁신 계획(CITM, 2017)’의 3가지 핵심영역

구분	단계별 DfMA 전략
1. Design for Manufacture and Assembly (DfMA)	Off-site construction ranging from: - Precast column & beams - Prefabricated Bathroom Units - PPVC (Modular Integrated Construction in HK) - MEP modules
2. Integrated Digital Delivery (IDD)	Enabled by BIM and other latest digital, IoT, sensing technology, AI etc.
3. Green Building	Green Building Masterplan to encourage sustainable design, improve existing buildings and encourage occupant to change energy consumption behavior

출처: Wider Adoption of DfMA in MEP Works (1) – Ir WONG Chi Kwong (Vice President, Building Engineering (MEP), AECOM HK), DfMA MiMEP Tradeshow 2021.3.2.

여기서 DfMA는 싱가포르의 건설산업 혁신 계획(CITM)의 핵심 축으로서 현장에서 조립되기 전에 통제된 환경에서 오프사이트 제조를 위한 설계를 통해 건설의 판도를 바꾸는 것이다. DfMA의 주요 이점은 대부분의 공사가 현장 외부에서 진행되므로 공사기간이 단축되고 현장 소요 인력 감소하며, 현장 작업이 줄어들어 안전 확보에도 유리하다. 또한 조립 공장의 엄격한 품질관리로 작업성이 향상되고, 현장 시공이 줄어 지역사회에 지장이 적다.¹¹³⁾ 따라서 공공발주사업에 DfMA 방식 활용을 의무화하고 사업수행 기술에 대한 가이드라인을 제시하는 한편 연구개발 지원을 통해 OSC 사업 활성화를 위해 적극적인 노력을 기울이고 있다.



[그림 4-20] DfMA를 통한 건설 혁신

출처: BCA 홈페이지 <https://www1.bca.gov.sg/buildsg/productivity/design-for-manufacturing-and-assembly-dfma>(검색일: 23.08.25)

113) BCA 홈페이지 <https://www1.bca.gov.sg/buildsg/productivity/design-for-manufacturing-and-assembly-dfma>(검색일: 23.08.25)

BCA는 DfMA를 구성하는 각각의 기술에 대한 가이드를 제공하며, DfMA의 핵심 목표로 간편한 현장 조립, 현장의 생산성 향상, 노동력 투입 감소, 품질 및 안전성 향상을 설정하고, 각 기술에 대해 계획부터 설계, 생산, 운송, 설치, 품질 검사, 유지보수에 관한 사항과 관련 제도 등 전반적인 내용을 포함하고 있다.

[표 4-12] 싱가포르 BCA DfMA 가이드라인과 주요내용

구분	주요내용
Advanced Precast Concrete System (APCS)	PC(Precast Concrete)의 구성요소 . 3S 원칙(Standardisation, Simplicity, Single)에 따르는 PC 설계, 제작, 운반, 조립에 대한 가이드
Mass Engineered Timber (MET)	목재 건축자재와 관련한 가이드
Prefabricated Prefinished Volumetric Construction (PPVC)	독립형 3차원 모듈을 제작하기 위한 가이드 공장에서 제작된 모듈을 현장으로 운반하고 설치하기 위한 시공 방법에 대한 가이드
Prefabricated Bathroom Units (PBU)	사전 조립식 욕실 유닛의 생산 및 설치와 관련한 가이드
Prefabricated Mechanical Electrical and Plumbing (MEP) System	조립식 기계/전기/배관 시스템의 생산 및 조립을 위한 가이드
Structural Steel	철골부재 접합부 설계와 관련한 가이드

출처: 정서영, 'OSC 프로젝트의 최적 설계안 선정을 위한 DfMA 평가모델', 광운대학교 박사학위논문, 2021, P.32

[표 4-13] 'DfMA : Connection for Advanced Precast Concrete System'의 구성

구분	주요내용
1장 첨단 프리캐스트 콘크리트 시스템 설계기준	1.1 일반사항 1.2 기본 설계 접근법 및 목표 1.3 건축 설계 측면 1.4 구조 설계 측면 1.5 구조 접합부 설계 측면 1.6 기타 혁신적인 연결 설계 및 사례 연구
2장 프리캐스트 콘크리트 접합부의 설계	2.1 일반사항 2.2 구조시스템 및 접합부 설계 개념 2.3 접합부 스트럿 및 타이 모델링 2.4 접합부 설계 예시 2.5 접합부 디테일 예시 2.6 전용 기계적 접합 시스템 예시
3장 자동화된 프리캐스트 플랜트를 위한 프리캐스트 콘크리트 구성요소의 세부사항	3.1 일반사항 3.2 프리캐스트 몰드 조립 3.3 철근 배근 및 타설 인서트 고정 3.4 콘크리트 및 표면 평활화 3.5 양생, 디몰딩 및 보관 3.6 전체 프로세스 자동화
4장 생산 계획 및 현장 관리	4.1 일반사항 4.2 생산자재 계획 4.3 재고 관리 4.4 배송 관리 및 운송 4.5 전용 기계식 커넥터의 계획 및 주문 4.6 접합공사 교육 및 현장 실시 4.7 품질 확인 및 시험 4.8 다양한 유형의 커넥터 사용 예시
5장 규정 준수	5.1 일반사항 5.2 전용 커넥터 사용에 대한 설계 책임 5.3 작업점검 및 시험 5.4 서비스 유지관리 및 정기점검 5.5 전용 접합 시스템 품질 평가 계획

출처: BCA, DfMA : Connection for Advanced Precast Concrete System

건설산업혁신계획의 또 다른 핵심 과제로서 IDD(Integrated Digital Delivery, IDD)는 건설 프로젝트의 참여자들이 기본 설계 단계 (Design Stage)부터 시공 (Fabrication - Construction)은 물론 준공 이후의 건물 운영(Asset Management)에 이르는 각 공종에서 발생하는

정보를 하나의 표준화된 플랫폼에 축적함으로써 건축물의 수명 전반에 걸쳐 모든 정보를 유기적으로 통합하는 고도의 BIM 기술이다. 그동안 구현된 빌딩 정보 모델링(BIM)과 가상 설계 및 시공(VDC)을 기반으로 IDD를 구축한 것이다.



[그림 4-21] IDD의 구축 방법

출처: BCA 홈페이지 <https://www1.bca.gov.sg/buildsg/digitalisation/integrated-digital-delivery-idd>(검색일: 23.08.25)

□ 건설 생산성 향상 정책의 적극적인 실행 조직, HDB

HDB는 싱가포르 주택의 핵심인 공공주택 공급주체로서 환경을 위해 스마트하고 지속가능한 개발을 지향하고 있으며 그 일환으로 프리캐스트리케이션 기술 혁신을 추진한다.¹¹⁴⁾ 30년 이상의 프리캐스트 콘크리트 기술 축적을 바탕으로 싱가포르의 환경 및 기상 조건을 고려한 자체 브랜드의 세미 프리캐스트 시스템을 개발하였으며 고층 건물의 높은 품질과 건설 생산성을 향상시키고 있다.

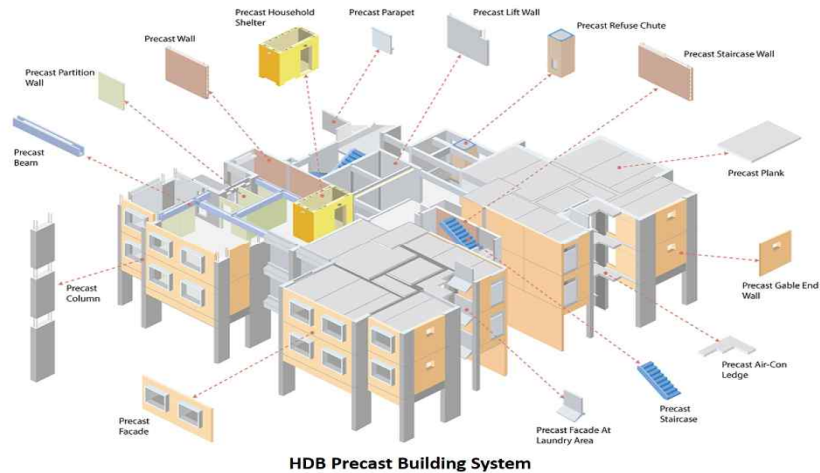
[표 4-14] HDB에서 사용하는 프리캐스트 기술

구분	세부내용
자동 프리캐스트 프로덕션 시스템(APP)	CAD/CAM(Computer Aided Design Drafting & Manufacturing) 기능을 생산 프로세스에 통합하여 프리캐스트 생산 프로세스를 개선함 다양한 구성요소를 쉽게 생산할 수 있고 수작업 수요를 줄일 수 있어 복잡한 디자인을 신속하게 제작하고 설치할 수 있음
SE CAD 소프트웨어	SE CAD(Structural Engineering Computer Aided Design)는 고층 프리캐스트 개발의 구조 분석, 설계 및 세부사항을 위한 원스톱 솔루션으로 영국 및 유로코드 표준에서도 사용 가능함

출처: HDB 홈페이지 <https://www.hdb.gov.sg/cs/infoweb/about-us/our-role/smart-and-sustainable-living/innovations/precast-technology-page>(검색일: 23.08.25)

114) HDB 홈페이지 <https://www.hdb.gov.sg/cs/infoweb/about-us/our-role/smart-and-sustainable-living> (2023.05.02.)

HDB는 프리패브리케이션 기술의 선도주자를 자임하며 전체 콘크리트 구조부재의 약 70%를 프리캐스트로 시공하고 있으며 그간 축적된 기술적 경험을 바탕으로 자체 브랜드인 프리캐스트 기술 ‘HDB Precast Building System’을 개발하였으며, 보다 통합적이고 복잡한 3D 프리캐스트 기술을 연구하고 개발하고자 한다.



[그림 4-22] HDB Precast Building System

출처: HDB 홈페이지 <https://www.hdb.gov.sg/cs/infoweb/about-us/research-and-innovation/construction-productivity/prefabrication-technology>(검색일: 23.08.25.)

□ 싱가포르의 모듈러 건축 성능인정 제도 현황¹¹⁵⁾

싱가포르는 건설생산성을 높이고 설계 및 시공 프로세스를 근본적으로 변화시키기 위해 건설 업계가 DfMA를 채택하도록 권장하고 있다. BCA는 다양한 PPVC 시스템의 디자인 및 재료가 최소 기준을 충족시킬 수 있도록 PPVC MAS(Manufacturer Accreditation Scheme) 인증 제도를 도입하고 PPVC 제조업체를 대상으로 의무적으로 인증을 받도록 규정한다. PPVC 성능 요구사항은 기본적으로 BCA의 ‘Code of practice in buildability’의 요구 성능을 만족해야 하며, 최소 요구 성능 기준에서 벗어날 경우 BCA의 사전 승인을 받아야 한다. PPVC 시스템은 콘크리트와 스틸로 구분하여 인증제도가 제공되고 있으며 각 생산업체는 콘크리트학회와 철강학회를 통해 인증을 받아야 한다.

115) 배규웅, 박금성, 이상섭, 광명근, 부윤섭, 민기요. (2019). 모듈러 건축 성능인정 제도 도입(안)에 관한 연구. 한국건설기술연구원, p.39-42

[표 4-15] PPVC 제조업 인증제도 평가항목

평가항목	세부내용
품질관리체계	품질관리계획의 효과적 실행
플랜트 및 설계 역량	재료와 자원의 효율적 활용
인적자원 요구사항	높은 관리 수준과 품질 보증
생산 품질 관리	적시 검사 및 테스트
보관 및 이동	인적 자원 관리 개선
설치 및 유지관리	부적격 제품의 엄격한 통제

출처: 배규웅, 박금성, 이상섭, 광명근, 부윤섭, 민기요. (2019). 모듈러 건축 성능인증 제도 도입(안)에 관한 연구. 한국건설기술연구원, p.42

4) 홍콩

□ 홍콩정부의 DfMA/MiC 확산 정책

홍콩 정부의 적극적인 정책 추진으로 인해 모듈러 통합 건설(MiC)은 점차 대중화되고 있다. 예를 들어, 건축물의 총 건축 연면적이 300㎡ 이상인 경우 공공 공사에 MiC를 의무적으로 채택하도록 하고 있다¹¹⁶⁾ 공공분야 주택, 학생 호스텔, 노인 주택, 병원, 학교 등의 프로젝트에서 MiC를 일반적으로 채택하고 있으나, 이에 비해 민간 프로젝트에서는 MiC를 사용하는 것이 그다지 대중적이지 않다. 따라서 연면적 10% 인센티브 제공을 통해 MiC 확대를 도모하고 있지만 아직까지 민간분야 MiC 프로젝트는 주거 개발 사업에 한정되는 경향이 있다. 그 이유로는 가격이 높다는 점과 홍콩이 영국에서 중국으로 통치권이 이양되면서 중국의 규정에 대한 이해가 부족한 경우 과도한 세금을 지불해야하는 문제, 조립방식 등 기술적 전문성 부족(교육 문제) 등이 있으며, 이러한 문제 해결을 위해 홍콩건설산업협회(Construction Industry Council, CIC)의 역할이 중요하다.

홍콩건설산업협회(CIC)는 홍콩의 건설산업협의회 조례에 따라 2007년 설립된 법정기구로서 CIC는 건설 프로젝트의 품질과 안전성을 높이고 산업의 전반적인 경쟁력을 향상시키기 위해 정부, 업계 이해관계자 및 전문 기관과 긴밀히 협력을 돕고 있다. CIC는 정부정책을 시장에 적용하기 위한 중간 기능을 수행하며 해당 정책의 전달, 교육, 기술개발 등 공공과 민간의 연결기능에 초점을 둔다. DfMA Alliance를 조직하여 DfMA 관련 포럼 및 세미나 개최, Focus Hubs 조직 등을 통해 DfMA의 적용 및 확산을 위한 활동을 추진한 바 있으며 홍콩의 MiC(Modular Integrated Construction) 프로젝트의 법적 요건 검토를 위한 다양한 가이드를 제공하고 7개의 정부기관¹¹⁷⁾의 법적 규제에 대한 정보도 제공한다.

116) DevB Technical Circular 2/2020

117) Buildings Department, Fire Services Department, Water Supplies Department, Electrical and

CIC에서 발간한 기계, 전기 및 배관(MEP) 작업에 대한 DfMA 적용 가이드라인(Reference Materials - Adopting DfMA for MEP Works)¹¹⁸⁾은 홍콩에서 기계, 전기 및 배관(MEP) 작업에 대한 DfMA 접근 방식 채택을 촉진하기 위한 실용적인 정보제공을 목표로 개발되었다. 사업 초기 실현 가능성 검토 및 개략 개발계획, 컨셉 디자인, 상세 디자인, 문서 및 입찰, 시공, 양도 및 양도 후 서비스 등 프로젝트의 단계별 DfMA 적용 가이드라인을 제공하며, 최근 홍콩에서 부상하고 있는 MiMEP(Multitrade Integrated Mechanical, Electrical and Pipeling)에 대한 정보를 제공한다.

건설혁신기술기금(CITF, Construction Innovation Technology Fund)은 MiC 프로젝트에 컨설턴트를 고용하거나 MiC와 관련된 기계 및 구성품을 구매하고자 하는 업계 이해관계자를 위해 자금을 지원한다. CITF는 2018년 10월 홍콩 특별 행정구(DEVB) 개발국에 의해 설립되었으며 건설산업위원회(CIC)는 DEVB에 의해 실행 파트너로 위임되었다. 기술 채택 측면에서는 혁신적인 건설 방법 및 기술의 광범위한 채택을 장려하며 인력 개발 측면에서는 건설 관련 분야의 산업 실무자 및 전문 대학원생의 역량을 강화하여 건설산업의 지속가능한 발전을 위한 혁신적인 문화를 구축하고 신기술을 지지하는 마인드를 함양하고 있다.



[그림 4-23] CITF 거버넌스
출처: 홍콩 CITF 홈페이지 <https://www.citf.cic.hk/?route=governance&lang=1>

□ 공공분야 MiC/DfMA 도입을 주도하는 홍콩 건축서(ArchSD)

1990년에 설립된 홍콩 건축서(Architectural Services Department, ArchSD)는 건축부문 정부기관으로서, 정부 보조금을 받는 건축사업을 감독하고 계획 및 설계, 조달, 유지보수 등 전문적이고 기술적인 컨설팅 제공 및 각종 자료의 개발과 생산, 배포를 담당하고 있다. 지속

Mechanical Services Department, Transport Department, Environmental Protection Department, Customs and Excise Department

118) CIC, 'Reference Materials - Adopting DfMA for MEP Works', 2021.9.28., p.v

가능하고 혁신적인 건축공법 추진을 위해 신규 프로젝트의 MiC/DfMA 설계 방식 채택을 늘리고 있으며(20년도 75%, 21년도 80%를 목표) 20년도에는 목표치의 92%, 21년도는 100%를 달성하였다. 홍콩 건축서 담당자 인터뷰¹¹⁹⁾ 결과 MiC적용 사업추진을 통해 확인된 장점은 현장 안전성 향상, 품질 관리 기능 제고, 건설 기간 단축, 건설 폐기물 감소, 현장 노동 수요 감소, 이웃에 대한 소란 및 방해 감소 등이다. 이러한 효과는 단순히 품질 및 지속 가능 건축에 기여하는 것이 아닌, 환경을 개선 및 건설 산업이 안고 있는 인력부족 및 품질문제 등의 해결에도 도움이 되고 있다.¹²⁰⁾ MiC를 장려하기 위해 건축부(Buildings Department, BD)는 업계가 건축 조례(Building Ordinance, BO)에 따른 관련 표준 및 요구 사항을 충족할 수 있도록 간소화된 조치와 지침을 마련하였다.

□ MiC 적용 시 설계과정 및 사전승인제도

MiC 프로젝트는 Design and Build 방법이 일반적이며 따라서 주건설 계약자는 초기 단계에서 모듈 제조업체와 협력하기에 유리하다. 홍콩에서는 대부분의 제조업체가 중국 본토에 위치한다. 일부 대형 건설업체(예: Yau Lee, China State 등)는 중국에 자체 제조업체를 두고 있으나 대체로 종합건설업체가 상호 협업이 유리한 전문업체를 선정하여 업무를 추진하므로 주계약자를 중심으로 분업의 협업에는 문제가 없는 것으로 추정된다. 다만, 홍콩에서 MiC를 사용하는 가장 큰 문제는 사이트 및 도로 제한이라 할 수 있다. 홍콩 도심은 혼잡하고 대부분의 도로가 좁으며 또한 사이트에서 모듈을 임시로 저장할 수 있는 공간도 부족하기 때문에 적시에 모듈을 전달할 수도 없어 구릉지에서는 MiC 적용이 어렵다.

민간부문 MiC 활성화를 위해, 홍콩 정부는 MiC 시스템에 대한 사전승인제도를 도입하였다. 사전승인제도는 MiC 시스템의 설계 및 재료가 건축조례 최소기준을 충족하는지 여부를 판단하고 업계가 해당지역 사업에서의 사용을 유도한다. 이를 위해서는 정부의 승인된 MiC 시스템 목록을 운영하며 여건에 따라 이를 선택할 수 없는 경우, 새로운 MiC 시스템 승인이 필요해 시간이 더 소요되는 경우도 있다. 사전승인은 신청 후 45일 이내에 결정하고 있으며, 사전승인은 건축허가, 승인의 필수적인 전제조건은 아니다. MiC 사전승인 신청 체크리스트는 프로젝트 승인자(Authorized Person, AP)와 등록구조기술사(Registered Structural Engineer, RSE)에게 인허가 신청 시 문서에 포함되어야 하는 필수 정보를 포함한다.

119) 2023.07.10

120) CIC 홈페이지 <https://mic.cic.hk/en/MiCDisplayCenter>(검색일: 2023.05.15.)

[표 4-16] MiC 사전승인체크리스트

○ 계획 시 반드시 제공해야 할 필수정보 △ 계획서에 첨부된 증빙서류에 기재할 필수정보

항목	범위
일반사항	○ 해당 규정 준수에 관한 일반 사항 / 실천 강령 / 디자인 매뉴얼 / 지침 ○ 전체 치수가 1:100 이상인 일반 건축 계획(모든 층, 섹션 및 모든 입면의 계획) ○ 모든 구조 요소, 모듈식 유닛, 구조 연결 및 이동 조인트 위치의 레이아웃과 치수를 보여주는 1:100 이상의 규모의 구조 계획 ○ 건물의 높이 및 용도 ○ 시스템의 모든 모듈의 사용 목적 ○ 필수 및 제공 위생 조항을 나타내는 표 ○ 표준 세부 사항(해당되는 경우), 가스 연통 구멍, 발코니, A/C 플랫폼, 커튼/창 벽, 비구조 외벽 시스템/클래딩, 선큰 슬래브, 물 공급이 가능한 방의 불투수 구조, 보호 장벽, 돌출부, 수직 녹화, 파이프 덕트 등 ○ 모듈 인터페이스 간 간막이 또는 내벽의 틈새를 밀봉하는 방법을 나타내는 표준 세부 사항
화재안전	○ 탈출 수단, 내화 구조, 소방 및 구조를 위한 접근 수단 측면에서 건물 화재 안전을 위한 실천 강령 (FS Code) 준수를 설명하는 상세도면 (a) 요구되는 수용 인원 및 제공되는 인원수, 출구 문 및 출구 경로의 너비; (b) 출구경로의 직접거리 및 이동거리 (c) 건축 요소의 내화 등급(FRR)이 있는 벽, 바닥, 기둥, 보 및 계단의 건축 및 재료 표; (d) 다양한 점유, 용도, 구획 및 해당되는 경우 특수 위험 구역을 분리하는 방화벽의 FRR; (e) 해당되는 경우 보호된 출구 경로를 위한 내화 구조물; (f) 수직 샤프트 및 필수 계단에 대한 화재 예방; (g) 단열재/방수 재료를 포함한 클래딩/외벽/커튼월에 대한 불연성 요건; (h) 내부 벽, 천장, 바닥 및 장식 마감재의 라이닝/덮개에 대한 제한된 가연성 요구 사항; (i) 덕트 및 숨겨진 위치의 방음 및 단열에 대한 불연성 요구 사항; 그리고 (j) 해당되는 경우, 소방관용 리프트와 소방 및 구조 계단(FRS) 제공(소방관용 리프트와 중요한 위치의 FRS에서 실제 통로 측정값으로 표시). △ FS 코드 준수를 입증하는 문서 증거, 예: (a) 사용된 내화 재료, 팽창성 페인트, 문 및 벽 시스템에 대한 화재 테스트 보고서 (b) 제한된 가연성 및 불연성 물질에 대한 시험성적서 나, 그리고 (c) 해당되는 경우, 화재 안전 엔지니어가 시스템의 화재 안전 검토를 실시
조명 및 환기	○ 규정된 창 제공이 필요한 모든 객실의 면적 계산 ○ 유약 및 개방 가능한 샷시 영역을 포함하여 제안된 규정 창에 대한 면적 계산 ○ 흡이나 폐기물이 있는 방에 자연 채광 및 환기 제공
배수	○ 건축(위생 설비, 배관, 배수 작업 및 화장실 표준) 규정 준수를 설명하는 상세 도면. 예>> (a) 트랩, 내부 치수, 굽힘, 청소용 입구, 토양 및 폐기물 파이프 재료, 수직 스택에 대한 연결 세부 사항을 포함하여 토양 및 폐기물 설비에 대한 적절한 배출 설계;

출처: ArchSD제공자료

MiC를 위한 설계 요구사항은 화재안전, 접합 및 간격, 구조설계, 유지관리로 구분하고 있으며 세부 내용은 다음 표와 같다.

[표 4-17] 모듈식 통합 건설을 위한 설계요구사항

평가항목	세부내용
화재 안전	MiC 구성 요소의 화재 예방 또는 성능이 해결되어야 함. 필요한 경우 건물 화재 안전을 위한 실전 강령 2011에 명시된 화재 공학 평가를 통해 증명되어야 함
접합 및 간격	모듈식 건축은 일반적으로 누수가 발생하기 쉬운 배수관 및 건물 외피를 포함하여 더 많은 조인트와 틈새가 발생하므로 이에 대한 기술이 요구됨
구조 설계	- 콘크리트의 구조기능, 프리캐스트 콘크리트 건축에 대한 세부기준 및 철골구조기능, 설계 및 시공 관련 건축기준은 MiC에도 적용되며 다음의 설계 요건을 충족해야 함 - 안정성: MiC 구조는 바람과 측면 하중에 저항력을 가져야 함. 모듈식 장치를 조립하고 설치하는 동안 일시적인 안정성 및 이후 모든 시공 단계에서 적절한 지원이 필요 - 건고성과 무결성: MiC 구조 시스템은 견고하고 불균형적인 붕괴를 견딜 수 있도록 설계되어야 함. 현장의 모든 요소가 수직 및 수평으로 얹여있으므로 한개 유닛의 붕괴에 따른 사고가 전체에 영향을 주지 않도록 설계되어야 함 - MiC의 제조, 리프팅, 운송, 조립 및 설치를 포함한 임시 건설 단계에서 구조하중이 다를 수 있으며 개별 MiC 요소에 더 높은 응력이 발생할 수 있음. 이에 각 건설 단계에서 모듈러에 일시적으로 부과되는 하중을 고려하여 모든 단계에서 모듈러 유닛의 안정성과 무결성이 보장되어야 함 - 움직임을 위한 디자인: MiC 시스템은 건설과정 및 사용 중 발생하는 활하중 및 다양한 변형 등을 수용하도록 설계함
유지관리 조항	구조 연결부, 배수관, 건물 서비스 및 조인트의 검사 및 수리/교체를 용이하도록 점검위치, 피트 등도 초기 설계 단계에서 고려되어야 함

출처: 홍콩건축서 인터뷰 결과 발췌

□ MiC 품질관리제도

MiC는 ISO 9001 또는 이와 동등한 품질 보증 인증을 받은 공장에서 제작되며 계획 승인 시 MiC 공급업체의 품질 보증 제도(Quality Assurance Services, QAS) 사본을 공장에서 생산 시작 최소 14일 전까지 제출하여야 한다. 프로젝트 승인자(Authorized Person, AP) 및 등록 구조기술사(Registered Structural Engineer, RSE)는 제출된 계획이 승인된 생산품질 보장 관련 서면 확인서를 제공하게 된다.

AP와 RSE는 내화구조물(예: 내화 도어 및 내화 파이프 칼라), 배수 작업, 구조물 등에 관한 모듈식 유닛 생산작업을 감독하기 위해 각자의 품질 관리 감독팀(QCST)을 배정하고 요구 사항을 준수해야 하며, AP, RSE, RC가 각각 배정한 감독자의 이름과 자격을 검사 일지 기록하며 감독자는 모듈형 장치의 생산, 검사, 감사 및 테스트에 대한 세부 사항을 일지에 기록해야 한다.

[표 4-18] 모듈러 품질검사 항목

주체	구분	범위
AP	배치와 인테리어	층 높이, 돌출부, 발코니, 유틸리티 플랫폼, A/C 플랫폼, 보호 장벽, 내부 영역, 출구 경로 등을 포함한 중요한 치수 확인 일반 레이아웃과의 적합성을 확인
	창문 및 굴뚝 구명 설치	PNAP APP-116에 따라 흙이나 폐기물이 포함된 방의 유리창 및 개방 가능한 최소 면적과 수밀성을 점검 연통 구멍의 위치와 크기를 확인 변경/면제에 따른 필수 조항을 확인
	배리어 프리 접근	욕실, 화장실, 경사로, 복도, 로비, 문, 난간, 간판, 촉각 안내 경로 등의 설비 및 중요 치수를 확인
	배수	위생용품 제공 여부를 확인 재질, 치수, 워터 씰 트랩, 벤트 또는 사이펀 방지 파이프 및 기타 필요한 구성 요소를 포함한 배수 작업을 확인
	내화구조	자재 점검, 구조 요소의 방화, 방화벽 구축, 방화문 FRR, 연기 밀봉 장치, 자동 폐쇄 장치, 파이프 칼라 등 독점 제품 설치를 점검
	마감재 및 부속품	불투수 건축물에 대한 물 고임 시험/분무 시험 보고서를 포함하여 지붕, 샤워실 등 적절한 방수 상태를 확인 필요한 기계적 환기 및 인공조명 제공 여부 연기 감지기, 개방형 주방용 스프링클러 헤드 등 필수 소방 설비 제공 여부를 확인
	기타	AP가 프로젝트에 필수적이라고 간주하는 기타 항목
RSE	철근	철근의 크기, 패턴 및 레이아웃을 확인하기 위해 각각 100mm x 300mm 면적의 세 위치에서 콘크리트 표면을 개방 콘크리트 커버, overmeter를 사용하여 6개 위치에서 철근 철근까지 콘크리트 피복측정. 각 위치는 450mm x 450mm 영역에서 6개의 판독값 확보 재료 테스트 보고서
	콘크리트	3개 위치에서 비파괴 테스트#(예: 리바운드 해머 테스트)를 통한 콘크리트 강도 재료 테스트 보고서
	구조용 강철	적절한 경우 육안검사, 자분 입자 검사/염료 침투 검사 및 초음파 검사를 통한 용접 조인트의 비파괴 검사2(강철의 구조적 사용을 위한 실천 강령 2011의 섹션 14.3.6에 지정된 요구 사항을 참조) 조립식 공장에서 QCST가 무작위로 선택한 모듈형 장치 제작에 사용되는 동일한 주조품의 동일한 두께의 각 섹션 또는 플레이트의 40톤마다 하나의 시편에 대한 인장 강도 테스트 (BS EN 10002-1:2001 또는 BS EN ISO 6892-1:2009에 지정된 요구 사항을 참조) 재료 테스트 보고서(테스트 결과는 모듈형 장치가 건축 현장에 인도된 후 60일 이내에 BD에 제출)
	완성 된 제품	콘크리트 표면 및 결함 강철 표면/부식 방지 크기, 치수 및 제작 공차 스타터 철근 전단 커넥터
	검사기록	QCST의 RSE가 배정한 감독 인력의 일지
	기타	RSE가 프로젝트에 필수적이라고 간주하는 기타 항목

출처: ArchSD제공자료

5) 미국

□ 미국의 OSC 산업 개요

미국은 주택 부족 문제 해소를 위한 주택 대량생산방식으로서 OSC를 도입하게 되었다. 1986년 컨테이너 건축 시스템으로 특허를 받은 것이 모듈러 기반 OSC 생산의 시초였으며, 급속한 인구증가에 따른 주택 부족 문제를 해결하기 위한 주택 대량생산을 시작으로 학교, 병원, 공장, 호텔, 오피스, 주거 등 다양한 건설 프로젝트에 OSC를 적용하고 있다. 2011년 기준 약 680만 채의 주택이 OSC 방식으로 시공되어 전체 주택의 약 7%를 차지하고 시장 규모는 2016년 기준 약 5.5조 원으로 추산된다.¹²¹⁾

미국은 모듈러 건축방식으로 재편되고 있는 세계 시장의 격전지로서 건설업계는 생존 경쟁을 위해 스마트 건설을 지향하고 있다. 글로벌 요구수준에 맞추기 위해 미국 건설기업들은 2000년대 초반부터 BIM을 전면 도입하였고, 시장조사기관 맥그로힐에 따르면 미국 건설업체의 90% 이상이 모듈화 공법을 도입했으며 지속적으로 증가 추세에 있다.

◆ 건설의 적극적인 제조화 사례 : Kattera의 제도·유통 혁명

- (건설방식 제조화) BIM(빌딩정보모델링), 클라우드 기반의 ERP(전자적 자원관리), 자재추적 관리시스템 등 첨단 IoT(사물인터넷) 기술을 통해 건설 생산체계를 수직 통합하여 '사업기획-설계-자재구매-시공'의 전통적인 건설단계를 '설계-자재납품-현장조립'으로 단순화
- (모듈러 건축자재 다변화) 자체 생산공장을 가동하여 현장시공보다 제조 비중을 늘렸으며, 모듈러 건축 자재도 프리캐스트(Precast) 콘크리트 대신 나무를 여러겹으로 붙인 CLT(Cross-Laminated Timber)를 사용하고 디자인 획일화를 극복하기 위해 유명 건축가와 협업함

* CLT는 두께와 길이를 자유롭게 조절할 수 있고, 단열기능이 뛰어나 에너지효율이 높으며 방화 효과도 좋은 것으로 알려져 있음

출처: 김태형. (2019). 글로벌 혁신기업에 한국형 스마트건설의 길을 묻다. 대한경제신문. 4월 4일 기사. http://dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201904031518442410979(검색일: 23.07.13)

◆ DfMA 시장 확장 사례 : DfMA 신생 스타트업 'Factory OS'

- Factory OS는 건설분야 신생 업체임에도 불구하고 구글, 페이스북, 애플 등 빅테크 기업들에게 투자
- DfMA 건설공법을 통해 건축물을 더 빠르고 안전하게 구축하고, 일관된 품질, 위험 감소, 친환경 설계를 진행한다는 장점을 앞세워 시장영역을 넓혀가고 있음
- DfMA 적용 시 기존 주택보다 40~50% 빠르고, 20~40% 더 저렴하게 지을 수 있고, 공장에서 모듈을 생산해 건설폐기물을 3분의 1 이상 감소시켜 탄소 배출량 감축 효과도 있음

출처: 김희용. (2021). [건설프로세스 혁신...DfMA가 이끈다] 해외에서 더욱 주목받고 있는 DfMA. 대한경제신문. 12월 16일 기사. https://m.dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=202112151445153010323(검색일: 23.08.28)

주택 노후화에 따른 건설수요 증가에 비해 갈수록 노동력은 부족해져서 건설산업의 생산성 향상은 필수적인 상황이며 이에 대한 해법으로 제조업의 성공모델인 모듈화, 표준화 도입을 위해 각 기업은

121) 김태형·정희훈·권해석. (2019). 생산성 혁명! 스마트 건설이 온다. 대한경제신문. 1월 2일 기사. <https://www.dnews.co.kr/uhtml/view.jsp?idxno=201812261055335640171>(검색일: 23.08.28)

모듈러 생산설비를 위한 대규모 투자 등 모듈화를 위한 생산성 향상을 추진하고 빅데이터와 AI를 활용한 최적 단가 및 공정계획 산출 시스템, 3차원 실시간 건설관리정보시스템(PMIS), 드론을 통한 실시간 공사물량 집계, 증강현실(AR) 기반 품질관리, 클라우드 기반 실시간 3D 정보 공유 등 혁신적인 기술을 도입하고 있다.

한편 모듈러 건축의 경제성에 대한 건축주의 관심도 증가하고 있다. ‘플랜트 프리패브(Plant Prefab)’는 2015년에 설립된 개인맞춤형 조립식 주택 전문업체로 모듈화와 자동화를 통해 공사기간을 절반으로 단축시킨 업체인데, 아마존 AI사업부가 이 회사에 투자함으로써 모듈러 건축 시장 진출 가능성을 시사하고 있다.¹²²⁾ 한편 구글은 실리콘밸리 지역의 집값 폭등으로 어려움을 겪는 직원들을 위해 1만 세대 규모의 모듈러 아파트 건설을 추진하면서 카테라(Katerra)에 주택건설사업을 의뢰하였다. 호텔업계에서도 모듈러 건축에 적극적인 모습으로 세계 최대 호텔 체인인 메리어트인터내셔널이 북미 700개의 호텔을 모듈러로 건축 중이다.

◆ 호텔업계의 모듈러 건축 사례

- 모듈러에 가장 적극적인 메리어트인터내셔널은 JW메리어트, 리츠칼튼, 르네상스, 세러턴, 웨스틴 등 럭셔리 브랜드를 소유한 세계 최대 호텔 체인으로 럭셔리 브랜드 외에도 ‘저렴한 가격대의 고급 호텔’을 표방한 시티즌M호텔, AC호텔 등의 브랜드를 여러 운영하고 있다. 이들은 고급 5성급 호텔에 견줄만한 서비스로 각광받고 있는 3성급 호텔로 침대와 샤워시설은 고급 호텔 수준으로 설치하는 대신 객실 크기와 서비스를 조정해 가격을 낮추는 전략을 쓰고 있으며 이런 호텔에는 단기간에 저렴한 비용으로 공급할 수 있는 모듈러 공법이 최적이다.¹²³⁾
- 미국 오克拉호마주의 ‘AC호텔 바이 메리어트 브릭타운’은 모듈러 건축의 경제성을 입증한다. 이 호텔은 바로 옆에서 비슷한 규모로 지어진 하얏트 플레이스보다 7개월 이상 빨리 완공됐다. 규모와 완성도가 비슷하고, 같은 종합건설회사가 시공했지만 두 호텔은 모듈러와 RC(철근콘크리트) 공법이라는 다른 방식으로 지어졌다. 메리어트 관계자는 “지금처럼 제한된 노동시장에서 이 정도 규모의 호텔을 15개월만에 건설하는 것은 매우 인상적”이라며 “1500마일(약 2400km) 거리에서 모듈을 싣고 왔지만 경쟁력이 더 나왔다”고 평가했다.
- 캘리포니아 호손(Hawthorne)에 지어진 ‘호손 듀얼브랜드 메리어트’는 모듈식 건축으로 지은 최초의 듀얼 브랜드 호텔이다. 호손은 윈덤(Wyndham) 호텔 브랜드 중 하나다. 354실 규모의 이 호텔은 14개월만에 건설돼 당시 미국에서 가장 빨리 지은 호텔로 기록됐다. 방 1개를 짓는데 1.21일 걸린 셈이다. 윈덤 관계자는 “오픈일이 앞당겨지면서 하루 평균 3만1000달러의 수익을 올릴 수 있었다”며 “개발자 입장에서 자신의 투자금(에쿼티)을 빨리 회수해 새 프로젝트에 넣을 수 있어 모듈러를 좋아한다”고 밝혔다. 메리어트와 호손은 앞으로 6개 듀얼 호텔 프로젝트를 모두 모듈 방식으로 짓기로 했다.

출처: 김태형. (2019). 모듈러에 빠진 아마존·메리어트...스마트홈 시장 ‘대공습’. 대한경제신문. 4월 3일 기사. http://dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201904021406288640835(검색일: 23.08.28)

□ 모듈러 건축 관련 법제도 현황¹²⁴⁾

122) 김태형. (2019). 생산성 혁명! 스마트 건설이 온다<4> 미국편. 대한경제신문. 4월 1일 기사. https://m.dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201903291427391580542(검색일: 23.08.28)

123) 김태형. (2019). 모듈러에 빠진 아마존·메리어트...스마트홈 시장 ‘대공습’. 대한경제신문. 4월 3일 기사. http://dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201904021406288640835(검색일: 23.08.28)

124) 배규용, 박금성, 이상섭, 곽명근, 부윤섭, 민기요. (2019). 모듈러 건축 성능인정 제도 도입(안)에 관한 연구. 한국건설기술연구원, p.20-26

미국 건축법(Building Code)에서 OSC 건축과 관련 규정을 살펴보면 다음과 같다.

공장 제작 주택(Factory building home)을 조립식 주택(Manufactured Home)과 모듈러 주택(Modular Home)으로 분류하고 조립식 주택은 주택법(Housing and Urban Development Building Code), 모듈러주택은 주(State) 및 지방(Local)의 법령을 따르도록 하고 있다. 미국의 35개 주가 모듈러 건축을 규제하는 법령을 가지고 있으며 각 주의 규정은 설계 검토 및 승인, 허가 및 검사에 대한 요구 사항이 상이하다. 그러나, 새롭게 도입된 OSC 표준은 모든 지역에서 모듈러 주택 및 기타 OSC 프로세스에 대한 일관성을 유지하기 위한 가이드를 제공하고 있다.

모듈러 건축 관련 성능인정제도는 모듈러 공법의 주택 형식에 한정되어 있고 프로젝트 수행 시 공사가 진행되는 지역에서 정한 규정을 준수하여야 한다. 즉, 모듈러 제작사는 모듈러 건물을 공급하고자 하는 지역의 법규를 준수하여 설계하고 제작하여야 하며, 주(State)의 승인을 받은 품질검사기관으로부터 제작 기간 중 품질검사를 받아야 한다. 또한 PC 품질 확보를 위한 공장인증제를 도입하여 운영하고 있다.¹²⁵⁾ 미국 PC협회가 ‘MPCA’라는 공장인증을 하고 소비자는 해당 인증제품을 쓰도록 하는 내용이다.¹²⁶⁾

또한 설계, 시공, 규정의 일관성 유지를 위해 민관합동으로 모듈러 표준을 마련하였다. ICC와 모듈러빌딩협회(MBI)는 OSC 산업을 촉진하기 위해 2021년 두 개의 새로운 기준(ICC/MBI 1200-2021, ICC/MBI 1205-2021)을 발표하였다. 이 두 가지 표준은 OSC 기반 상업 및 주거용 건물의 계획, 설계, 제작, 운송 및 조립을 포함하여 공중 보건, 안전, 검사 및 규정 준수 등 제기되는 문제를 해결하기 위해 최소 요구 사항을 제공한다.

◆ ICC/MBI 1200-2021, 1205-2021

- 국제 코드 협의회(ICC, International Code Council) 기준으로 OSC 관련 표준을 규정
 - BPS보다 한해 늦은 2019년에 초안 논의가 시작되었고 최종 버전은 2021년 발표됨
 - ICC/MBI 1200-2021은 OSC의 설계, 디자인 제조, 운송, 조립, 설치를 포함하는 건설 프로세스의 측면을 다루고 있음
 - : 1,2장은 범위와 용어 정의를 포함하며, 3장은 성능요구사항, 4장은 제품유형에 따른 요구조건, 5장은 제조 공장에 대한 기준, 6장은 제작 관련, 7장은 운송 및 보관, 8장은 현장 설치, 9장은 참조 표준을 포함
 - : 3장의 성능요구조건 ①일반 ② 화재 및 연기 방지 기능 ③ 기계 ④ 전기 ⑤ 배관 ⑥ 화재 예방 및 인명 안전 시스템 ⑦ 외벽 ⑧ 구조설계
 - ICC/MBI 1205-2021은 OSC의 구성요소의 검사, 승인 및 규정 준수와 건설 현장에서의 최종 조립 및 완공까지를 다룸
 - : 1,2장은 범위와 용어 정의, 3, 4, 5장에 승인, 검사, 검사기관, 규정 준수 보증 프로그램을 포함
- 출처: 이진미, OSC 활성화를 위한 법제도 및 정책 사례, 대한건축학회논문집 Vol.38 No.3 (2022.3.) p.8

125) 김민수. (2022). 250만호 주택공급, PC공법으로 해결해야, 대한경제신문. 9월 26일 기사.
<https://www.dnews.co.kr/uhtml/view.jsp?idxno=202209241921542030292>(검색일: 23.07.13)

126) 2022 OSC 국제 심포지엄, 정장원 동서PCC 대표

□ OSC 생산프로세스 통합을 위한 각계의 DfMA 도입 노력

미국의 건축사협회(American Institute of Architects; AIA)는 미국 국립건축과학원(National Institute of Building Sciences; NIBS)과 협업을 통해 'Design for modular construction: An introduction for architects'를 발간하였다. 해당 보고서는 모듈러 건축의 성공적인 설계 사례와 모듈식 설계의 이점을 설명하고 OSC 생산방식은 설계, 제작, 운반 및 현장조립 단계의 통합이 반드시 필요하며 모든 생산 프로세스의 통합을 위해 DfMA 도입이 중요하다는 점을 특히 강조하였다.¹²⁷⁾ 즉 제작자와 초기 협업을 통해 신중하게 설계하면 설계자는 다양한 고객 요구사항을 충족하는 고유한 설계를 할 수 있고 모듈식 건물은 품질, 안전성, 일정 효율성 및 지속 가능성 등을 소유자와 프로젝트 팀에게 제공할 수 있다는 것이다.

또한 설계자는 모듈의 공장제작, 운반, 현장조립 프로세스에 대해 숙지하고 설계할 것을 권고하고 있으며, 설계 시 중요하게 염두에 두어야 할 사항으로 프로젝트의 목표 달성을 위한 OSC 방식의 도입 필요성, 전 생산과정(공장제작, 운반, 현장조립 등)에 참여하는 이해관계자들의 통합, 현장 내의 작업 간의 조화, 설계 과정에서 세부사항 결정시 제조업체 및 시공업체와 협력, 설계변경 최소화, 제조업체와의 협력을 통해 제조과정의 리드 타임 단축, 모듈의 적시 운반, 안전·품질·공기·공사비 측면을 고려한 적절한 조립작업 계획 등을 언급하였다.¹²⁸⁾

한편 미국 모듈러빌딩협회(MBI, Modular Building Institute)는 조립식·모듈식 건설공사에 대한 가이드를 제공하고 있다. 'Multifamily Modular Construction Toolkit'은 모듈식 건설 방법 개요, 다세대 모듈식 건설 산업 분석, 모듈식 건설의 장점과 과제, 모듈식을 선택하는 개발자를 위한 고려 사항, 모범 사례 및 사례 연구 등에 대한 내용이며, 'Prefabrication and Modular Construction 2020'은 조립 및 모듈식 건설에 대한 현재와 미래의 기대에 대한 포괄적인 검토 내용으로 구성되며 사전 제작 및 모듈식 건설 방법을 활용하고 있는 설계자, 엔지니어 및 건설업자의 통찰력을 바탕으로 이러한 방법을 사용할 때의 중요한 동인, 장애물 및 이점을 자세히 기술하였다.

텍사스대 건설산업연구소(CII, Construction Industry Institute)는 벙커 등 100여개 종합 건설사들이 공동 출자한 건설전문 연구기관이다. 공공 및 민간 부문의 130개 이상의 주요 소유주, 엔지니어링 계약자 및 공급업체로 구성된 컨소시엄으로 1983년 10월 세계 시장에서 미국 건설산업 경쟁력을 향상시키기 위한 목적으로 설립되었다. CII는 모듈화를 위한 현장 전문인력 양성을 위해 2030 기능인력 교육을 추진하고 있으며 민간 기업들로부터 펀딩을 받아 온라인 교육 프로그램 개발을 계획하고 있다.¹²⁹⁾

127) 정서영(2021), 'OSC 프로젝트의 최적 설계안 선정을 위한 DfMA 평가모델', 광운대학교 박사학위논문

128) AIA, 'Design for modular construction: An introduction for architects'

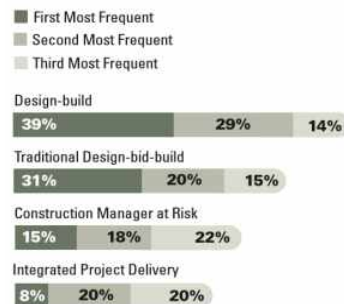
129) 김태형. (2019). 노동인구 감소시대...한국도 '모듈화' 놓치면 쇠퇴의 길. 대한경제신문. 4월 1일 기사.
http://dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201903291727560740576(검색일: 23.07.13)

◆ 건설기업의 업무방식 혁신 사례 : DPR Construction의 발주 혁명

- DPR의 프로젝트 관리방식은 ‘프리콘(Pre-Construction)’으로 발주자와 설계자, 시공자, 협력사가 프로젝트의 기획과 설계 단계부터 하나의 팀으로 움직여 시공성이 반영된 설계 도출이 가능하고 프로젝트에 대한 발주자와 협력사의 이해도가 높아지며, 공사기간과 공사비 감축 가능
- * 미국에서는 프리콘 방식인 ‘CM/GC’ 발주가 일반화되어 있으며 미국 도급순위 상위 20개사의 전체 매출 가운데 ‘CM/GC’의 비중이 절반 이상을 차지함
- * Dodge Data & Analytics사의 조사결과에서 모듈러 건설방식의 활용시 채택된 발주방식으로 가장 많이 쓰이는 것은 국내 기술형입찰에 해당하는 Design-Build방식(39%)으로 나타나고 있으며, 발주방식별 모듈러 건설을 가능하게 하는 효과(도움)는 통합발주방식(Integrated Project Delivery)과 Design-Build 방식이 76%~79%로 비슷한 것으로 파악됨¹³⁰⁾
- DPR은 빅데이터와 AI를 활용해 최적의 단가와 공정계획을 최단 시간에 산출하고, 설계 진행에 따른 실시간 견적시스템을 운영하며, 협력사와 함께 쓸 수 있는 범용 솔루션을 사용
- * 3차원 실시간 건설관리정보시스템(PMIS), 드론을 통한 실시간 공사물량 집계, 증강현실(AR) 기반 품질 관리, 클라우드 기반 실시간 3D 정보 공유 등

Frequency of Project Delivery Method When Modular Construction Was Used (Last 3 Years)

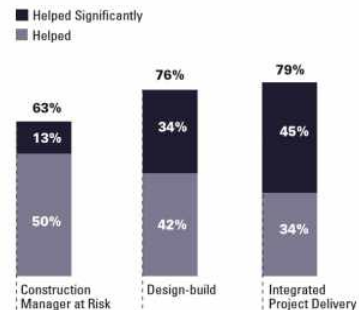
Dodge Data & Analytics, 2020



모듈러 건설을 위한 발주방식별 활용빈도

Degree to Which Modular Construction Was Enabled by Project Delivery Method (By Company Type)

Dodge Data & Analytics, 2020



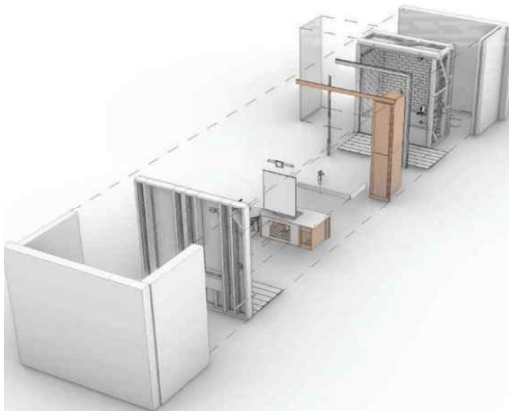
발주방식별 모듈러 건설 효과 정도

출처: 김태형. (2019). 글로벌 혁신기업에 한국형 스마트건설의 길을 묻다. 대한경제신문. 4월 4일 기사.
http://dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201904031518442410979(검색일: 23.07.13)

130) 모듈러건설 시장 및 기술동향, 2020.8. VOL 2., Smart Construction Report

※ DfMA 적용 사례 : 미국 라스베이거스 K90 다세대주택 프로젝트¹³¹⁾

- 'K90 프로젝트'는 대규모 다단계 개발 프로젝트의 일환으로 공기 단축이 핵심 목표였으며 일반적으로 140일 이상 소요되는 기간을 DfMA를 적용함으로써 90일 이내로 단축하고 공사비 또한 절감
- 적재적소에 필요한 물품을 필요한 양만큼 만들어 정체되지 않는 효율적 흐름을 유지하는 칸반 (kanban) 시스템을 도입하여 건설전반 과정을 제조 공장처럼 취급
- DfMA를 적용함으로써 프로젝트 초기에 설계가 완전히 마무리되어야 하기 때문에 벽면, 바닥 패널, 욕실 및 주방 키트 등을 포함하는 반복되는 건축물 요소의 작업과정과 문제점을 파악하여 운송 및 설치에 최적화된 모듈을 디자인
- 재설계가 필요 없도록 반복성 높은 요소를 표준화하여 대량생산하는 데 초점을 맞춰 시공 조립 과정을 3D 모델화하여 시공 전 계획을 개선하는 한편 각각의 건축물 요소에 KPN이라는 부품 번호를 매겨 재료를 쉽게 파악하고 자재의 현장 도착 시기를 효율적으로 관리



[그림 4-26] K90 프로젝트

출처: 김정인, 이유진. (2020). 건설생산성 향상을 위한 DfMA 해외 적용 사례 소개. BIM Activities In Korea, p.8-11

131) 김정인, 이유진. (2020). 건설생산성 향상을 위한 DfMA 해외 적용 사례 소개. BIM Activities In Korea, p.8-11

6) 일본

□ 일본의 OSC 산업 개요

일본은 전후 신속한 복구사업과 함께 고도성장기 도시근로자 주택 수요가 증가하면서 그 해법으로 PC 공법을 도입하였으며, PC 조립공법은 1947년 ‘프레콘’이라는 이름으로 상품화되었고 1961년 타이세이건설이 벽식 PC공법을 도입하면서 공동주택 건설에 널리 활용하였다. 1950~1960년대 유닛 하우스 연구를 통해 1955년 조립식 주택이 처음 등장한데 이어 1960년대에는 강재 및 목재 조립식 주택이 등장하였다.

조립식 주택은 1970년대 오일쇼크로 수요가 급감하였다가 1980년대 토요타홈이 강재 조립식 주택으로 시장에 진출하면서 내진 성능, 친환경, 자동생산화에 대한 연구도 발전하였다. 1985년 동경 신주쿠 주택 개발에 초고층 PC공법이 적용되었으며, 현재는 고층 주택, 관공서, 창고, 경기장 등의 건설에 PC공법이 보편적으로 사용되고 있고, 부재 단위 PC공법의 발전과 더불어 유닛 단위 OSC도 활성화되어 있다.¹³²⁾

□ 일본의 OSC 산업 관련 정책

2016년 일본 정부는 모든 건설생산과정에 IT기술을 활용하는 i-Construction 정책 발표하고,¹³³⁾ 건설산업의 생산성 하락과 인력난, 고령화 문제 해결을 위해 정보통신기술(ICT)을 활용하여 2025년까지 건설산업 생산성을 20% 높이는 목표를 설정하였다. 건설현장 기계화, 표준화를 위해 생산성을 높이겠다는 정책 실효성을 높이기 위해 일본 정부는 일정 규모 이상인 공공 건설공사에는 IT 기술이 적용된 건설장비를 활용하는 조건으로 발주한다. ICT 도입에 따른 기업의 추가 비용을 인정해주고 각종 인센티브를 제공하는 한편 IT 기술이 건설현장에 적용될 수 있도록 각종 건설기준도 개정하고 있다.

◆ ‘i-Construction’의 주요내용

1. 조사·설계·시공 과정에서 IT 기술 활용
 - 측량 등 조사과정은 드론 등을 활용해 3D 형태로 구현
 - 설계는 BIM 또는 VR(가상현실) 장비 등을 활용해 자동화
 - 시공현장에서는 IoT(사물인터넷)로 연결된 무인건설기계를 투입해 인력을 최소화
2. 시공물 사양의 규격화 : 각종 콘크리트 구조물은 규격화해 공장제작이 가능하도록 함
3. 시공 일정의 표준화 : 공사기간 표준화

출처: 권해석, (2019). 스마트 건설 속도 높이는 日 정부...민간은 전력질주. 건설경제신문, 2월12일 기사: http://fuzor.co.kr/bbs/board.php?bo_table=bim&wr_id=109(검색일: 23.07.13)

132) 정서영(2021), ‘OSC 프로젝트의 최적 설계안 선정을 위한 DfMA 평가모델’, 광운대학교 박사학위논문을 참고하여 정리

133) 김태형·정회훈·권해석, (2019). 생산성 혁명! 스마트 건설이 온다. 대한경제신문, 1월 2일 기사. <https://www.dnews.co.kr/uhtml/view.jsp?idxno=201812261055335640171>(검색일: 23.08.28)

인구구조 변화에 따른 위기 징후와 생산성 향상 필요성은 정부보다 민간에서 먼저 감지되어 'I-Construction' 정책 상당 부분은 이미 민간에서 추진되고 있었으며, 설계를 최적화하고 규격을 표준화해 건설생산 시스템을 효율화해 생산성을 높이고자 정보통신기술을 활용한 무인화 공정을 확대하여 건설현장의 공장화를 추진하는 등 민간기업 자체적으로 스마트 건설 원천 기술 확보 노력이 이어져 왔다.

건축현장에서는 모듈러 주택과 같이 공장에서 제작하고 현장에서 조립하는 방식이 증가 추세이며, 건설현장에 ICT를 적극 도입하여 로봇, 자동화, 모듈화 기술을 폭넓게 사용하고 있으며, 공기 및 인력 절감 효과를 거두고 있다. 일본 건설사들이 스마트 건설분야 원천기술 확보에 나선 이유는 인구감소로 노동력이 줄어든 상황에서 스마트 건설이 생산성 극대화를 위한 유일한 수단이라고 여기기 때문이며 인력난에 대비해 장기적으로 건설현장을 제조업처럼 공장화해야 한다는 목표를 가지고 있기 때문이다.

◆ '스마트 건설 시스템' 도입을 통한 비용 절감 사례

- 다케나카 공무점은 골조공사 단계에서 진행하는 철근조립에 'RCS'* 라는 빌딩정보모델링(BIM) 소프트웨어를 개발해 적용함으로써 약 30%의 비용절감 효과를 거두고 있으며 최신 벤처 기술이 집중되는 실리콘밸리에 직원을 파견하고 사내에 '디지털건설팀'을 마련하여 필요한 스마트 기술을 직접 개발하고 있음
- * RCS 프로그램 : 설계단계에서 철근 직경, 개수, 벽체 등을 고려한 철근 조립방식 확인 가능

출처: 권해석, (2019). 스마트 기술 연으로 실리콘 밸리로 달려가는 일본 건설사. 대한경제신문. 1월12일 기사: https://m.dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201812201719507330856(검색일: 23.07.13)

□ PC 품질 관리를 위한 공장인증제 도입

일본에서는 모듈러 건축만을 위한 성능제도는 없으며 건축물이나 건축 재료에 대해 구조 및 성능을 미리 인정함으로써 건축확인 신청 또는 검사의 간소화가 가능하도록 하는 '형식적합 인정제도', '형식부재 등 제조자 인증제도'를 운영하고 있으며 그 변천과정은 다음과 같다.¹³⁴⁾

1970년대 초 프리패브 주택의 결함 문제로 공업화주택 성능 인정 제도의 필요성이 제기되어 1973년 '건설대신인정 공업화주택성능인정제도'가 도입되었고 1987년 일본건축센터로 이관 되면서 '일본건축센터인정 공업화주택성능인정제도'로 변경 운영되었으며, 2000년 건축기준법, 주택품질확보의 촉진등에 관한 법률(이하 '품질확보법') 제정 및 시행에 따라 기존 제도 폐지 후 형식적합인정제도, 주택형식성능인정제도를 마련하여 운영하고 있다.

「건축기준법」에 따른 '형식적합인정제도'는 「건축기준법」제68조10에 근거하며 건축물(또는 부분)이 구조내력, 방화·피난 등의 규정에 적합하다는 것을 미리 '지정인정기관'¹³⁵⁾으로부터 인정받는 제도로 표준 사양에 의한 주택, 엘리베이터, 정화조, 환기설비 등이 대상에 해당한다.

134) 배규용, 박금성, 이상섭, 광명근, 부윤섭, 민기요 (2019). 모듈러 건축 성능인정 제도 도입(안)에 관한 연구. 한국건설기술연구원. pp.35-38

135) 지정인정기관(건축기준법 제77조38) : 일본건축센터, 건재시험센터, 베타리빙, 일본건축종합시험소, 일본 건축설비·승강센터, 일본주택·목재기술센터, 일본막구조협회, 일본ERI 등 8개 기관

「품질확보법」에 따라 주택을 대상으로 하는 ‘주택형식성능인정제도’는 주택이나 주택의 일부분에 대해 구조, 열화, 온열, 채광, 유닛배스 등의 성능을 등록인정기관¹³⁶⁾으로부터 인정받아 개별 주택의 성능평가심사를 간소화하는 제도이며, ‘형식주택부분등 제조자인증제도’는 형식인증을 취득한 주택의 제조에 관련된 품질관리방법을 심사하고 그 제조자를 인증하는 제도로 건축확인·검사 및 주택성능평가 절차가 더욱 간소화되었다.

모듈러공법은 주로 주택에 적용되고 있어 3층 이하의 모듈러주택에 대해 형식적합인정이 실시되며 ‘세키스이화학(세키스이하임)’, ‘토요타홈’, ‘미사와홈’ 등 세 개 기업을 중심으로 이루어진다. 프리패브 건축협회 통계에 따르면 2017년 기준 신축 단독주택 426,369호(국토교통성, 건축착공통계조사) 중 프리패브 주택은 52,177호로 약 12.2%를 차지하며, 프리패브 주택 중 모듈러 주택은 목구조 1,610호, 스틸구조 12,092호로 약 26%를 차지한다.

PC의 경우 ‘공장인증제’를 도입·운영하고 있다.¹³⁷⁾ 사단법인 프리패브건축협회는 정부와 소통하면서 여러 제도개선을 이뤄왔고, PC 공장 인증을 통해 PC 품질 확보에 노력을 기울이고 있다. 공장인증제도는 고강도 PC를 만들 수 있는 공장과 일반 콘크리트 강도의 PC를 만드는 공장으로 구분해서 운영된다.¹³⁸⁾

일본에서는 벽체를 통해 하중을 버티는 벽식구조인 ‘W-PC 공법’(벽식프리캐스트)과 기둥, 보로 하중을 버티는 라멘구조의 ‘R-PC 공법’(라멘프리캐스트), 마지막으로 두 가지의 장점을 조합한 ‘WR-PC 공법’(벽식라멘프리캐스트) 세 가지의 PC 공법이 일반적으로 쓰이고 있다. 일본의 국토교통부는 고시를 통해 W-PC 공법의 경우 5층 규모 주택까지, R-PC 공법은 50~60층 초고층 주택에도 사용할 수 있도록 했으며 WR-PC 공법은 15층까지 설계할 수 있도록 규정하고 있는데,¹³⁹⁾ 이는 우리나라가 PC 구조 건축물의 한계 층수를 15층(45m) 이하로 일괄적으로 제한하는 것과 대비된다.

136) 등록인정기관 : 베타리빙, 일본건축센터, 건재시험센터, 일본주택·목재기술센터, 일본ERI 등 5개 기관

137) 김민수. (2022). 250만호 주택공급, PC공법으로 해결해야, 대한경제신문. 9월 26일 기사.
<https://www.dnews.co.kr/uhtml/view.jsp?idxno=202209241921542030292>(검색일: 23.07.13)

138) 2022 OSC 국제 심포지엄, 정장원 동서PCC 대표

139) 김민수. (2022). 탈현장 건설 전성시대 활짝...2027년 200兆 시장 열린다. 대한경제신문. 9월 26일 기사.
https://m.dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=202209241803148100290(검색일: 23.07.13)

7) DfMA 기반 건축 제도 및 정책 사례의 시사점

□ 건설산업 혁신을 위한 DfMA 도입

• 건설산업 혁신 주체 구분

조사 대상 국가들은 건설인력 부족 등 건설산업 여건 변화와 스마트 기술 발전 양상을 반영하여 각국의 여건에 맞게 건설산업 혁신을 통한 산업경쟁력 강화를 추진하고 있으며, 추진 주체에 따라 정부주도형, 민간주도형, 민관협력형으로 구분할 수 있다.

싱가포르의 경우 정부가 주도적으로 건설산업 혁신을 추진하는 사례이다. 정책수립주체로서 건설청(BCA)과 산하 BIM위원회, BCA아카데미 등 체계적인 정부조직을 갖추고 있으며 또한 주택개발청(HDB)은 정부 정책을 반영한 연구·개발 및 건설사업 수행을 통해 적극적인 정책 실행주체 역할을 하고 있다. 미국은 민간 부분에서 건설산업 경쟁력 확보를 위해 적극적인 노력을 경주하고 있어 민간주도형 사례에 해당한다. 세계 최대의 건설시장으로서 'OSC'는 경쟁력 확보를 위한 필연적 선택으로 인식하고 있으며 이에 따라 AIA, CII, MBI 등 민간단체에서 관련 지침과 기준을 만드는데 선도적 역할을 하고 있다.

영국과 홍콩, 일본은 민관협력형 사례로 볼 수 있으며 정부의 비전 제시와 함께 민관협력기구를 통해 정책 추진 전략과 실행방안을 구체화하고 있다. 영국 정부는 건설산업 혁신을 위한 국가 정책을 꾸준히 제시하고 산업계, 학계, 정책입안자로 구성된 디지털 건설센터(CDBB)를 설치해 지원하고 있다. 또한 제조기술센터(MTC), 영국건설연구소(BRE) 등과 함께 건설혁신허브(CIH)로 기능하고 있다. 홍콩은 영국, 싱가포르를 선례로 삼아 적극적인 건설혁신정책을 추진하고 있으며 정부, 업계, 학계 등 이해관계자 참여하는 DfMA Alliance를 구성하여 정부와 업계의 조정자 역할을 수행하였으나 현재는 점차 정부주도 형태의 MiC 활성화 정책으로 전환하고 있다.

• 건설산업 혁신을 위한 핵심 전략으로서 DfMA

시장 변화와 기술 발전에 따라 건설산업 혁신을 위한 전략도 변화하고 있다. 크게 스마트 기술을 활용해 건설 생산성 향상을 도모하는 단계, 모듈러를 필두로 하는 건설산업의 제조업화 추진 단계, DfMA를 도입하여 디자인과 데이터를 통합 관리하는 단계로 진전이 이루어지고 있다.

첫 단계로 각국은 건설산업의 생산성 향상을 위해 스마트기술을 적극 도입하였다. 조사 대상인 영국, 싱가포르, 홍콩, 미국은 공통적으로 건설산업 혁신의 핵심 요건으로서 BIM 활성화 정책을 추진하였다. 영국은 디지털 혁신으로 빠르게 변화하는 건설 환경에 대응하기 위해 CDBB를 설립하여 글로벌 BIM의 선두주자가 되었고 국가 디지털트윈 프로그램을 추진하기도

했다. 싱가포르는 건설생산성 향상을 위해 BIM을 적극 장려하고 BCA 산하에 BIM 운영위원회를 두어 활용도 제고를 위해 노력하고 있다. 일본의 경우 건설산업의 가용 노동력 감소에 대응하기 위해 건설현장에 정보통신기술을 적극 도입하여 생산성 향상을 도모하는 'I Construction' 정책을 추진하고 있다.

두 번째 단계에서는 OSC(모듈러)를 도입함으로써 건설산업의 제조업화를 도모하였다. 영국은 정부건설전략(2016-2020)에서 주택난 해결을 위한 실행방안으로 '모듈러'를 채택하고, 'Construction 2025'를 통해 스마트 건설 전략의 일환으로 BIM 활성화방안을 마련하였으며 '더 나은 2040년을 위한 영국의 전략'을 통해 OSC와 모듈식 공법에 투자하였다. 싱가포르는 1980년대 PC 도입 이후 2000년대에는 PBU를 도입하여 대부분의 건축물에 적용하고 있으며 배관 모듈러 박스(Prefab-MEP), 독립형 3차원 모듈(PPVC)을 활성화하고 있다. 홍콩은 공장 조립후 현장 설치 개념의 '모듈러 통합건설(MiC)'을 통해 건설생산성, 안전성, 지속가능성 향상을 지향하고 있다.

마지막 단계로 사업 초기부터 제조·조립을 고려한 설계로 건설산업의 생산성·품질·지속가능성·경제성을 향상시키는 수단으로서 DfMA를 도입하게 된다. 영국건축가협회(RIBA)는 건설 산업에 DfMA 도입 필요성에 대한 인식 하에 건설생산단계별 DfMA 적용 전략을 마련하고 (RIBA, 'DfMA Overlay to the RIBA Plan of Work') OSC 관련 제도체계의 일부로 포함하여 운영하고 있다. 싱가포르는 건설산업 혁신계획(2017)의 핵심영역으로 DfMA를 선정하고 활성화 정책 추진하고 있으며 DfMA 포함하는 BIM 가이드를 제공하고 있다. 홍콩은 건설산업 협회(CIC)는 MiC를 중심으로 DfMA적용 및 확산 활동을 진행하고 있다. 미국의 경우 민간 단체(미국건축가협회:AIA, 모듈러건축협회:MBI)를 중심으로 DfMA 도입 필요성에 대한 인식이 확산되고 있으며 DfMA 표준(ICC/MBI 1200)을 마련하고 AIA는 건축가를 위한 DfMA 가이드를 배포하였다.

□ 건설산업 혁신을 위한 규제 및 유인 정책 병행

조사 대상 국가들은 각국의 여건에 따라 OSC 및 DfMA 도입 촉진을 위해 규제를 도입하는 한편 다양한 인센티브를 운영하고 있다.

• 영국: 공공건축물 BIM 적용을 의무화 + 자금조달 보증

영국은 정부 발주 프로젝트에 한해 BIM 적용을 의무화하고 BIM 정보관리 운영체계에 관한 글로벌 표준(BSI, ISO 19650)을 마련하였으며 모듈러 건축 시스템에 대한 성능 및 검증 요구 사항에 대한 기준(BRE, BPS 7014)을 운영하는 한편 지원제도로써 새로운 방식의 OSC 건설 제품 또는 방식에 대한 자금 조달을 용이하게 하는 보증 제도(BOPAS)를 운영하고 있으며, 영국 정부의 건설산업 혁신 프로그램(건설혁신허브, CIH)을 통해 2018년부터 4년간 약 10조원 이상(7,200만 파운드)을 지원한다.

- 싱가포르: 공공건축사업 골조 65% PPVC적용, BIM의무적용(5,000㎡이상 민간건물 포함) + 건설생산성 펀드 지원

싱가포르는 공공건축물의 골조 65% 이상에 'PC'를 적용하도록 하고, 정부 토지 매각 조건으로 건립하는 주거 및 호텔의 경우 'PPVC' 채택, 공공발주사업의 경우 BIM 및 DfMA 적용, 연면적 5,000㎡ 이상인 공공 또는 민간 건축물에 대해서도 BIM 적용을 의무화하고 있으며 MAS 인증제도를 운영한다. 이와 함께 BIM(DfMA 포함) 가이드를 통해 활성화를 유도하고 BIM 어워즈를 통해 우수 프로젝트 및 기관을 포상하는 한편 건설기업에서 BIM과 모듈러 관련 장비에 투자하는 경우 자금 일부를 지원하고 건설생산성 펀드(CPCF)를 통해 PPVC에 대한 규제 완화 및 인센티브를 제공하고 있다.

- 홍콩: 300㎡이상 공공건축사업 MiC 의무적용, 사전승인제도 운영 + 건설혁신기금 지원

홍콩은 건설면적 300㎡ 이상 신축 건축물에 의무적으로 모듈러통합건설(MiC)을 적용하도록 하였으며, 사전승인제도를 운영을 통해 공공기관 관계자(전문감독원)가 사전에 공장을 방문, 성능을 확인하고 동시에 제조업체의 자발적 관리를 유도한다. 이와 함께 건설산업청(CIC)에서는 모듈러통합건설(MiC) 프로젝트 사업추진을 지원하기 위해 각종 법적 요건 검토를 위한 가이드를 제공하고, 건설혁신기금(CITF)을 통해 혁신적인 기술개발 및 인적역량 강화를 위해 노력하고 있다.

- 미국: DfMA 검사 표준 운영 + 기술규정

미국의 건축법(Building Code)은 '조립식 주택(모듈러 제외)'에 대한 규정만을 운영하고 있으나 ICC와 MBI가 공동으로 DfMA 및 검사 표준(1200, 1205)을 마련하였다. 또한 기존 방식과 다른 OSC 건축의 성능 수준을 규정하는 기술(성능) 기준을 운영하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 '주택'에 대해 각 지역별로 모듈러 건축 성능인정제도를 운영하는 한편 PC 품질 확보를 위해 미국 PC협회를 통해 공장인증제를 운영한다.

- 일본: 공장인증제 준용

일본은 PC 품질 제고를 위해 공장인증제(사단법인 프리패브건축협회)를 운영하고 있으나 모듈러건축만을 위한 별도의 성능인정제도는 없으며, 일부 모듈러주택 업체에서 주택 형식적합 인정을 실시하고 있다.

□ DfMA 활성화 지원 방안

DfMA의 산업적 확대 및 활성화 방안으로는 크게 두 가지 방향성을 갖는 것으로 정리할 수 있다. 첫째, 공공발주사업을 DfMA 건설방식으로 추진함으로써 선제적 실험과 데이터를 축적해 나가고 있다는 점과 둘째, 향후 민간시장으로 확대할 제도적 기반 구축 및 초기단계 인식전환을 위한 정책적 지원에 초점을 두고 있다는 점이다. 특히 모듈러에 대한 부정적 인식을 해소하고 한계를

극복하기 위해 디자인 수준 향상(각종 수상전 제도 운영)에 가치를 부여하며 스마트기술의 결합으로 품질에 대한 신뢰도를 높이고 있다.

다른 한편으로 DfMA에 대한 관계자의 인식 제고와 실무 지원을 위해서 각국의 관계기관에서 지침을 작성하여 배포하고 있다. 영국의 RIBA의 건설생산단계별 DfMA 적용 전략(DfMA Overlay to the RIBA Plan of Work), 싱가포르 BCA에서 발간한 PC, PPVC, PBU, MET, MEP 등 DfMA를 구성하는 각각의 기술에 대한 가이드, 홍콩은 기계, 전기 및 배관(MEP) 작업에 대한 DfMA 접근 방식 채택을 촉진하기 위한 실무 정보를 제공하는 DfMA 적용 가이드라인, 미국의 AIA 등 민간단체에서 마련한 DfMA 안내서 등이다.

□ DfMA 도입에 따른 건설사업 여건 변화 대응

DfMA는 설계자, 시공업체, 모듈제작업체의 협업을 절대적으로 요구하기 때문에 DfMA 기반 건축사업 특성에 부합하는 발주제도가 필요하다. 홍콩 MIC, 싱가포르 PPVC는 정부의 주도로 대다수 공공발주사업에 적용되며 발주자와 설계자의 계약으로 사업 초기단계 디자인 컨셉과 기본설계를 제공하지만, 기본설계 이후 시공사 컨소시엄을 통해 실시설계가 이루어진다. 소규모 건축물의 경우 Design Build 방식으로 설계자 또는 시공자가 설계 및 시공을 모두 추진할 수 있으며 사업의 규모나 성격에 따라 설계자나 시공자가 주도권을 갖도록 계약을 체결할 수 있다.

다음으로 DfMA 구현을 위해 설계 및 시공단계에 BIM 적용은 필수적이다. 홍콩과 싱가포르 정부는 각각 MIC와 PPVC 구현을 위한 기본사항으로 BIM 사용이 필수적임을 강조한다. 홍콩은 ArchSD와 CIC를 주축으로 BIM을 포함한 건설업체의 MIC 기술 교육을 추진, 확대하고 있으며, 싱가포르 BCA는 다양한 종류(구조, 설비, 건축, 마감)의 가이드라인을 개발, 제공하고 있다. 업계에서도 건축설계사무소 뿐 아니라 시공회사 및 제조업체 등 모든 사업관계업체가 BIM을 능숙하게 사용할 수 있는 자체 전문인력팀을 운영하고 있다.

또한 DfMA 기반 건축 구현을 위해서는 제조공장의 입지와 운송방법, 현장에서의 작업조건 등 인프라 환경 구축이 필요하다. 홍콩은 건설사가 직접 인근 중국 지역도시에 제조공장을 운영 하거나 별도의 제조공장과 계약을 체결하여 MIC 모듈을 생산하고 운반하고 있으며 싱가포르 또한 국토 및 인구자원이 풍부한 말레이시아에 공장이 위치하며 대부분의 PPVC 모듈이 해당 지역으로부터 운송되고 있다.

따라서 제조공장에서부터 건설현장까지 이동 과정의 각종 도로·교통 규제 및 요건 등을 사전에 점검하고 설계에 반영하며(모듈의 크기 등) 운송 시간 단축 및 운송과정 중 파손 방지를 위한 철저한 보호 조치가 요구된다. 도심지내 건설사업의 경우 공사현장 내부에 모듈시스템 적재가 어려우므로 가급적 운송과 조립이 동시에 순차적으로 이루어질 수 있도록 시공계획 수립이 필요하다.

제5장 DfMA 기반 건축 활성화 방안

- 1. 국내 DfMA 기반 건축의 쟁점
 - 2. DfMA 기반 건축 활성화 방안
-

1. 국내 DfMA 기반 건축의 쟁점

앞서 살펴본 DfMA건축의 특성과 국내 제도 및 정책현황, 산업여건, 전문가 인식조사, DfMA가 적용된 건축물 사례 분석과 해외 주요국의 정책 및 제도를 토대로 국내 DfMA 기반 건축 활성화의 걸림돌이 될 수 있는 쟁점을 크게 네 가지로 정리할 수 있다.

첫째 스마트건축 수요에 따른 BIM 활용 확대에 관한 사항, 둘째, 제품생산을 위한 표준설계 개발 및 공장 확보, 셋째, 설계단계에 모든 관계자의 참여가 가능한 동시 공학적 업무 추진 (협력)체계 구축, 넷째, 정확한 설계와 시공을 위한 DfMA 기술개발 및 정보구축을 위한 공공의 역할 확대에 관한 사항이다.

1) BIM 활용 확대 문제

DfMA 기반 건축은 정확한 설계를 필요로한다. 자동차산업에서 사용되는 3D 모델링 프로그램의 정교한 설계도가 곧 제품 제작도이듯 건축물의 제조·조립 설계도는 곧 공장에서 생산되는 건축부재의 제작도가 될 수 있어야한다. 이때 설계는 다양한 건축요건 시뮬레이션이 가능한 BIM을 일반적으로 활용한다. 가장 적절한 재료의 종류와 형태, 규격, 물량 등을 정하고 시공 중간섭을 사전에 체크하여 구조재와 설비장비의 오류를 검토할 수 있다. 결과적으로 불필요한 설계 및 공사변경을 예방하여 가장 효율적으로 설계과정의 의사결정을 돕는다.

문제는 아직까지 국내 설계사무소나 건설사의 BIM 사용비중이 낮다는 점이고 따라서 설계-제작-시공이 동시적으로 발생하는 DfMA 건축에서 각 업무 관계자들 간 BIM 협업 난항이

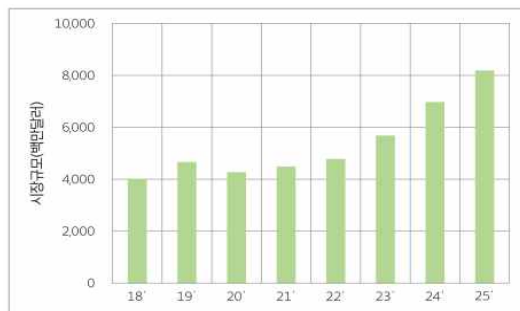
예측된다. 2021년 한국건설기술연구원의 BIM관련 설문조사에 따르면 우리나라의 경우 2025년 BIM 시장 규모는 2,300억원으로 예상하고 있으며 이는 해외 주요 국 대비 상대적으로 낮다. 또한 BIM의 중요성에 대한 인식은 증가하였으나 설계 및 시공, 유지관리의 BIM수준은 선진국 대비 50%에도 못 미치는 것으로 확인된다.

이러한 결과의 원인으로는 첫째 아직까지 건축산업에 보편적으로 활용 가능한 BIM 데이터가 부재하기 때문이다. BIM은 다양한 업무 관계자들이 공통의 환경에서 자유롭게 정보를 교환하고 소통할 수 있어야 하나 아직까지 국내 건축산업의 표준 데이터는 없다. 일부 대규모 업체들이 자체 라이브러리를 구축하여 운영하고 있는 실정이다.

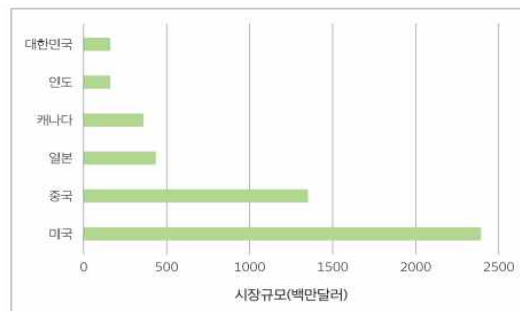


[그림 5-1] 전세계 BIM 활용현황

출처: 한국건설기술연구원 (2022). BIM Trend Report. 한국건설기술연구원 p.7



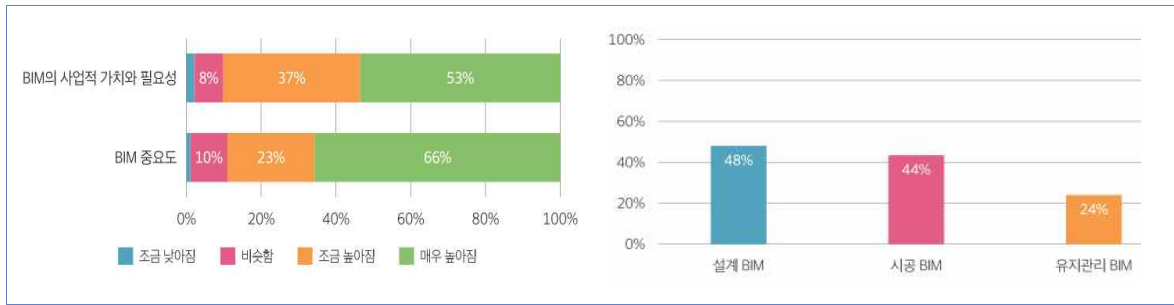
세계 BIM 시장 규모



국가별 BIM 시장 규모

[그림 5-2] BIM 시장규모

출처: 한국건설기술연구원 (2021). BIM Trend Report. 한국건설기술연구원 p.15



[그림 5-3] BIM의 사업적 가치와 필요성, 중요성에 대한 인식(좌)/ 선진국대비 단계별 국내 BIM수준(선진국:100)(우)

출처: 한국건설기술연구원 (2021). BIM Trend Report. 한국건설기술연구원 p.26

둘째, 이러한 환경에서 BIM 구현 소프트웨어에 지불해야하는 대가는 비용대비 효율성이 낮다고 판단하기 때문이다. 대표적인 BIM 프로그램에 해당하는 Autodesk사의 AEC Collection¹⁴⁰⁾의 구독료가 1인당 매월 567천원, 연간 4,533천원¹⁴¹⁾으로 사업체가 체감하는 비용부담이 크다. 특히 건축서비스산업 사업체 연간 매출액(10억미만 75%이상)이나 건설사업체 매출액(15억미만 70%이상)을 감안할 때 확연한 산업 생산성으로 연결되지 않는다면 BIM의 활용확대는 지체될 가능성이 크다. 이처럼 취약한 BIM 활용수준은 곧 DfMA 기반 건축 활성화를 저해하는 원인이 될 수 있다.

2) 설계 표준화와 제조공장 확보 문제

제조공장의 입지와 운송방법, 현장에서의 작업조건은 DfMA 적용 기능여부를 결정하는 핵심 사안이다. 공장에서 제작된 제품 운송을 위해서는 운송장비의 제원이나 도로를 구성하는 시설의 물리적 조건과 각종 규제사항을 충족해야 하고 운송 중 충격으로 인한 제품 파손을 방지할 수 있는 도로의 안정성도 확보되어야 한다. 홍콩과 싱가포르 사례에서 확인한 바와 같이 자국 영토가 협소하거나 자국 내 노동력 확보가 어려운 경우 운송요건을 감안하여 중국, 말레이시아 등 외곽 지역에 위치한 공장과의 계약을 체결하여 제품을 공급받는다. 원도급 건설사는 자체 제조공장을 별도로 설립할 수도 있으나 공사물량과 현장 위치를 특정할 수 없는 경우 자체 공장이 대응 가능한 시간적·공간적 범위는 한계가 있다.

국내건축시장에서 DfMA 기반 건축 확산을 위해서도 이러한 제품 제조공장을 우선적으로 확보해야 한다. 아직까지 DfMA 기반 건축사업 물량이 적은 국내 시장에서 건설사가 자체

140) Autodesk AEC Collection은 클라우드 기반 공통 데이터 환경에서 지원되는 BIM 및 CAD 도구 세트

141) Autodesk 홈페이지 https://www.autodesk.co.kr/collections/architecture-engineering-construction/*overview?mktvar002=4876117|SEM|11507291907|143361429285|kwd=425056153614&utm_source=GGL&utm_medium=SEM&utm_campaign=GGL_AEC_AEC-Collection_APAC_KR_Form-Fill_s_SEM_BR_New_PH_0000_4876117_Product&utm_id=4876117&utm_term=kwd=425056153614&ef_id=ZFwvnAAJGnnzHABL:20230908012737:s&term=1-YEAR&tab=subscription(검색일: 2023.09.01.)

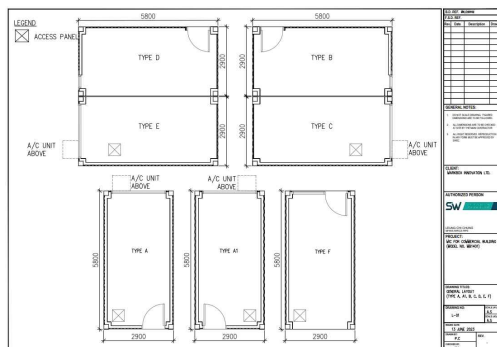
제조공장을 운영하는 것은 사업성 측면에서 리스크가 크다. 이에 지역별 사업물량을 고려한 거점 전문제조공장 설립을 검토할 필요가 있다. 이 경우 해당 시설 설립 및 운영 주체의 설정, 지속가능한 운영전략을 마련해야하고 특히 그 역할 주체를 공공으로 설정한다면 당위성 뿐 아니라 합리적인 지원 범위와 방법 등에 대한 충분한 논의가 필요하다.

한편 제조공장 확보는 건축부재의 표준화 문제와 관계가 깊다. 제조공장은 기본 생산물량을 확보해야하는데 제품규격이나 성능표준이 있다면 보다 경제적으로 시설을 운영하고 지속성을 담보할 수 있다. 관련하여 「건축서비스산업 진흥법」 제10조를 통해 건축물 등에 사용하는 자재의 표준화 연구 및 보급 시책을 추진할 수 있도록 명시하고 있으므로 DfMA 기반 건축에 활용 가능한 Level 1~4에 이르는 조립용 부재 표준설계 개발이 필요하다. 앞서 살펴본 홍콩 정부의 MiC사전승인용 용도별 표준도면이나, BIM설계를 위한 표준화된 라이브러리 구축 또한 동일한 목적의 일환으로 이해할 수 있다.

◆ 건축서비스산업진흥법

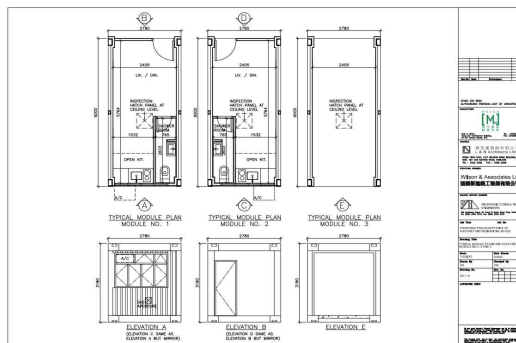
제10조(표준화 기반조성) 국토교통부장관은 건축서비스산업의 발전을 위하여 다음 각 호의 표준화 연구 및 보급 시책을 추진할 수 있다.

1. 설계정보·설계기준 및 설계도서 양식의 표준화
2. 건축물등에 사용하는 자재의 표준화
3. 설계자 선정방식 및 절차의 표준화
4. 그 밖에 대통령령으로 정하는 사항



[그림 5-4] 상업용 건축을 위한 승인된 MIC

출처: Buildings Department



[그림 5-5] 주거용 건축을 위한 승인된 MIC

출처: Buildings Department

3) 건축 관계자 협업체계 구축 문제

DfMA 건축의 성공을 위한 요건은 설계자와 제조업체, 시공자가 함께 디자인과정에 참여할 수 있어야한다는 점이다. 「건축법」 제23조와 「건설산업기본법」 제41조에 따라 건축설계는 건축사가, 공사는 건설업자가 수행해야 하는 것으로 업무를 구분하고 있어 원칙적으로 DfMA 기반 건축사업 추진 요건에 제도가 상응하지 못하는 실정이다. 다만 '기술제안입찰 등에

의한 낙찰자 결정 세부기준'에 따라 기본설계 기술제안입찰을 적용할 수 있어 실시설계단계에서 시공사 등 관계자와 협업이 가능하다.

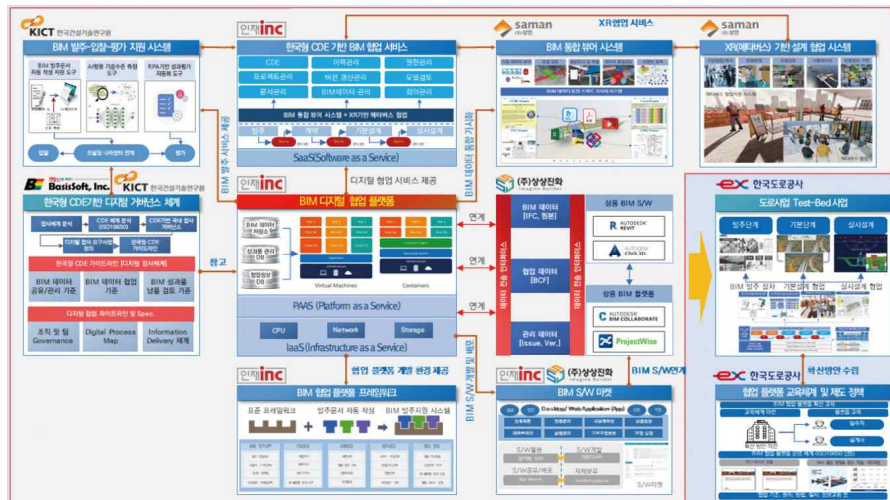
그러나 일반적으로 기본설계רחם은 건축허가 수준 또는 큰 틀에서 설계 방향이 정해진 상태라 할 수 있고 따라서 실시설계단계의 기술제안 과정에서 상당부분 설계변경이 발생할 가능성이 높다. DfMA 건축은 계획 초기에 최적의 재료와 제작 및 조립방법이 고려되어야 한다는 점에서 이후 발생하는 변경과정은 효과를 반감시킬 뿐만 아니라 설계자의 설계의도 변경에 대한 논쟁으로 이어질 가능성도 크다.

◆ 「기술제안입찰 등에 의한 낙찰자 결정 세부기준」 제4조(입찰에 관한 서류의 열람·교부 등)

계약담당공무원이 현장설명참가자에게 열람 또는 교부할 서류는 다음 각호와 같으며, 지정정보처리장치(국가 종합전자조달시스템) 또는 수요기관의 홈페이지에 게재함으로써 입찰에 참가하고자 하는 자에 대한 열람 또는 교부로 갈음할 수 있다. 다만, 입찰에 참가하고자 하는 자가 전자문서 등으로 요구하는 경우에는 전자문서 등으로 교부하여야 하며, 이 경우 소정의 금액을 납부토록 할 수 있다.

1. 입찰안내서
2. 기본설계서(기본설계 기술제안입찰에 한함)
3. 실시설계서(실시설계 기술제안입찰에 한함)
4. 기술제안서 평가를 위한 세부기준
5. 낙찰자결정방법 등에 관한사항(기술제안점수·입찰가격점수의 산출방법 등)
6. 기타 필요한 사항

한편 건축관계자 간 협업은 국내업체에 한정하지 않는다. 국제적으로도 ISO 19650과 같은 BIM 기반의 공통기준의 협업플랫폼을 토대로 신속한 업무수행이 가능하다. 빠르게 전개되는 산업디지털화로 이러한 업무방식은 확대될 것이고 기술을 활용한 정교한 설계를 필요로 하는 DfMA 기반 건축에 있어 협업의 요구와 수요 또한 점점 증가할 것으로 예측된다. 따라서 사업발주 방식 뿐 아니라 계약체결 이후 협업체계 구축 방안을 모색해야 한다.



[그림 5-6] BIM기반 발주-설계 프로세스 협업 플랫폼 개발 체계도

출처: 한국건설기술연구원 (2022). BIM Trend Report Vol6. 한국건설기술연구원 p.54

4) 공공의 역할 문제

국내 건축분야 설계 및 엔지니어링, 인테리어 등 서비스산업 관련 사업체수 30,972개('21년기준), 건물 관련 건설업 사업체수 52,794개('19년 기준)에 이르지만 BIM을 활용하고 있는 서비스업은 1,600개, 실제 제조·조립 방식의 시공에 주력하고 있는 업체는 50개소에 못 미친다. 또한 3장에서 살펴본 바와 같이 '23년 기준, 5년간 공업화주택을 인정받은 사업체수는 7개에 불과하다. 이러한 현상은 아직까지 담보상태인 국내 DfMA 기반 건축 산업의 실태이며 현실적으로 관련 산업의 시장수요가 크지 않다는 것으로 이해할 수 있다.

관련하여 해외 주요국의 정책제도 사례에서 살펴본 바와 같이, 사회·경제적 파급력이 크면서 혁신기술 개발과 보급 확산이 필요한 산업분야는 정부의 전략적 지원정책이 선행·병행되면서 성장하였고, DfMA는 그 대표적인 사례다. 공공건축사업을 발주할 때 특정 공정은 DfMA를 적용하거나 일정 규모 이상은 BIM설계를 의무화한 것은 정부의 전략적 대응의 예라 할 수 있다. 그 과정에서 새로운 기술개발 및 정보의 생산·구축·서비스가 이루어지고 지속되며 민간시장으로의 확산됨으로써 산업활동의 토대로 작동하게 되는 것이다. 여기서 민간시장에 정부의 선제적 개입에 관한 논쟁이 있을 수 있으나 건축·건설을 둘러싼 여러 경제·사회·환경 문제는 정부가 추진해야 할 국내의 주요 현안과도 맞닿아 있다.

[표 5-1] DfMA 기반 건축의 쟁점 및 대응방향

DfMA의 목적 및 기대효과	요건 (해외사례)	국내 현황	쟁점
정교한 설계를 통한 시공성 향상으로 공사비용 절감 및 공사기간 단축	건설산업 혁신을 위한 스마트기술 적극 도입 → BIM의무적용	BIM 도입 수준 저조 디지털설계정보 부족	① 스마트기술의 결합 → BIM 활용 확대 방안
안전한 작업환경(공장)업을 통한 시공 품질 향상 및 안전성 제고	제조공장 및 운송시스템 구축 → 공장인증, 제조업체 지원	대량생산 가능 공장 부재 도로울 최저	② 제조업으로서 건축 → 표준설계 및 거점 전문제조 공장 확보
노동력·생산성·리스크 관리 수준 향상	기술개발을 위한 공공건축물 시범사업 추진 → 공공건축물 설계·시공통합발주	공공발주 DfMA 기반 건축사업 미흡	③ 동시 협업형 건축 → 설계-시공 통합모델 개발
자원낭비, 폐기물 발생 최소화 환경문제 대응	전문성 강화를 위한 정보제공 → 각종 가이드라인 개발	DfMA 기반 건축 인식부족, 가이드라인 부재	③ 기술개발이 필요한 건축 → 공공의 선제적 투자

출처: 연구진작성

2. DfMA 기반 건축 활성화 방안

1) 지역 거점 제조시설 건립 지원

1. 「건설산업기본법 시행령」 [별표 1], 전문공사를 시공하는 업종에 ‘제조조립공사업’ 추가 신설, 한국표준 산업분류 ‘(가칭)제조조립 공사업’ 추가 신설

2. 지역거점 제조조립 공장 건립 지원 규정 마련

우선적으로 「건설산업기본법 시행령」 별표1을 통해 건축물 제조업체를 전문공사업종으로 추가 신설하고 ‘한국표준산업분류’에도 반영해야 한다. 현재 전문공사업종은 여러 업을 복수로 수행할 수 있으나 디자인 솔루션을 제공하며 Level 2~4단계의 제품설계생산 및 현장조립을 시행할 수 있는 업종은 현행 전문업체와 확연히 차별성을 가진다.

[표 5-2] 건설산업기본법 시행령 [별표 1], 전문공사를 시공하는 업종

건설업종	업무분야
가. 지반조성 · 포장공사업	1) 토공사 / 2) 포장공사 / 3) 보링 · 그라우팅 · 파일공사
나. 실내건축공사업	실내건축공사
다. 금속 · 창호 · 지붕 · 건축물조립공사업	1) 금속구조물 · 창호 · 온실공사 2) 지붕판금 · 건축물조립공사
라. 도장 · 습식 · 방수 · 석공사업	1) 도장공사 / 2) 습식 · 방수공사 / 3) 석공사
마. 조경식재 · 시설물공사업	1) 조경식재공사 2) 조경시설물설치공사
바. 철근 · 콘크리트공사업	철근 · 콘크리트공사
사. 구조물해체 · 비계공사업	구조물해체 · 비계공사
아. 상 · 하수도설비공사업	상하수도설비공사
자. 철도 · 궤도공사업	철도 · 궤도공사
차. 철강구조물공사업	철강구조물공사
카. 수중 · 준설공사업	1) 수중공사 / 2) 준설공사
타. 송강기 · 석도공사업	1) 송강기설치공사 / 2) 석도설치공사
파. 기계설비 · 가스공사업	1) 기계설비공사 / 2) 가스시설공사(제1종)
하. 가스 · 난방공사업	1) 가스시설공사(제2종) / 2) 가스시설공사(제3종) 3) 난방공사(제1종) / 4) 난방공사(제2종) / 5) 난방공사(제3종)
거. 시설물유지관리업	
↓	
(추가 신설) 너. 제조조립공사업	건축골조, 설비, 공간부재의 설계와 제작 및 조립, 현장시공을 수행하는 업체

또한 앞서 언급한 바와 같이 DfMA 기반 건축 활성화를 위해서는 설계안을 구현할 수 있는 제품제조시설의 지원이 필수적이다. DfMA 건축공장은 현행 공업화건축의 BIM 프로그램 호환으로 일정부분 자동생산이 가능해야하고 제품성능 테스트 및 제조, 운송장비의 이동이

가능한 충분한 공간을 확보해야 한다. 이는 건축시장 및 DfMA 건축수요분석을 통해 지역별 거점시설로 조성가능하며, 시설 설립과 관련하여 부지임대 또는 금융지원 등의 정책적 지원 방안을 모색할 필요가 있다.

이를 위해 현행 「지역중소기업 육성 및 혁신촉진 등에 관한 법률」 제11조(지역중소기업 육성 및 혁신촉진을 위한 지원사업 등)에 근거하여 거점공장 건립 항목을 추가하고, 또한 제12조(지역혁신 선도기업의 육성 등)제4항 대통령령에 DfMA 기반 건축 특성에 부합하는 업체 선정의 근거규정(설계, 시공, 유지관리 관련 업무 내용 추가)을 마련한다.

◆ 「지역중소기업 육성 및 혁신촉진 등에 관한 법률」

제11조(지역중소기업 육성 및 혁신촉진을 위한 지원사업 등) ① 중소벤처기업부장관은 지역중소기업의 육성 및 혁신을 촉진하고 지역산업 경쟁력 강화 및 지역경제 발전을 위하여 다음 각 호의 지원사업을 추진할 수 있다.

1. 지역중소기업의 창업 활성화
2. 지역중소기업의 육성 및 혁신촉진에 필요한 연구개발
3. 지역중소기업 육성 및 혁신촉진을 위한 기반 및 환경조성
4. 개발된 기술의 이전 및 사업화 촉진
5. 지역중소기업의 인력 양성
6. 지역중소기업 제품의 판로 확보
7. 지역중소기업의 수출 또는 해외시장진출 등 국제협력 지원
8. 그 밖에 지역중소기업의 육성 및 혁신촉진에 필요한 사업으로서 대통령령으로 정하는 사업(하략)

제12조(지역혁신 선도기업의 육성 등) ① 수도권 외의 지역을 관할하는 시·도지사는 고용안정, 수출증대 등 관할 지역의 산업과 경제에 미치는 영향이 크거나 우수한 혁신역량과 성장 가능성을 보유한 지역중소기업을 지역혁신 선도기업으로 선정하여 다음 각 호의 사항에 관한 사업을 할 수 있다.

1. 지역혁신 선도기업의 중장기 발전을 위한 전략의 수립 지원
 2. 재정, 금융 등 행정적·기술적·재정적 지원
 3. 기술·인력·금융·경영·해외진출 등 사업에 대한 지원 및 분야별 전문가의 파견·알선
 4. 특허, 기술동향 등 기술혁신을 위한 정보의 제공
 5. 해외진출 전략에 대한 지도 및 자문
 6. 그 밖에 지역혁신 선도기업으로의 성장을 촉진하기 위하여 필요한 사항
- ② 중소벤처기업부장관은 제1항에 따른 사업을 지원하기 위한 행정적·재정적 지원 등을 할 수 있다.
- ③ 시·도지사는 제1항의 선정을 받은 기업에 대하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 유효기간을 정하여 지역 혁신 선도기업 선정서를 발급할 수 있다.
- ④ 지역혁신 선도기업의 선정 요건 및 절차, 지원 등에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

[표 5-3] 지역중소기업 육성 및 혁신촉진 등에 관한 법률 시행령 개정안

현행	개정(안)
「지역중소기업 육성 및 혁신촉진 등에 관한 법률 시행령」	-----
제12조(지역혁신 선도기업의 선정 및 지원) ① 시·도지사는 법 제12조제1항에 따라 지역혁신 선도기업을 선정 하려는 경우에는 다음 각 호의 요건을 고려해야 한다.	-----
1. 「지방자치분권 및 지역균형발전에 관한 특별법」 제14조제1항에 따라 선정된 지역특화산업을 경영하는 해당 시·도 지역중소기업의 고용증가와 수출증대 등을 선도할 역량이 있을 것	-----
2. 지역중소기업과의 공동 연구개발, 생산 및 판매 등 협업을 통해 지역의 자립적 성장 기반을 마련하고 지속발전을 선도할 역량이 있을 것	2. 지역중소기업과의 공동 연구개발, 설계 , 생산 및 판매, 시공, 유지관리 등 협업을 통해 지역의 자립적 성장 기반을 마련하고 지속발전을 선도할 역량이 있을 것
3. 그 밖에 동종업체와 비교하여 수입대체 효과 및 시장 점유율 확대 등이 비교우위에 있을 것	-----

2) BIM 공유데이터 구축 및 민간 활용 지원

1. 정부주도의 BIM 활용 확대 기반 마련

- BIM 표준모델(프레임워크, 라이브러리) 개발
- BIM기본지침의 DfMA 기반 건축편 추가

코로나 이후 건축분야에 있어 BIM의 활용 증가는 국제적으로 나타나는 업무방식의 변화 양상이다. 이는 자국 내 산업 분야 뿐 아니라 국제 사회와 상호 데이터 연결 및 공유를 통해 시장을 확대해 나갈 수 있고, 보다 직접적으로는 데이터기반의 정확한 설계와 시공 오류 및 재시공 방지, 그에 따른 공사기간 및 비용절감과 생산성을 향상시킬 수 있으며 부족한 건설 시장 인력문제의 대안이 될 수 있기 때문이다.

4장에서 살펴본 바와 같이 영국을 필두로 싱가포르, 베트남, 미국, 유럽 등 주요 국가들은 건축 건설분야의 BIM 활용을 공공주도로 확산해가고 있다.¹⁴²⁾ 영국의 경우 2008년 금융위기 이후 2016년까지 모든 공공 프로젝트에 BIM 레벨2를 의무화했고 싱가포르도 2010년 BIM 정책을 도입하고 관련 기업에 보조금을 지급하고 있으며 2015년에는 5,000 제곱미터 이상의 프로젝트에 대해 BIM 계획을 의무화한 상태다.

이들 국가에서 DfMA 기반 건축 시장이 활성화될 수 있는 원인은 정부주도의 BIM 활용 확대 전략과 무관하지 않다. 특히나 BIM 활용이 불모지나 다름없는 국내 건축시장 여건을 감안할 때 정부의 선제적인 BIM 활성화 지원은 필수과제라 할 수 있다. 즉 DfMA 기반 건축 활성화 목적 또한 BIM 활용 확대방안과 함께 모색되어야 하는 것이다.

이에 현재 국토부가 발간 배포하고 있는 'BIM기본지침'을 토대로 DfMA 기반 건축을 위한 BIM 관련 요령, 해설 등을 추가 하며, BIM설계도서 의무 제출을 요구하는 공공발주사업에 적용 가능한 (Level 1~4)BIM 프레임워크, 표준 라이브러리 개발도 필요하다. 이때 글로벌 데이터 공유 전략을 마련, 정보를 축적함으로써 민간시장으로의 확산을 선도해야 한다.



[그림 5-6] BIM지침 확충 방안

출처: 국토교통부, (2022.12.), 건설공사 BIM 시행지침을 참고하여 연구진 작성

142) Design & make 홈페이지 <https://redshift.autodesk.co.kr/articles/global-bim-kr>(검색일: 2023.08.14.)

3) 데이터 축적을 위한 공공발주사업 확대

1. 공공분야 DfMA 기반 건축 기술개발 (Level에 따른 기술 고도화)
2. 공공분야 DfMA 기반 건축사업 실증사업 확대 및 데이터 축적

설계와 시공이 동시에 이루어질 때 최적의 효과를 발휘할 수 있는 DfMA 기반 건축은 다양한 사업사례의 기술노하우를 참고하고 동시에 새로운 정보도 생산해야한다. 싱가포르나 홍콩 정부 관계자 인터뷰¹⁴³⁾에 따르면 정부가 추진하는 공공발주사업은 DfMA 공법을 의무적으로 반영하도록 유도하고 있으며 사업추진 과정의 데이터 및 준공 결과는 더 나은 기술, 공법과 디자인 개발, 제도 및 정책 발굴을 위한 자료로 활용한다는 것이다.

싱가포르 정부가 공공분야 발주사업에서 DfMA 의무화 비율을 '65%' 이상으로 설정하게 된 근거 또한 활용 가능한 데이터를 충분히 확보하고 있었기 때문이다. 참고로 싱가포르 주택 개발청(HDB)의 경우 이미 콘크리트 구조부재의 약 70%를 프리캐스트로 시공하고 있으며 그간 축적된 기술적 경험을 바탕으로 자체 브랜드(HDB Precast Building System)도 개발하였다. 이러한 기술자료 및 노하우는 산업관계자 교육 및 각종 지침 등에 반영되어 민간 시장으로 확산되고 있다.

이에, 우리나라 LH 및 지자체별 주택개발공사 등에서 시행되는 공동주택을 대상으로 점진적인 DfMA 기반 건축사업으로의 전환을 시도함으로써 국내 건축문화에 상응하는 차별적인 사업 모델 개발이 필요하다. 예를 들어 온돌 설치가 필수적인 국내 건축기술요건을 감안하여, 공장제작 및 운송, 조립과정의 어려움을 분석하고 품질과 비용면에서 효과적인 설계·시공 기술을 개발하고 관련 데이터를 구축하는 것이다.

현재 「건설기술 진흥법」 제2장은 '건설기술의 연구개발 지원'에 관한 규정을 명시하고 협약 기관을 통해 다양한 기술개발 및 시범사업이 추진되고 있는바, 이를 토대로 DfMA 기반 건축 활성화를 위한 기술개발 및 데이터 구축 정책을 수립하고 시행해야 한다. 특히 국가 R&D 사업으로 추진되어온 모듈러건축을 제조조립 수준(Level 1~4)별로 세분함으로써 국내 산업활동 여건에 대응 가능한 대안을 마련해야 한다.

◆ 「건설기술진흥법」 제2장 건설기술의 연구·개발 지원 등

제7조(건설기술 연구·개발 사업), 제8조(건설기술의 연구·개발 등의 권고), 제9조(공동 연구·개발 등), 제10조(연구시설 및 장비의 지원 등), 제10조의2(융·복합건설기술의 활성화), 제11조(기술평가기관), 제12조(시범사업의 실시), 제13조(개발기술의 활용 권고), 제14조(신기술의 지정·활용 등), 제14조의2(신기술사용협약), 제15조(신기술 지정의 취소), 제16조(외국 도입 건설기술의 관리), 제17조(국제 교류 및 협력), 제18조(건설기술 정보체계의 구축), 제19조(건설공사 지원 통합정보체계의 구축)

143) '23.07.09~07.16국의 출장보고서(홍콩 ArchSD, 싱가포르 BCA)

4) 공공주도의 설계-시공 협업 사업모델 개발

1. 건축물 용도 및 규모에 따른 디자인빌드(Design Build) 사업모델 다양화

공공발주사업은 DfMA 기반 건축물의 단위 부재, 부품 유닛을 단순한 물품으로 구매하는 방식에서 벗어나 공장생산 과정을 전체적인 건축물의 생산과정에 포함하여 포괄적으로 계약이 이루어질 수 있는 별도의 발주방식 확대에 이어진다. 설계와 시공 분리 발주를 원칙으로하는 국내 공공발주사업의 경우 최근 스마트건설기술 적용 시 턴키발주가 가능하도록 관련 기준(「대형공사 등의 입찰방법 심의기준」)을 개정함으로써 DfMA 방식의 건설사업추진 환경이 마련한 바 있다¹⁴⁴⁾

한 발 더 나아가 사업의 종류(용도나 규모 등)에 따라 디자인빌드방식(Design-Build) 방식을 다양화하여 설계주도의 통합발주, 또는 시공중심의 통합발주 등 다양한 사업모델 개발도 검토해야 한다. 특히 소규모 사업체가 대부분이고 500제곱미터 이하 소규모 건축물이 80%이상이며 기존 건축물 리모델링사업이 증가하고 있는 국내 건축산업 구조를 고려할 때 공공건축사업의 디자인빌드형 사업모델 개발은 필수적인 과제라 할 수 있다.

이에 현재 건축주 직영 공사가 가능한 200제곱미터 이하의 비주거시설 및 다중이 이용하는 시설을 제외한 시설에 우선적으로 디자인 빌드 방식을 적용하여 설계자가 시공을, 시공자가 설계를 할 수 있도록 「건설산업기본법」을 개정할 필요가 있다. 다만 설계의 경우 현행 「건축법」 제23조제4항, ‘표준설계도서 등의 운영에 관한 규칙 제1조의2’에 따라 특수한 공법을 적용한 설계로 인정할 수 있어 시공자 주도의 디자인빌드방식 적용이 가능하다.

[표 5-4] 「건설산업기본법」 개정안

현행	개정(안)
「건설산업기본법」 제41조(건설공사 시공자의 제한) ① 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 건축물의 건축 또는 대수선(大修繕)에 관한 건설공사(제9조제1항 단서에 따른 경미한 건설공사는 제외한다. 이하 이 조에서 같다)는 건설사업자가 하여야 한다. 다만, 다음 각 호 외의 건설공사와 농업용, 축산업용 건축물 등 대통령령으로 정하는 건축물의 건설공사는 건축주가 직접 시공하거나 건설사업자에게 도급하여야 한다.	「건설산업기본법」 제41조(건설공사 시공자의 제한) ①
1. 연면적이 200제곱미터를 초과하는 건축물	----- 다만, 다음
2. 연면적이 200제곱미터 이하인 건축물로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 경우	각 호 외의 건설공사와 농업용, 축산업용 건축물 등 대통령령으로 정하는 건축물의 건설공사는 건축주가 직접 시공하거나 건설사업자 또는 설계자에게 도급하여야 한다.
가. 「건축법」에 따른 공동주택	-----
나. 「건축법」에 따른 단독주택 중 다중주택, 다가구주택, 공	(좌동)
관, 그 밖에 대통령령으로 정하는 경우	-----
다. 주거용 외의 건축물로서 많은 사람이 이용하는 건축물 중 학교, 병원 등 대통령령으로 정하는 건축물	-----

144) 국토교통부 보도자료(2019.2.25.), ‘스마트건설기술을 적용한 일반공사도 턴키 발주 가능’

5) DfMA 기반 건축 특례 마련

1. DfMA 기반 건축 민간시장 확대를 위한 건축기준(용적률 등) 완화

홍콩과 싱가포르는 DfMA 기반 건축의 민간시장 확대를 위해 해당 공법을 사용할 경우 용적률 10%의 인센티브를 부여하고 있다. 이러한 정책은 임대료가 높은 홍콩과 싱가포르에서 호응이 높고, 향후 민간 시장에서의 사업 확대 가능성을 높일 수 있는 수단으로 평가하고 있다.

이러한 정부주도의 DfMA 기반 건축 확산 전략은 국내에서도 효과를 기대할 수 있다. 예를 들어 역세권 내 분양목적의 집합건축물에 용적률 10% 상향 특례가 주어진다면 DfMA 방식의 건축사업 추진 가능성이 높아진다. 이를 위해서는 「건축법」 제5조 및 동법 시행령 제6조의 완화기준에 DfMA 기반 건축을 포함시켜야 한다. 이 경우 용적률 뿐만 아니라 건폐율, 높이제한, 대지안의 공지 등에 관한 규정도 함께 완화받게 된다.

한편 「건축법」 제6조의2는 특수구조 건축물의 특례에 관한 규정으로, 동법시행령 제2조 제18호 및 특수구조 건축물 대상기준에서 특수구조 건축물의 범위를 설명하고 있다. 「특수구조건축물 대상기준」 제1호의 경우 설계·시공·공법이 특수한 구조형식인 건축물을 포괄하고 있으므로 본 연구의 DfMA 기반 건축 또한 본 규정에 포함될 수 있도록 대상을 특정할 필요가 있다.

◆ 「건축법」 제5조(적용의 완화)

- ① 건축주, 설계자, 공사시공자 또는 공사감리자(이하 “건축관계자”라 한다)는 업무를 수행할 때 이 법을 적용하는 것이 매우 불합리하다고 인정되는 대지나 건축물로서 대통령령으로 정하는 것에 대하여는 이 법의 기준을 완화하여 적용할 것을 허가권자에게 요청할 수 있다.
- ② 제1항에 따른 요청을 받은 허가권자는 건축위원회의 심의를 거쳐 완화 여부와 적용 범위를 결정하고 그 결과를 신청인에게 알려야 한다.
- ③ 제1항과 제2항에 따른 요청 및 결정의 절차와 그 밖에 필요한 사항은 해당 지방자치단체의 조례로 정한다.

◆ 「건축법시행령」 제6조(적용의 완화)

- ①법 제5조제1항에 따라 완화하여 적용하는 건축물 및 기준은 다음 각 호와 같다.
1~12호 생략

↓ (추가신설)

13. 건축물의 구조나 마감, 설비 등을 제조·조립을 위한 설계(Design for Manufacturing and Assembly)를 적용하여 건축하는 경우 : 법 제55조, 제56조, 제58조, 제60조, 제61조제2항에 따른 기준

◆ 「건축법」 제6조의2(특수구조 건축물의 특례)

건축물의 구조, 재료, 형식, 공법 등이 특수한 대통령령으로 정하는 건축물(이하 “특수구조 건축물”이라 한다)은 제4조, 제4조의2부터 제4조의8까지, 제5조부터 제9조까지, 제11조, 제14조, 제19조, 제21조부터 제25조까지, 제40조, 제41조, 제48조, 제48조의2, 제49조, 제50조, 제50조의2, 제51조, 제52조, 제52조의2, 제52조의4, 제53조, 제62조부터 제64조까지, 제65조의2, 제67조, 제68조 및 제84조를 적용할 때 대통령령으로 정하는

바에 따라 강화 또는 변경하여 적용할 수 있다.

◆ 「건축법 시행령」 제2조(정의)

18. “특수구조 건축물”이란 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 건축물을 말한다.

가. 한쪽 끝은 고정되고 다른 끝은 지지(支持)되지 아니한 구조로 된 보·차양 등이 외벽(외벽이 없는 경우에는 외곽 기둥을 말한다)의 중심선으로부터 3미터 이상 돌출된 건축물

나. 기둥과 기둥 사이의 거리(기둥의 중심선 사이의 거리를 말하며, 기둥이 없는 경우에는 내력벽과 내력벽의 중심선 사이의 거리를 말한다. 이하 같다)가 20미터 이상인 건축물

다. 특수한 설계·시공·공법 등이 필요한 건축물로서 국토교통부장관이 정하여 고시하는 구조로 된 건축물

「특수구조 건축물 대상기준」

제2조(특수구조 건축물) 특수구조 건축물은 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 건축물을 말한다.

1. 건축물의 주요구조부가 공업화박판강구조(PEB : Pre-Engineered Metal Building System), 강관 입체트러스(스페이스프레임), 막 구조, 케이블 구조, 부유식구조 등 설계·시공·공법이 특수한 구조형식인 건축물

2. 6개층 이상을 지지하는 기둥이나 벽체의 하중이 슬래브나 보에 전이되는 건축물(전이와 있는 층의 바닥면적 중 50퍼센트 이상에 해당하는 면적이 필로티 등으로 상하부 구조가 다르게 계획되어 있는 경우로 한정한다.)

3. 건축물의 주요구조부에 면진·제진장치를 사용한 건축물

4. 건축구조기준에 따른 허용응력설계법, 허용강도설계법, 강도설계법 또는 한계상태설계법에 의하여 설계되지 않은 건축물

5. 건축구조기준의 지진력 저항시스템 중 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 시스템을 적용한 건축물
가. 철근콘크리트 특수전단벽

나. 철골 특수중심가새골조

다. 합성 특수중심가새골조

라. 합성 특수전단벽

마. 철골 특수강판전단벽

바. 철골 특수모멘트골조

사. 합성 특수모멘트골조

아. 철근콘크리트 특수모멘트골조

자. 특수모멘트골조를 가진 이중골조 시스템

↓ (추가신설)

6. 제조조립을 위한 설계(Design for Manufacturing and Assembly)시스템을 적용한 건축물

6) 인식개선을 위한 정보 제공

1. 산업종사자 및 발주자 가이드라인개발
2. DfMA 기반 우수 건축물 수상전 운영
3. DfMA 기반 건축물 사례집 제작 홍보

국내에서는 Level 4의 모듈러 건축이 컨테이너박스로 제작되어 공사현장 가설사무소나 농막, 일반 건축물의 부속시설 등으로 활용되는 모습에 익숙하다. 재난 등 비상상황 발생 시 이재민에게 제공되는 행정안전부의 임시주거용 조립주택 또한 최소한의 거주기능 수단으로 활용된다. 이처럼 공장에서 생산되는 모듈러가 종합 디자인된 건축물이라는 생각보다 필요에 의해 공급되는 물품으로 인식되는 것이 일반적인 상황이다.



[그림 5-8] 임시주거용 조립주택

출처: 임시주거용 조립주택 운영지침, 행정안전부고시 제2023-14호, [별표 2] 임시주거용 조립주택 표준설계도면

2003년부터 학교, 병영시설, 주거시설에 모듈러가 독자적인 건축기법으로 그 지위를 확보하였으나 시장은 확대되지 못했다. 그러나 1~2세대를 거쳐 3세대에 이르기까지 꾸준한 연구개발이 이루어졌고 상당 수준 설계 및 공법도 향상되었다. 2022년 LH 주도로 시행된 행복도시 6-3생활권 공동주택 건립의 경우 전체 세대를 모듈러공법으로 계획하였으며 설계공모로 당선안을 결정했으며 이를 통해 단위세대 유닛의 다양성 뿐 아니라 외관디자인의 우수성도 확보했다.

다만, 당시 공모결과가 인터넷 등 언론을 통해 보도되었으나 업계 및 일반 대중의 관심이 증가하지는 않았다. 아직까지 모듈러에 대한 부정적 이미지 전환이 이루어지지 못한 상황에서 다양한 수단을 활용한 우수 사례 소개와 홍보가 요구된다. 스마트시티, 모듈러를 포함한 스마트건축 효과를 광범위하고 체계적으로 소개하는 등 사회적 관심과 이슈화를 유도할 수단을 함께 강구해야한다.

먼저 영국 RIBA의 ‘업무단계별 DfMA 적용 전략(DfMA Overlay to the RIBA Plan of Work)’, 싱가포르 BCA의 PC, PPVC, PBU, MET, MEP 등 DfMA를 구성하는 각각의 기술 가이드, 홍콩의 DfMA 채택을 촉진하기 위한 기계, 전기 및 배관(MEP) 작업 실무 정보제공 가이드라인, 미국 AIA 및 민간단체의 DfMA 안내서 등을 참고로 국내 실무용 DfMA 기반 건축 안내 및 교육을 위한 가이드라인을 개발하고 보급확대해야 한다. 더불어 DFMA 어워즈 운영(우수프로젝트 및 기관 포상), 건축 사례집 제작 및 배포 등 누구나 쉽게 파악할 수 있는 형태의 정보생산 및 서비스를 통해 생활 속에서 체감할 수 있는 산업활성화 지원 방안을 모색해야 한다.

[표 5-5] DfMA 기반 건축 활성화 방안

쟁점 및 대응 방향	정책목표	정책실행방안	제도개선안
① 제조업으로서 건축 → 표준설계 및 거점 제조공장 확보	1. 전문제조업체 육성 2. 거점 제조공장 건립지원	1. 전문공사업 신설 ‘(가칭)제조조립공사업’ 2. 지역거점 제조공장 건립 지원 3. 표준설계 개발	1. 「건설산업기본법 시행령」 별표1 개정 2. 한국표준산업분류 개정 4. 「지역중소기업 육성 및 혁신 촉진 등에 관한 법률 시행령」 12조 개정
② 스마트기술의 결합 → BIM 활용 확대 방안	1. 공공주도의 BIM 활용 확대 기반 마련 2. 데이터 축적을 위한 공공발주사업 확대	1. BIM 표준모델(프레임워크, 라이브러리) 개발 2. DfMA용 BIM지침개발 1. 공공분야 DfMA 기반 건축 기술개발 (Level에 따른 기술 고도화) 2. 공공분야 DfMA 기반 건축 사업 실증사업 확대 및 데이터 축적	- -
③ 동시 협업형 건축 → 설계-시공 통합모델 개발	1. 공공주도의 설계-시공 협업 사업모델 개발 2. DfMA 기반 건축 특례 마련	1. 설계-시공통합 발주모델 개발 2. 건축주직영공사 디자인빌 드방식 도입 1. 건축기준(용적률 등) 완화	1. 「건설산업기본법」 제41조 개정 1. 「건축법」 제5조, 「건축법 시행령」 제6조 개정 2. 특수구조 건축물 대상기준 개정
③ 기술개발이 필요한 건축 → 공공의 선제적 투자	1. DfMA 기반 건축 인식 개선을 정보 제공	1. 산업종사자 및 발주자 가이드 라인개발 2. DfMA 기반 우수 건축물 수상전 운영 3. DfMA 기반 건축물 사례집 제작 홍보	-

출처: 연구진작성

제6장 결론

- 1. 정책제언
 - 2. 향후과제
-

1. 정책제언

본 연구는 건축산업의 노동인력 감소, 생산성 및 품질저하, 건설현장 안전사고 지속, 폐기물 및 탄소 발생 증가 등 현장 중심의 기존 건축물 공사과정에서 제기되어 온 사회 경제, 환경 문제해결 수단으로 제조·조립을 위한 설계(DfMA) 기반 건축 활성화 방안 마련을 위해 추진되었다. 이를 위해 먼저 DfMA의 개념과 건축적 효과 및 산업적 활용가치를 검토하였고 이어 DfMA관련 국내 제도 및 정책현황, 산업 여건 등을 살펴 국내 건축산업 적용 방향을 정리하였다. 다음으로 국내외 DfMA 기반 건축물 준공 사례의 기법을 살펴보고 더불어 국외 주요국에서 시행 중인 정책·제도를 분석하고 시사점을 도출하였다. 이러한 과정을 종합하여 국내 DfMA 기반 건축활성화를 위한 정책제도적 방안을 제시하였다. 이를 요약하여 아래 여섯 가지로 정리할 수 있다.

첫째, 전문제조업체 육성 및 지역별 거점 제조시설 건립을 지원해야 한다.

DfMA 기반 건축은 제조업이 병행되는 건축방식으로, 설계 및 제조, 시공이 가능한 역량 있는 전문업체 육성이 우선되어야 한다. 또한 건축부재(제품)를 안정적으로 생산, 공급할 수 있는 자동화된 제조시설을 확보해야 하며 제품성능 테스트, 제조 후 운송의 이동이 용이한 충분한 작업·적재공간도 갖추어야 한다. 이러한 제조공장은 시장 물량에 따른 지역별 거점시설로 조성할 필요가 있다. 이 경우 공장건립을 위한 부지임대 또는 공사 및 운영을 위한 용자 등 정부차원의 정책지원이 필요하다. 이를 위한 제도적 근거로 「건설산업기본법」을 통한 전문 건설공사업 ‘(가칭)제조·조립 공사업’ 신설하고 산업표준(한국표준산업분류)에도 반영하며 「지역중소기업 육성 및 혁신촉진 등에 관한 법률 시행령」에 관련 산업 육성 지원 규정을

마련해야 한다.

둘째, 공공의 BIM 활용 가이드 개발과 공유데이터 구축을 통한 시장확대 노력이 필요하다.

국내 건축산업 BIM 활용여건을 고려할 때 정부주도의 선제적인 BIM 활용 확대 전략이 필요하다. 해외 주요국의 DfMA 기반 건축 시장이 성장할 수 있었던 원동력은 국가차원이 정책지원과 무관하지 않다. 이를 위해 DfMA 기반 건축을 고려한 BIM 표준모델(프레임워크, 라이브러리)과 BIM 기본지침 확충이 요구된다. 현재 국토교통부가 발간 배포하고 있는 'BIM 기본지침'을 토대로 DfMA 기반 건축 방법론에 상응하는 정보를 보완하고 배포함으로써 더 많은 수요자의 활용과 인식개선을 도모해야 한다. 또한 BIM 설계도서 의무 제출을 요구하는 공공발주사업에 적용 가능한 BIM 라이브러리 개발도 필요하다. 이때 글로벌 협업이 가능한 데이터 축적 및 공유 전략을 마련하고 서비스함으로써 향후 민간건축에 적용 확산 및 시장 확대를 선도해야 한다.

셋째, DfMA 기반 공공건축사업 발주를 확대하고 사업과정 및 결과 데이터를 축적하며 이를 활용한 기술개발 및 민간산업의 활용 확산에 기여해야 한다.

DfMA 기반 건축은 다양한 사업추진 경험과 그에 따른 결과 분석, 기술 노하우 축적이 요구된다. 이를 위해 공공사업물량이 충분한 공공기관(한국토지주택공사 등) 주도로 일정 비율의 물량을 DfMA 기반 건축 사업으로 추진함으로써 국내 건축산업 및 환경, 문화적 특성에 부합하는 차별적인 사업모델을 개발할 필요가 있다. 그 과정에서 DfMA에 관한 데이터를 추가 생산하고 축적하며 이를 활용한 새로운 기술 개발 및 산업적 활용이 가능하다. 해외 사례에서도 확인된 것처럼 디지털혁신기술이 요구되는 산업의 경우 민간시장의 자생적 성장을 기대하기에 앞서 공공의 선제적 지원이 선행되었다는 점을 참고할 때, DfMA 기반 건축기반이 취약한 국내에서도 다양한 공공사업모델 개발 및 체계적인 데이터 구축과 활용 확대 방안 모색이 필요하다.

넷째, 건축물 용도 및 규모에 따른 디자인빌드(Design Build) 사업모델을 도입해야 한다.

설계와 시공 분리 발주를 원칙으로 하는 국내 공공발주사업의 경우 최근 스마트건설기술 적용 시 턴키발주가 가능하도록 관련 기준(「대형공사 등의 입찰방법 심의기준」)을 개정함으로써 DfMA 방식의 건설사업 추진 여건이 마련되었다. 다만, 이는 대규모 공사에 제한적으로 적용 가능하다는 점에서 산업활성화 전략으로 한계가 있다. 이에 사업 종류(건축물 용도나 규모 등)에 따라 '설계 주도 통합발주', '시공 중심의 통합발주'가 가능한 '디자인빌드방식(Design-Build)' 방식을 개발을 제안했다. 우선적으로는 「건설산업기본법」에 근거한 건축주 직영공사에 한해 디자인빌드방식을 적용하며, 점진적인 사업확산 및 효과 검증을 거쳐 중, 대규모 공사로 확대할 수 있을 것으로 기대한다.

다섯째, 건축기준 특례를 마련함으로써 DfMA 기반 민간건축사업 추진 동력을 마련해야 한다.

공공주도로 DfMA 기반 건축이 본격 시행되고 있는 홍콩과 싱가포르에서는 민간시장으로의 확대를 위해 이를 적용한 사업에 대해 용적률 10%의 인센티브를 제공하고 있다. 이러한 정책은 건물 임대료가 높은 홍콩과 싱가포르에서 민간건축 사업으로의 확장성을 높일 수 있는 유용한 수단으로 평가되고 있다. 국내에서도 특정지역, 특수용도의 건축물(예를 들어 서울 역세권, 분양오피스텔)에 한해 용적률 10%를 상향할 수 있는 특례가 주어진다면 일반 공법에 우선하여 DfMA 기반 건축을 선택할 가능성이 크다. 이에 「건축법」 제5조 및 동법시행령 제6조에 DfMA 기반 건축을 포함시켜 용적률 뿐 아니라 용적률과 연동되는 건폐율, 높이제한, 대지안의 공지기준을 완화받을 수 있도록 법령 개정안을 제시하였다. 이어 더불어 일반 형식의 건축물과 차별화된 건축기준을 적용할 수 있도록 「특수구조건축물 대상기준」 제1호에 DfMA 기반 건축을 추가하였다.

여섯째, 인식개선을 위한 다양한 형태의 정보를 제공해야 한다.

국내에서 마주치는 DfMA 기반 건축물은 대체로 공사현장 가설사무소, 창고 및 공장, 일반 건축물 부속관리동 등이다. 이에 DfMA 기반 건축물은 그 자체로 독립성을 갖는 완성된 건축물이라기보다 특정 시설에 달린 부속용도, 단순한 형태의 가건물이라는 부정적 인식도 형성되어 있다. 이러한 인식은 일반 사용자 뿐 아니라 건축산업 종사자 또한 다르지 않다. 따라서 혁신기술이 접목된 DfMA 기반 건축 효과를 이해하고 선택의 폭을 넓히기 위해 정확한 정보를 제공할 필요가 있다. 산업종사자나 사업발주자에게는 건축 방법 및 절차, 기술 등 전문지식을, 일반 사용자의 경우 사업효과와 가치를 이해할 수 있는 다양한 사업사례소개자료 등을 제공해야 한다.

특히 DfMA 기반 건축 여건이 미흡한 국내 상황을 고려하여 DfMA 가이드 제작·배포, 어워즈 운영(우수프로젝트 및 기관 포상), 건축 사례집 제작 및 배포 등 누구나 쉽게 인지할 수 있는 형태의 정보를 생산하고 홍보해야 한다. 영국 RIBA에서 제공하는 ‘업무단계별 DfMA 적용 전략(DfMA Overlay to the RIBA Plan of Work)’, 싱가포르 BCA의 PC, PPVC, PBU, MET, MEP 등 DfMA를 구성하는 각각의 기술 가이드, 홍콩의 DfMA 채택을 촉진하기 위한 기계, 전기 및 배관(MEP) 작업 실무 정보제공 가이드라인, 미국 AIA 및 민간단체의 DfMA 안내서 등 다양한 가이드라인이 참고대상이 될 수 있다.

2. 향후과제

본 연구에서 제시한 DfMA 기반 건축 활성화 방안은 국내 건축산업이 당면한 현실이나 국내외적 산업정세를 고려할 때 모두 시급하게 추진되어야 할 과제다. 다만 DfMA에 관한 우리 건축산업의 기술수준, 시장 수요 등을 객관적 입체적으로 파악하고 정책적 수요나 필요성도 종합적으로 살펴 단계별로 점진적인 확산을 도모할 필요가 있다. 즉 가장 우선적으로 시급하게 고려되어야 할 정책과제를 정하고 누가 어떤 역할을 할지 중장기 실행전략을 마련해야 한다.

이중 단기에 비교적 용이하게 추진할 수 있는 정책과제로는 DfMA 기반 건축 가이드라인 개발이라 할 수 있다. 영국, 홍콩, 싱가포르, 미국 등 DfMA 기반 건축을 적극 추진 중인 국가의 가이드라인을 분석·참고하고, 국내 「건축법」 및 유관 법률에 따른 건축물 조성프로세스에 부합하는 공정별, 분야별 가이드라인을 개발해야 한다. DfMA 기반 건축사업의 발주 및 실행 방법, 관계자 협력네트워크 구성 등의 운영방안과 각종 기술솔루션 등 사용자별 콘텐츠 기획 및 시범제작을 우선적으로 시행할 필요가 있다.

이와 더불어 DfMA 기반 건축 BIM 라이브러리를 개발도 필요하다. BIM 활용이 저조한 원인에 대응하여, 정부주도의 데이터 공급수단으로서 BIM 라이브러리를 개발하는 것이다. 따라서 국제시장에서 통용되는 BIM 표준데이터를 수집 분석하고 체계화할 필요가 있으며 특히 설계단계 업무비중이 높은 DfMA 기반 건축 설계요소 개발과 공공-민간건축시장의 상호 활용방안도 연구해야 한다. 나아가 DfMA 기반 건축사업 협업을 위한 국제 BIM 데이터 공유 방안도 함께 모색해야 한다.

한편, 연구에서 제시한 과제와 더불어 DfMA 기반 건축의 제도적 활용도를 높이기 위해서는 시공성 및 생산성 평가제도를 개발해야 한다. 싱가포르 제도운영 사례에 따르면 건축물 용도 및 연면적 규모별 건축 허가에 앞서 사용자가 자체적으로 해당 건축물의 시공성을 평가하는데, 이때 DfMA를 평가항목에 포함시켜 제조 및 조립 비율을 높일 수 있도록 유도하고 있는데 국내에도 이러한 제도를 도입한다면 점수 등급별 건축기준 완화 범위를 차별화하거나 공공공사 입찰가점 등에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

[보고서·단행본]

김상호, 조시은, 오민정. (2022). 1인가구 증가에 대응한 소형 공동주거시설의 건축기준 정비 방안. 건축공간연구원.

김은희, 김상호, 조시은, 오민정. (2022). 2021년 건축서비스산업 실태조사, 건축공간연구원.

김은희, 김상호, 조시은, 유제연, 오민정. (2021). 스마트건축 산업화 모델 및 제도 기반 확충에 관한 연구. 건축공간연구원.

문현석, 이현동, 홍창희, 옥현, 김성진, 김태학, 원지선, 박승화, 김선겸, 이재욱, 김정수, 김지은, 신재영, 이종호, 김도영, 신상윤, 박상미, 고승철, 조보은, 이선민(2021). BIM 클러스터 운영 전략 로드맵 수립 및 연구기획. 한국건설기술연구원

박금성, 배규웅, 임석호, 허병욱, 이상섭, 곽명근, 백정훈, 정준수, 김은영, 채지용, 설옥제, 부윤섭, 이종호, (2019). 모듈러건축연구센터 전략연구, 한국건설기술연구원

배규웅, 박금성, 이상섭, 곽명근, 부윤섭, 민기요. (2019). 모듈러 건축 성능인정 제도 도입 (안)에 관한 연구. 한국건설기술연구원. 토지주택연구원

이지은, 강미연, 송찬균, 안현성, 양동석, 주재영, 천영수, (2020). 가족구성 변화를 고려한 가변형 모듈러 주택모델 연구,

환경부, 한국환경공단. (2020). 2019년도 전국 폐기물 발생 및 처리현황. 환경부, 한국환경공단

AIA, 'Design for modular construction: An introduction for architects'

BCA, Design for Manufacturing and Assembly(DfMA)

BIM Handbook, Third Edition

BSI, The role of Standards in offsite construction, 2019

Buildings Department, Fire Services Department, Water Supplies Department, Electrical and Mechanical Services Department, Transport Department, Environmental Protection Department, Customs and Excise Department

CIC, 'Reference Materials - Adopting DfMA for MEP Works', 2021.

CDBB, Four Futures, One Choice, Options for the Digital Built Britain of 2040. (2020.11.)

RIBA, DfMA Overlay to the RIBA Plan Work, 2nd Edition, 2021.

Wider Adoption of DfMA in MEP Works (1) - Ir WONG Chi Kwong (Vice President, Building Engineering (MEP), AECOM HK), DfMA MiMEP Tradeshow 2021.

[논문]

강인섭. "국내 도심지 소규모 공동주택을 위한 체적과 비체적의 통합 모듈러 건축설계." 국내 석사학위논문 충남대학교 대학원, 2022.8. p.21

강태웅. (2022). 공업화 주택 현황과 활용사례. 전원주택 라이프, 61p

김인호. (1999). DFMA의 개요 및 활용방안. 한국 CAD/CAM 학회지. 5(1)

김장욱, '모듈러 및 인공지능 기술을 적용한 지속가능한 건축설계기법', 2022년 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집 제42권 제1호 2.22.4. p.219

김정인, 이유진. (2020). 건설생산성 향상을 위한 DfMA 해외 적용 사례 소개. BIM Activities In Korea

김태완, 정서영, 유정호. (2022). DfMA(Design for Manufacture & Assembly) 새로운 건축 생산방식에서의 새로운 도전.

나경철, 김창덕. (2001), 협력설계를 통한 건설 프로세스 개선 방안. 한국건설관리학회논문집. 제2권 제4호, p.148

안정호, (2002), DfMA관련 소프트웨어와 미국 제조산업에 미친 영향, (사)한국CDE학회 2002 한국CAD/CAM학회학회지 Vol.8 No.3.

이진미, OSC 활성화를 위한 법제도 및 정책 사례, 대한건축학회논문집 Vol.38 No.3 (2022.3.) pp.3-12

이진미, OSC 활성화를 위한 선진국의 법 개정과 표준 신설 동향, 대한건축학회논문집 Vol.38 No.3, 2022.3 p.6

이진미. (2021). 중고층 모듈러 주택을 위한 PC 패널 디자인 가이드라인. 대한건축학회논문집 : Vol.37 No.02(2021-02), p.86

장건위. (2022), 조립식 건축 부자재 제작기기 디자인 연구:EPS 스틸메시 구조체 제작 용접기를 중심으로. 상명대학교 박사학위논문. p.11-12

- 장명수, 이명식, '그린-스마트 이동식 모듈러 교사 통합설계 프로세스에 관한 연구', 대한건축학회논문집 Vol.38 No.5, 2022.03. p.56
- 정서영. (2021). OSC 프로젝트의 최적 설계안 선정을 위한 DfMA 평가모델. 광운대학교 박사학위논문
- 천상현. (2017). 냉간성형강(C.F.S) 경량철골구조를 이용한 프리패브건축. 건축, 61(6)
- 현창호, 영국 Centre for Digital Built Britain(CDBB), 제어·로봇·시스템학회지 제26권 제4호 (2020.12.), p.108
- Alistair Gibb, 2001., Standardization and pre-assembly- distinguishing myth from reality using case study research, Taylor & Francis Journals, vol. 19(3), pages 307-315.
- Weisheng Lu, Jinying Xu, Jing Wang, Ke Chen, Shang Gao, (2020), Design for Manufacture and Assembly (DfMA) in construction: the old and the new, ARCHITECTURAL ENGINEERING AND DESIGN MANAGEMENT 2021, VOL. 17, NOS. 1-2, 77-91
- 榎本浩之, 藤原章弘, 伊藤翔, 藤生直人, 藤澤康仁, 丹羽博則.(2021). 都市木造の実現に向けた構造技術の開発. 大林組技術研究所報 No. 85

[정책·보도 자료]

- 건설산업연구원, 건설동향브리핑-건설정책 및 경영 동향 제19권 제3호, 2018.6. p.45
- 국토교통부 보도자료. (2019.02.25.). '스마트건설기술을 적용한 일반공사도 턴키 발주 가능'
- 국토교통부 보도자료. (2022.07.19.). 「스마트 건설 활성화 방안 S-Constction 2030」 추진.
- 국토교통부 보도자료. (2022.09.19.). 국내최대 규모 모듈러주택단지 세종시에 들어선다.
- 국토교통부. (2018). 건설 생산성 혁신 및 안전성 강화를 위한 스마트 건설기술 로드맵
- 국토교통부. (2018). 제5차 건설산업진흥기본계획
- 국토교통부. (2018). 제6차 건설기술진흥기본계획
- 국토교통부. (2020). 건설공사 BIM 기본지침
- 국토교통부. (2022). 건설공사 BIM 시행지침 : 발주자편
- 국토교통부. (2022). 건설산업 BIM 시행지침 설계자편
- 국토교통부. (2022). 건설산업 BIM 시행지침 시공자편
- 국토교통부. (2022). 스마트 건설 활성화 방안
- 모듈러건설 시장 및 기술동향, 2020.8. VOL 2., Smart Construction Report
- 한국건설기술연구원 모듈러건축연구센터. (2020), 똑똑하고 빠르게, 지속가능한 모듈러 건축.

한국건설기술연구원. (2022). BIM Trend Report. 한국건설기술연구원

한국건설기술연구원. (2023). 공업화주택 인정 업체 현황

한국건설기술연구원. 'Smart Construction Report' VOL.4, 2020.10.

한국건설기술연구원. 'Smart Construction Report' VOL.8, 2021.6.

한국과학기술기획평가원. (2019). 스마트 건설기술 개발사업

[인터넷 자료]

고용노동부 홈페이지 https://www.moel.go.kr/policy/policydata/view.do?bbs_seq=20210401122
(검색일: 2023.05.25.)

네이버 블로그 <https://blog.naver.com/haven313/50075636597>(검색일: 23.07.13.)

네이버 블로그 <https://m.blog.naver.com/PostView.naver?isHttpsRedirect=true&blogId=hyphen1&logNo=80189143575>(검색일: 2023.05.25.)

네이버 포스트 <https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=16198835&memberNo=25154814>(검색일: 2023.04.13.)

네이버뉴스 홈페이지 <https://n.news.naver.com/mnews/article/001/0007061677>(검색일: 23.07.13.)

대한건축사협회 건축사신문 홈페이지 <http://www.ancnews.kr/news/articleView.html?idxno=10234>
(검색일: 2023.01.20.)

문화뉴스 홈페이지 <https://www.mhns.co.kr/news/articleView.html?idxno=405317>(검색일: 23.07.13.)

서울경제 홈페이지 <https://www.sedaily.com/NewsView/26EZL99T0O>(검색일: 2023.08.14.)

자원순환마루(자원순환정보시스템) 홈페이지 <https://www.recycling-info.or.kr/rrs/stat/envStatList.do?menuNo=M13020201>(검색일:2023.08.14.)

조달청 나라장터 홈페이지 <https://www.g2b.go.kr:8053/main/main.do>(검색일: 2023.04.13.)

통계청 홈페이지 https://kssc.kostat.go.kr:8443/ksscNew_web/index.jsp#(검색일:2023.08.29.)

펜N마이크 홈페이지 <https://www.pennmike.com/news/articleView.html?idxno=50997>
(검색일: 2023.01.20.)

한국건설기술연구원 홈페이지 https://www.kict.re.kr/board.es?mid=a10105060000&bid=pressrls&list_no=14537&act=view(검색일:2023.05.25.)

한국건설신문 홈페이지 <http://www.conslove.co.kr/news/articleView.html?idxno=77564>
(검색일: 2023.04.13.)

한국경제 홈페이지 <https://www.hankyung.com/press-release/article/202204262182P>
(검색일: 2023.05.25.)

한국도로공사 홈페이지 <https://www.ex.co.kr/>(검색일: 2023.05.25.)

AIA 홈페이지 <https://www.aia.org/showcases/76821-ng-teng-fong-general-hospital-jurong-commun>(검색일: 2023.09.06.)

Archello 홈페이지 <https://archello.com/project/crowne-plaza-extension>(검색일: 2023.08.28.)

Archello 홈페이지 <https://archello.com/story/80517/attachments/photos-videos/1>(검색일: 2023.09.06.)

Asia Property Awards 홈페이지 <https://www.asiapropertyawards.com/en/award/singapore/archive2020/>(검색일: 2023.08.29.)

Autodesk 홈페이지 https://www.autodesk.co.kr/collections/architecture-engineering-construction/overview?mktvar002=4876117|SEM|11507291907|143361429285|kwd-425056153614&utm_source=GGL&utm_medium=SEM&utm_campaign=GGL_AEC_AEC-Collection_APAC_KR_Form-Fills_SEM_BR_New_PH_0000_4876117_Product&utm_id=4876117&utm_term=kwd-425056153614&ef_id=ZFwvnAAJGnnzHABL:20230908012737:s&term=1-YEAR&tab=subscription(검색일: 2023.09.01.)

Avenue South Residence 홈페이지 <https://avenuesouthresidencecondo.sg/>(검색일: 2023.07.20.)

AWP architects 홈페이지 <https://awparchitects.com/projects/industrial-science-technology/jtc-logistics-hub/>(검색일: 2023.08.25.)

BCA 홈페이지 <https://www1.bca.gov.sg/>(검색일: 2023.08.28.)

BCA 홈페이지 <https://www1.bca.gov.sg/buildsg/digitalisation/integrated-digital-delivery-idd>(검색일: 23.08.25)

BCA 홈페이지 <https://www1.bca.gov.sg/buildsg/productivity/design-for-manufacturing-and-assembly-dfma>(검색일: 23.08.25)

BCA 홈페이지 <https://www1.bca.gov.sg/buildsg/productivity/design-for-manufacturing-and-assembly-dfma/prefabricated-mechanical-electrical-plumbing-systems/global-switch-singapore-woodlands-data-centre>(검색일 2023.08.28.)

Blue Scope 홈페이지 <https://truecore.com.au/news/new-hall-frame-case-study-afs-vue-terrace-homes-project>(검색일: 23.08.25)

Building design+Construction 홈페이지 <https://www.bdcnetwork.com/asias-modular-miracle>(검색일 2023.08.28.)

Buildings Department 홈페이지 <https://www.bd.gov.hk/en/resources/codes-and-references/modular-integrated-construction/index.html>(검색일: 2023.06.26.)

CETRIX 홈페이지 <https://cetrixtablets.com/design-manufacture-assembly-market-new-products/>(검색일: 2023.05.25.)

CIC 홈페이지 <https://mic.cic.hk/en/MiCDisplayCenter>(검색일: 2023.05.15.)

Design & make 홈페이지 <https://redshift.autodesk.co.kr/articles/global-bim-kr>(검색일: 2023.08.14.)

DfMA 홈페이지 <http://DfMA.com> 자료(<https://www.dfma.com/pdf/dfmdescription.pdf>) (검색일: 23.06.15.)

DfMA 홈페이지 <http://DfMA.com>(검색일: 23.06.15.)

Futurarc 홈페이지 <https://www.futurarc.com/project/avenue-south-residence-worlds-tallest-ppvc-residential-building/>(검색일: 2023.08.29.)

Futurarc 홈페이지 <https://www.futurarc.com/project/ng-teng-fong-general-hospital-and-jurong-community-hospital/>(검색일 2023.08.28.)

Global Switch 홈페이지 <https://www.globalswitch.com/locations/hong-kong-data-centre/>(검색일: 2023.06.26.)

Go Construct 홈페이지 <https://www.goconstruct.org/educational-resources/learn-about-t-construction/modern-methods-of-construction/>(검색일: 2023.09.01.)

Go Construct 홈페이지 <https://www.goconstruct.org/educational-resources/learn-about-construction/modern-methods-of-construction/>(검색일: 2023.09.01.)

HDB 홈페이지 <https://www.hdb.gov.sg/cs/infoweb/about-us/our-role/smart-and-sustainable-living> (2023.05.02.)

HDB 홈페이지 <https://www.hdb.gov.sg/cs/infoweb/about-us/our-role/smart-and-sustainable-living/innovations/precast-technology-page>(검색일: 23.08.25)

HDB 홈페이지 <https://www.hdb.gov.sg/cs/infoweb/about-us/research-and-innovation/construction-productivity/prefabrication-technology>(검색일: 23.08.25.)

<https://heypop.kr/n/57082/>(검색일: 23.06.22)

https://www.businesstimes.com.sg/sites/default/files/attachment/2015/11/05/BT20151104_SMENOVDEC_05.pdf(검색일: 2023.09.06.)

<https://www.scottsdalesteelframes.com/blog/projects/australian-framing-solutions-and-vue-terrace-homes-project> (검색일: 2023.07.20.)

https://www.tripadvisor.co.kr/Attraction_Review-g187291-d522630-Reviews-Weissenhof_Colony-Stuttgart_Baden_Wuerttemberg.html(검색일: 23.06.22)

<https://www.youtube.com/watch?v=UAZPugxUpQE>(검색일: 23.06.15.)

https://www.kaia.re.kr/mobile/bbs/view/B0000043/126.do;jsessionid=9QSs1VlClkEywUYoGtmyJ7sKn7iW7vn1BjejkYmwr9rTslow9b4EwpgPX6jDV7Ki.kaiaVMAPP8_servlet_engine4?searchCnd=&searchWrd=&searchOption1=2016&gubun=&delCode=0&useAt=&replyAt=&menuNo=200411&sdate=&edate=&deptId=&popupYn=&dept=&dong=&option1=&viewType=&cate1=&cate2=&cate3=&searchY

n=&pageIndex=1(검색일: 23.03.10.)

Hutchinson builders 홈페이지 <https://www.hutchinsonbuilders.com.au/projects/residential/vue-terrace>(검색일: 2023.06.26.)

JTC 홈페이지 <https://www.jtc.gov.sg/about-jtc/news-and-stories/feature-stories/log-hub-constructing-jtc-logistics-hub>(검색일: 2023.08.25.)

JTC 홈페이지 <https://www.jtc.gov.sg/find-space/jtc-logistics-hub-gul>(검색일: 2023.08.25.)

MDPI 홈페이지 <https://www.mdpi.com/2411-9660/6/5/88>(검색일: 2023.05.25.)

monarch 홈페이지 <https://www.monarch-innovation.com/types-of-mep-drawings>(검색일: 2023.06.26.)

Must Share News 홈페이지 <https://mustsharenews.com/crowne-plaza-changi-lego/>(검색일: 2023.09.06.)

Obayashi wood vision 홈페이지 <https://www.obayashi.co.jp/woodvision/#/portplus/>(검색일: 2023.08.25.)

Port Plus 홈페이지 <https://www.oyproject.com/details/>(검색일: 2023.08.25.)

Port Plus 홈페이지 <https://www.oyproject.com/news/>(검색일: 2023.08.25.)

Property Guru 홈페이지 <https://www.propertyguru.com.sg/project/avenue-south-residence-23798>(검색일: 2023.07.20.)

ResearchGate 홈페이지 https://www.researchgate.net/figure/Boothroyd-and-Dewhurst-DfMA-procedure-9_fig7_282757667(검색일: 2023.05.25.)

SBS 홈페이지 https://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1006349653(검색일: 2023.05.20.)

SEN engineering group 홈페이지 <http://senkuzo.com/2018/07/16/media-exposure-%EB%A7%A4%EC%9D%BC%EA%B2%BD%EC%A0%9C-%EC%8B%B1%EA%B0%80%ED%8F%AC%EB%A5%B4-%EB%AC%BC%EB%A5%98%EC%84%BC%ED%84%B0-%EC%88%98%EC%A3%BC-%EA%B4%80%EB%A0%A8/>(검색일: 2023.07.24.)

SENcoretech 홈페이지 <http://www.sencoretech.com/42/?idx=8844342&bmode=view>(검색일: 2023.08.25.)

Steelite 홈페이지 <https://www.steelite.co.kr/single-post/%EC%82%B0%EC%B2%AD-%EC%98%88%EC%88%A0%EC%9D%B8%EB%A7%88%EC%9D%84>(검색일: 2023.08.25.)

STUDIO 505 홈페이지 <https://www.studio505.com.au/work/project/ng-teng-fong-general-hospital/62.html>(검색일: 2023.06.21.)

The Asahi Shimbun 홈페이지 <https://www.asahi.com/ajw/articles/14856719>(검색일: 2023.08.25.)

The Straits Times 홈페이지 <https://www.straitstimes.com/singapore/education/ntus-new-230m>

-residential-sports-halls-will-be-eco-friendly(검색일: 2023.08.28.)

WEB Urbanist 홈페이지 <https://weburbanist.com/2015/03/28/record-breaking-57-story-chinese-skyscraper-built-in-19-days/>(검색일 2023.08.28.)

zheng keng 홈페이지 <https://zhengkeng.com.sg/student-hostel-at-nanyang-technological-university-of-singapore-ppv/>(검색일: 2023.08.28.)

ZURICH 홈페이지 <https://www.zurich.co.uk/news-and-insight/what-are-the-types-of-modern-methods-of-construction>(검색일: 2023.09.01.)

[법령·고시]

건축물의 에너지절약 설계기준, 국토교통부고시 제2023-104호, [별표 3] 단열재의 두께

건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙, 국토교통부령 제1247호, 제3조

대형공사등의 입찰방법 심의 기준, 국토교통부고시 제2019-91호, 제2조

소음방지를 위한 층간 바닥충격을 차단 구조기준, 국토교통부고시 제2018-585호, [별표 1] 표준바닥구조의 종류

임시주거용 조립주택 운영지침, 행정안전부고시 제2023-14호, [별표 2] 임시주거용 조립주택 표준설계도면

주택건설기준 등에 관한 규칙, 국토교통부령 제1227호, [별표 6] 공업화주택의 성능 및 생산기준

[기사]

권해석. (2019). 스마트 건설 속도 높이는 日 정부...민간은 전력질주. 건설경제신문. 2월12일 기사. http://fuzor.co.kr/bbs/board.php?bo_table=bim&wr_id=109(검색일: 23.07.13)

권해석. (2019). 스마트 기술 얻으려 실리콘 밸리로 달려가는 일본 건설사. 대한경제신문. 1월 12일 기사. https://m.dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201812201719507330856(검색일: 23.07.13)

김민수. (2022). 250만호 주택공급, PC공법으로 해결해야, 대한경제신문. 9월 26일 기사. <https://www.dnews.co.kr/uhtml/view.jsp?idxno=202209241921542030292>(검색일: 23.07.13)

김민수. (2022). BIM 전면 의무화 3년 앞으로...건설사 'ISO 인증' 바람. 대한경제신문. 9월 26일 기사. <https://www.dnews.co.kr/uhtml/view.jsp?idxno=202209230849477760049>(검색일: 23.07.13)

김민수. (2022). 탈현장 건설 전성시대 활짝...2027년 200兆 시장 열린다. 대한경제신문. 9월 26일 기사. https://m.dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=202209241803148100290(검색일: 23.07.13)

김태형. (2019). 글로벌 혁신기업에 한국형 스마트건설의 길을 묻다. 대한경제신문. 4월 4일

기사: http://dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201904031518442410979(검색일: 23.07.13)

김태형. (2019). 노동인구 감소시대...한국도 '모듈화' 농치면 쇠퇴의 길. 대한경제신문. 4월 1일 기사. http://dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201903291727560740576(검색일: 23.07.13)

김태형. (2019). 모듈러에 빠진 아마존·메리어트...스마트홈 시장 '대공습'. 대한경제신문. 4월 3일 기사. http://dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201904021406288640835 (검색일: 23.08.28)

김태형. (2019). 발로 뛰는 싱가포르 건설행정...스마트기술 도입 앞서 해외 수출기업 직접 찾아 성능·적합성 확인. 대한경제신문. 2월 11일 기사. https://m.dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201902081037458250332§ion=S1N4(검색일: 23.08.28)

김태형. (2019). 생산성 혁명! 스마트 건설이 온다<4> 미국편. 대한경제신문. 4월 1일 기사. https://m.dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201903291427391580542(검색일: 23.08.28)

김태형·정희훈·권해석. (2019). 생산성 혁명! 스마트 건설이 온다. 대한경제신문. 1월 2일 기사. <https://www.dnews.co.kr/uhtml/view.jsp?idxno=201812261055335640171>(검색일: 23.08.28)

김희용. (2021). [건설프로세스 혁신...DfMA가 이끈다] 해외에서 더욱 주목받고 있는 DfMA. 대한경제신문. 12월 16일 기사. https://m.dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=202112151445153010323(검색일: 23.08.28)

정희훈. (2019). 거주자가 모듈러 인지도 모를만큼 완성도 높아. 대한경제신문. 2월 13일 기사. https://m.dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201902121353029780571(검색일: 23.08.28)

정희훈. (2019). 배관·구조물 등 DfMA 일반화...설계·시공 획기적 변화. 대한경제신문. 2월 13일 기사. https://m.dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201902121050366710541§ion=S1N4(검색일: 2023.08.28.)

[기타]

배병윤. 'OSC 활성화를 위한 제도개선 방향', 주택공급 혁신의 뉴 패러다임, OSC 심포지엄 발제자료, 2022.10

유일한. (2023). 세미나자료(제조조립 기반 모듈러 건축 산업 활성화를 위한 개선과제 및 전략, 2023.05.16.)

천상현. (2023). OSC 기반 한국형 CFS ASSEMBLY 프리패브건축. 세미나발제자료 (2023.03.22.)

한국철강협회. (2020). 모듈러 건축시장 조사 및 전망

A Study on Design for Manufacture and Assembly(DfMA)-based Construction Development measures

SUMMARY

Kim, Eunhee

Kim, Sangho

Bang, Hongsoon

This study proposes to expand the current system and policy support and revitalize design-based architecture for manufacturing and assembly as a practical means to address immediate concerns in the construction industry. For this purpose, we first shared concepts and characteristics different from conventional site-oriented construction and analyzed their architectural significance. Then, we examined buildings built in Korea through processes similar to manufacturing/assembly construction and underlined their achievements, issues, and limitations, and finally compared them with advanced foreign cases to suggest institutional and policy alternatives that correspond to our conditions.

Chapter 2 identifies the concept and purpose of DfMA construction, its utilization effects, and directions for implementing DfMA construction.

DfMA (Design for Manufacture and Assembly) is a design method to increase the efficiency of manufacturing and assembly of product components by reflecting the conditions required for subsequent manufacturing and assembly processes at the product design stage. DfMA is basically a set of design methodologies that make product design more accessible and more efficient and enable product manufacturing and assembly with minimal time, effort, and cost. The purpose of using DfMA is as follows. First, it simplifies the production structure and reduces the costs involved in production and assembly. Second, it identifies and responds to problems in production and assembly in advance. Third, it supports cost management for contract negotiations between demand and suppliers, ultimately achieving environmentally friendly effects along with minimizing material waste, reducing industrial site risks, and ensuring

uniform quality.

DfMA construction focuses on streamlining the design process, improving material selection, and optimizing construction planning and logistics for buildings. The resulting architectural effects include improvements in safety, quality, and economic feasibility during the building construction process, less wasted resources and transportation costs, and reduced energy use and waste generation, thereby contributing to building a sustainable environment. Countries that proactively introduced DfMA use DfMA as a means of responding to the challenges currently facing the construction industry, including low construction productivity, ongoing safety accidents at construction sites, frequent design changes and resulting declines in construction quality, and increased construction costs, construction noise and various waste disposal issues, and civil complaints. These countries have confirmed its effectiveness and are expanding the market.

Three major strategies are needed to expand the use of DfMA in the construction industry. First, a viable DfMA strategy should be prepared that corresponds to the internal and external specialties of architecture, such as architectural production methods, policies, and industrial conditions. Second, a digital software-based platform (BIM, etc.) is needed that facilitates collaboration and management by allowing all construction stakeholders to participate together. Third, in construction, the pre-manufacturing rate should be increased regarding manufacturing and assembly efficiency. DfMA architecture is fundamentally a construction method based on manufacturing; it is necessary to decide which building components will be manufactured (industrialized) in a factory. Improving the assembly process by introducing individual building elements to the site can also be a way to realize entry-level DfMA construction.

Chapter 3 reviews the current status of DfMA construction in Korea by checking the absence of DfMA building standards, the recognition system, the establishment of BIM guidelines and ordering system, and policy support.

In the Building Act, Standards of Building Structure, Equipment, Evacuation and Fire Prevention and Standards of Building Energy Conservation and Sound Insulation are structured around buildings with reinforced or steel-reinforced concrete structures built on site. In particular, the standards for preventing condensation, floor impact noise, and sound insulation structures of walls in apartment complexes under the Housing Act specify the thickness of walls and the construction method of floor plates for apartments with reinforced concrete wall structures. Meanwhile, DfMA buildings, such as modular construction, in which members and parts are produced in a factory and assembled and joined at the site, are judged to meet the relevant building standards only by recognizing individual components.

The only recognition system for DfMA buildings concerns industrialized houses under the Housing Act. The performance standards for industrialized houses are divided into

detached houses and apartment complexes. In contrast, the production standards are divided into concrete, lightweight foam concrete, and other prefabricated members based on the material characteristics of the prefabricated members. In addition, the recognition of industrialized houses is valid for five years and is rigid: when the size, area, or materials of the recognized house change, separate recognition should be obtained.

Across all ministries, the government prepares and implements BIM framework guidelines, implementation guidelines, and application guidelines for each field in the construction industry to introduce and facilitate BIM, which is recognized as a core tool of smart construction that maximizes productivity, constructability and efficiency in the building construction process. The BIM framework guidelines provide basic procedures for conducting construction projects, such as collaboration, data management, standards for BIM application, and directions on BIM application principles, steps, methods, and plans. The BIM implementation guideline divides the owner, designer, and constructor into specific detailed standards that can be used by public and private owners, as well as methods and procedures for creating, delivering, and utilizing BIM products.

The current ordering method for construction work, including buildings, was formed and is being operated on the premise of a wet construction method that completes the structure through on-site construction based on design drawings produced through a design office. As a result, the factory production process of units that should play an essential part in the overall building production process based on advanced technology is treated as a simple manufacturing process, preventing the advancement of related technology or accumulation of expertise.

A 13-story modular construction was demonstrated through the national R&D project Development of Mid to High-Rise Modular Construction and Productivity Improvement Technology. Subsequently, to revitalize the modular construction industry, policy research on specialized construction business registration and ordering systems, performance recognition systems, and development of element technologies of modular construction such as ondol system, connecting hardware, interior and exterior finishing materials, variability, wooden module, and PC module were carried out. Because these national R&D projects tend to focus on the technological development of modular construction, one of the various types of DfMA buildings, they have limitations of not reaching the level of innovation and development of a new ecosystem across all stages of building production through design for manufacturing and assembly.

Chapter 4 analyzes DfMA buildings regarding utilization and effectiveness at each assembly level and reviews DfMA building systems and policy cases in foreign countries.

For Level 1, considering Korea's road penetration rate, road structure, and product

loading regulations, the Level 1 method of product manufacturing and on-site assembly for each construction area is advantageous, reducing 10% of labor costs and 30–40% of material costs. In Level 2 cases, total and material costs were reduced by more than 10% and 8%, shortening the construction period by 12%. Concerning performance, the airtightness increased to 30–70%, and energy consumption decreased by up to 18%. At Level 3, construction costs are reduced by up to 40%, and energy-saving effects are expanded from 38% to 80%. Level 4 reduced labor costs and construction period by up to 40% and improved labor productivity by mass production of standardized modular units based on large-scale facility equipment.

Singapore has a systematic government organization, including the Building and Construction Authority (BCA) and its BIM Committee, as policymakers. In addition, the Housing Development Board (HDB) plays a significant role in implementing policies by carrying out research, development, and construction projects that incorporate government policies. The United States falls under a private sector-led system where the private sector competes to secure competitiveness in the construction industry. As the world's largest construction market, OSC recognizes it as an inevitable choice to secure competitiveness. Accordingly, private organizations such as AIA, CII, and MBI lead in creating related guidelines and standards. The UK and Hong Kong are examples of public-private cooperation, and the government's presentation of a vision, policy implementation strategies, and implementation plans are specified through public-private cooperation organizations. The UK government consistently presents national policies for innovation in the construction industry and establishes and operates the Centre for Digital Built Britain (CDBB), comprised of industry, academia, and policymakers, as an organization that supports construction industry innovation policies. It also forms the Construction Innovation Hub (CIH) together with the Manufacturing Technology Center (MTC) and the Building Research Establishment (BRE). Hong Kong is pursuing an active construction innovation policy, following the UK and Singapore as precedents, and has formed the DfMA Alliance, involving stakeholders such as government, industry, and academia, to act as a coordinator between the government and industry. However, it is currently gradually transitioning to a government-led MiC activation policy.

Each country actively introduces smart technologies to improve the productivity of its construction industry. The UK, Singapore, Hong Kong, and the US, all surveyed, promoted BIM activation policies as a critical requirement for innovation in the construction industry. In order to respond to the rapidly changing construction environment through digital innovation, the UK established CDBB, became a leader in global BIM, and promoted the National Digital Twin Program. Singapore promotes BIM to improve construction productivity and establishes a BIM steering committee under the BCA to increase utilization. In order to respond to decreased available labor in the construction industry, Japan drives the 'I Construction' policy to enhance productivity by actively introducing information and communication technology to construction sites.

Chapter 5 proposes institutional improvement measures, standard model development, project model development, and technology development measures to revitalize DfMA construction.

Support is needed to build product manufacturing facilities and implement designs to enable DfMA construction. Considering construction market conditions, the government should establish regional manufacturing plants that are capable of automatic production based on BIM and have sufficient space for product performance testing, manufacturing, and movement of transportation equipment, and should introduce policy support measures such as site leases or financial support.

Considering the BIM conditions in the Korean construction industry, there is a need to consider the government's proactive support for expanding the use of BIM. The driving force behind the revitalization of the DfMA construction market in overseas countries is not irrelevant to the government-led strategy of increasing the use of BIM. In response to Korea's poor use of BIM, the government should seek ways to expand the use of BIM as a basis for revitalizing DfMA. Based on the BIM framework guidelines currently published and distributed by the Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, regulators need to provide information by adding the DfMA construction section and develop a BIM library applicable to public projects that require mandatory submission of BIM design documents. When doing so, they should prepare and accumulate a global data-sharing strategy to lead the way in applying and spreading it to the private market in the future.

BIM as a tool, various project experiences, result analysis, and accumulation of technical know-how are necessary together with specialized manufacturers and manufacturing plants to revitalize DfMA construction, which is suitable for the project promotion of integrated design and construction. Also, there is a need to create a differentiated project model that corresponds to Korean architectural culture by attempting a gradual transition to DfMA construction projects for apartment complexes implemented by Korea's LH and local housing development corporations.

In Korea's public ordering projects where design and construction are ordered separately, the relevant standards (standards for deliberation on bidding methods for large-scale construction, etc.) were recently revised to enable turnkey ordering when smart construction technology is applied, creating an environment for promoting construction projects using the DfMA method. However, depending on the type of target projects (purpose, scale, etc.), it is necessary to diversify the design-build method and consider developing various business models such as design-led or construction-centered integrated ordering.

Hong Kong and Singapore provide incentives of a 10% floor area ratio to expand the private market for DfMA construction. This policy is well received in Hong Kong and Singapore, where rents are high, as a means to increase the possibility of project expansion in the private market in the future. A 10% relaxation in the floor area ratio may be an attractive incentive to select the DfMA system for complex buildings

intended for sale within the Korean subway area. Accordingly, by applying the mitigation standards stipulated in Article 5 of the Building Act and Article 6 of the Enforcement Decree of the same Act, DfMA construction was included in the mitigation targets, and floor area ratio, building-to-land ratio, height restrictions, and open space within the site were specified as mitigation targets. In addition, by defining it as a special structure building, the target was added to the special structure building target standard No. 1 so that standards differentiated from general types of buildings could be applied. In addition, a constructability and productivity evaluation system based on DfMA should be introduced to provide measures such as easing building standards for each grade, providing floor area ratio incentives, and awarding bid points.

Regulators need to resolve the negative perception that manufactured and prefabricated buildings are construction sites, temporary offices, warehouses and factories, and auxiliary facilities to general buildings, and provide accurate information that this is a construction method that can secure not only performance but also design excellence. Based on public order projects, they should provide expert knowledge, such as how to promote DfMA construction and seek ways to induce social interest and change in awareness by promoting information that the general public can understand.

Among the strategies to revitalize DfMA construction presented in this study, the DfMA application evaluation system can serve as a guideline for business owners (building owners) to select business methods and scope of manufacturing and assembly. A driving force for this system to operate in the construction market should be provided by developing evaluation systems such as how to manufacture and assemble the architectural structure, finishing, and equipment members from Level 1 to Level 4 or how to assign points to the items decided and selected at the design stage. In addition, alternatives should be prepared by considering the correlation with current systems on using the evaluation score in the construction process.

As mentioned earlier, regulators should analyze and refer to the guidelines of countries actively promoting DfMA construction, such as the UK, Hong Kong, Singapore, and the United States, and develop guidelines for each process and sector that comply with the building construction process in accordance with the Korean Building Act and related laws.

In response to the motivation of low BIM utilization, a BIM library is necessary to supply government-led data. Therefore, regulators need to collect, analyze, and systematize BIM standard data used in the international market, and in particular, they should explore ways to discover DfMA construction design elements that have a high proportion of work in the design stage and utilize mutual sharing in the public-private construction market. Furthermore, proper means to share international BIM data for DfMA construction should be explored.

Keyword

Manufacturing, Assembly, DfMA, Design, Construction, Productivity, Cost