

제4차 산업혁명에 따른 건축서비스산업의 미래변화 전망과 대응전략 연구

Prospects of Future Changes in the Architectural Service Industry according to the Fourth Industrial Revolution

진태승 Jin, Teseung
김신성 Kim, Shinsung

(a u r

기본연구보고서 2018-15

제4차 산업혁명에 따른 건축서비스산업의 미래변화 전망과 대응전략 연구

Prospects of Future Changes in the Architectural Service Industry according to the Fourth Industrial Revolution

지은이 진태승, 김신성
펴낸곳 건축도시공간연구소
출판등록 제2015-41호 (등록일 '08. 02. 18.)
인쇄 2018년 12월 26일, 발행: 2018년 12월 31일
주소 세종특별자치시 절재로 194, 701호
전화 044-417-9600
팩스 044-417-9608

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

가격: 20,000원, ISBN:979-11-5659-194-8

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

연구진

연구책임	진태승 연구원
연구진	김신성 연구원
외부연구진	김성아 성균관대학교 건축학과 교수 정재환 성균관대학교 연구원 장도진 성균관대학교 연구원
연구보조원	조시은 서울대학교 박사과정

연구심의위원	유광흠 건축도시공간연구소 기획조정실장 서수정 건축도시공간연구소 건축연구본부장 강태웅 단국대학교 건축학과 교수 이경석 국토교통부 건축문화경관과 과장 이상호 한밭대학교 도시공학과 교수
연구자문위원	김수원 브이엠 건축사사무소 소장 신동윤 단국대학교 건축학과 교수 이상지 前 KAIST 미래전략대학원 연구교수 이지영 건축사사무소 도리건축 소장 정두석 (주)현대종합설계건축사사무소 과장 정재학 상하건축사사무소 소장 조은애 (주)희림종합건축사사무소 팀장 하진우 어반베이스 대표 한은지 한은지건축사사무소 소장

본 연구는 제4차 산업혁명이라 불리는 현상이 건축서비스산업에 어떤 영향을 미칠 것인지를 종합적으로 분석하여 건축서비스산업의 미래변화를 전망하는 데 주안점을 두고, 이를 토대로 건축서비스산업 진흥을 위한 정책적인 대응전략을 제시하고자 하였다.

제4차 산업혁명은 그에 대한 논의가 완성되거나 명확한 미래상이 제시된 것이 아니라 현재 진행형이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 차수에 대한 논의나 이상적인 지향점을 면밀하게 탐구하기보다는 선행연구에서 정리하는 바와 같이 제4차 산업혁명이 내포하고 있는 유용성과 영향력에 방점을 두고 그 이행과정으로서 건축서비스산업의 디지털 전환에 초점을 맞추었다.

건축 산업은 초기계획의 부정확성으로 인해 사업 프로세스의 불투명성과 리스크가 크고, 낮은 노동 생산성, 아날로그적인 지식전달 체계, 접근하기 어려운 서비스 등과 같은 고질적인 문제점을 갖고 있다. 건축서비스산업은 디지털 전환의 과정을 통해 이러한 문제점을 개선하여 생산성과 보다 높은 부가가치를 창출할 수 있고, 다른 한편으로는 도시 인구 증가 및 주택 가격 상승, 저성장 경제, 기후 변화 및 자연자원 고갈 등 사회·경제·환경적 미래변화에 대응할 필요성도 있다.

건축서비스산업 기술 트렌드는 건축서비스 단계별로 '계획 및 설계 자동화', '커뮤니케이션 도구로서 몰입형 경험 기술의 발전', '디지털 제조 방식으로의 전환', '디지털 트윈을 통한 운영관리', '건축 전 과정의 시스템 통합도구로서 BIM의 확장' 등 5가지로 요약할 수 있다. 건축 계획 및 설계 단계에서는 디지털 기술을 통해 법규 검토 및 디자인 과정을 데이터 기반(data-driven)으로 자동화 또는 자율화하여 이에 소요되는 시간과 노력을 획기적으로 줄이려는 시도가 나타나고 있으며 향후 발전가능성이 클 것으로 예상된다. 건축 설계 및 시공 단계의 효율적인 커뮤니케이션 도구로서 VR·AR 등 몰입형 경험 기술은 도면 및 모형을 대체하여 건축주 프리젠테이션, 작업팀 내 설계안 검토 및 시공 감리 등에 활용되고 새롭게 개발되고 있다. 시공 단계에서는 3D 프린팅 등 디지털 제조(Digital Fabrication)에 대한 연구 및 실행이 계속되고 있는데 혁신적인 건축 디자인의

구현, 고도화된 맞춤형 생산, 건축 자재 절약을 통한 환경적인 이점, 건축 과정에서의 시간 절약, 자율화 시공으로 인한 정확성 확보 등 여러 측면에서 장점이 있어 건축 산업의 성장 동력으로 될 것으로 기대된다. 디지털 트윈은 전 단계에 관계되고 구현될 수 있으나 특히 운영관리 단계에서 에너지 사용 최적화, 노후 시설물의 유지보수 및 리모델링의 결정 등을 위해 중요하게 사용될 가능성이 많다. BIM은 건축 전 과정에 걸쳐 생성되는 데이터를 수집하고 전달하는 통합적인 도구로써 점차 그 개념과 적용범위가 확장되고 있다.

한편 최신 기술 기업 데이터베이스를 제공하는 크런치베이스를 통해 건축서비스 관련 기술 기업의 경향을 조사한 결과, 건축서비스와 관련된 기술 기업은 활동 영역에 따라 대체로 ‘프리패브 디자인-빌드’, ‘계획 및 설계 지원 소프트웨어’, ‘건설관리 지원 소프트웨어’, ‘3D 프린팅 등 디지털 제조’, ‘건축서비스 연결 플랫폼’ 등 5가지로 구분할 수 있다. ‘프리패브 디자인-빌드’ 기업은 프리패브리케이션 및 모듈러 공법을 기반으로 설계에서부터 시공까지 업무를 일괄적으로 수행하며 조사한 총 35개 중 7개 기업이 이에 해당한다. 이 중 카테라(Katerra)는 투자유치 금액과 연간 수익이 모두 압도적으로 큰 기업으로 이와 같은 프리패브 방식과 디지털 기술을 기반으로 설계, 자재 물류, 시공 등 가치사슬을 통합하는 비즈니스 모델은 계속 성장하고 있다. ‘계획 및 설계 지원 소프트웨어’ 부문에서는 빅데이터, 인공지능 기술 등을 통해 법규 및 부동산 가치를 검토하거나, 3D 모델링이나 몰입형 기술(VR, AR, MR)을 지원하는 기업들이 이에 해당한다. ‘건설관리 지원 소프트웨어’ 부문의 기업은 시공 단계에서 건설 관리의 효율성을 높이기 위해 도면, 사진, 현장 기록 등의 기록이나 프로젝트 전체 단계에서 생산되는 각종 정보의 관리 및 협업을 위한 디지털 도구를 지원한다. 이들 기업들은 이미 시장에서 활동 영역을 넓히고 성장 가능성을 인정받고 있다. ‘건축서비스 연결 플랫폼’은 건축가 등에게 설계 및 시공을 위한 자재 및 제품, 소비자로부터 설계자나 제품을 연결해주는 서비스를 제공하는 플랫폼으로 기존의 건축 과정을 획기적으로 변화시키는 것은 아니나 건축서비스의 전달 경로 - 건축 수요자와 건축서비스 제공자 - 를 용이하게 한다는 데 의미가 있다. ‘3D 프린팅 등 디지털 제조’ 기업은 이전과는 획기적으로 다른 디자인을 실현시키고 있으나 아직 시장에서의 성공 가능성이 입증되지 않았다.

이와 같은 기술 트렌드를 토대로 할 때 건축서비스 업무의 생산성 및 효율성은 지속적으로 향상되고 보다 이용자 중심 서비스로 전환될 것이다. 또한 디지털 기술이 견인하고 있는 건축서비스산업의 가치사슬 통합은 기존 산업 생태계에 크고 작은 변화를 가져올 수 있으며 이는 기술 수용자인 건축서비스사업자와 건설업자가 디지털 기술을 얼마나 빠르게 받아들이고 디지털 전환에 성공하느냐에 따라 몇 가지 시나리오를 예상해 볼 수 있다. 먼저 건축서비스사업자와 건설업자의 디지털 전환이 함께 진행될 경우 기존 산업 구조의 큰 변화 없이 각자의 역할을 충실하게 이행하고 긍정적인 협업 관계를 유지하면

서 산업 전반의 생산성과 효율성이 차츰 높아질 것이다. 두 번째 경우는 건축서비스사업자의 디지털 전환 속도가 빠른 반면 건설업자는 느릴 경우이다. 건축서비스사업자의 디지털 역량이 강화되는데 반해 건설업자의 디지털 역량이 건축서비스사업자가 요구하는 수준에 따르지 못할 경우 건축가 등은 건축 프로젝트 전반을 주도적으로 이끌고 관리하게 될 것이며, 제도적으로 가능하다면 3D 프린팅 등 디지털 패브리케이션 기술 공급업체와 함께 건설업자가 없이도 건축물의 계획부터 완성까지 모든 프로세스를 수행할 수도 있을 것이다. 최근 건축서비스사업자는 기업 내에 디지털 기술 솔루션 전담 팀을 만들거나, 소수이기는 하나 기업 내에서 파생된 새로운 기술 기업을 창업하는 사례가 있으며, 건축가 등이 새롭게 기술 기반 창업을 시도하기도 한다는 점으로 미뤄볼 때 가능성 있는 시나리오라 할 수 있다. 세 번째 시나리오는 건설업자의 디지털 전환이 빠르게 이행되는 반면 건축서비스사업자의 변화는 더딘 경우이다. 건설업자는 생산성과 품질 혁신을 위해 건축가를 기업 내에 고용하거나 몇 개의 건축사무소를 사들여 프로젝트를 통합적으로 실행할 것이다. 만약 제도적으로 건축사 없이 프로젝트를 진행할 수 있다면 건설업자는 설계 자동화 소프트웨어 공급자와 함께 작업을 수행할 수도 있을 것이다. 그렇게 되면 프로젝트 전 단계에 걸친 건축가의 역할은 축소되고 프로젝트의 주도권은 건설업자에게 가게 될 것이다. 일반적으로 건설업자의 자본 규모가 건축서비스사업자의 그것보다 월등히 크고, 최근 건설 기술 분야에 대한 투자가 급격히 증가하고 있는 것으로 미루어볼 때 이러한 가능성은 설득력이 있다고 볼 수 있다. 마지막은 건축서비스사업자와 건설업자의 디지털 전환이 모두 지체되는 경우이다. 이때에는 저 개발된 산업에서 기회를 찾는 IT 기반 솔루션 기업이 새로운 시장 진입자로 등장하여 파괴적으로 산업 구조를 재편할 수 있다. 이들이 풍부한 데이터를 무기로 건축 설계 시장에 주도적으로 나설 가능성도 배제할 수는 없다.

이와 같은 변화에 대응하기 위해서 정부는 먼저 싱가포르의 사례와 같이 건축서비스사업자의 디지털 기술 도입을 지원할 필요가 있다. 그리고 연구·교육, 실무, 투자가 함께 이루어질 수 있도록 관련 산업 간 교류를 촉진하여 디지털 전환을 위한 혁신 생태계를 조성해야 한다. 마지막으로 건축 산업의 디지털화에 따라 새로운 건축 재료 및 공법을 수용할 수 있도록 여지를 두거나 규제 개선이 필요한 사항을 빠르게 파악하여 조치할 필요가 있다.

주제어

제4차 산업혁명, 건축서비스산업, 미래변화, 대응전략

제1장 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
1) 연구 배경 및 필요성	1
2) 연구 목적	3
2. 연구 범위 및 방법	4
1) 연구범위	4
2) 연구방법	6
3) 연구흐름	7
제2장 건축서비스산업에서 제4차 산업혁명의 의미	9
1. 제4차 산업혁명의 개념과 영향	9
1) 제4차 산업혁명의 개념 고찰	9
2) 제4차 산업혁명으로 인한 산업의 변화	21
2. 건축서비스산업에서 제4차 산업혁명의 의미	29
1) 건축서비스산업의 속성과 문제점	29
2) 건축에 대한 사회경제적 요구 변화	44
3) 소결: 건축서비스산업에서 제4차 산업혁명의 의미	53
제3장 건축서비스산업 기술 트렌드	57
1. 건축서비스산업 기술 트렌드	57
1) 건축서비스산업 기술 트렌드 관련 주요문헌 검토	57
2) 건축서비스산업 주요 기술 트렌드	65
2. 건축서비스 관련 기술 기업 트렌드	89
1) 프리패브 디자인-빌드 기업	95
2) 계획 및 설계 지원 소프트웨어 기업	101
3) 건설관리 지원 소프트웨어 기업	107
4) 3D 프린팅 등 디지털 제조 기업	110
5) 건축서비스 연결 플랫폼 기업	114

제4장 건축서비스산업의 미래변화 전망	117
1. 건축서비스의 변화	117
2. 건축서비스산업 생태계 변화	120
3. 건축서비스산업 일자리 변화	124
제5장 건축서비스산업 미래변화에 따른 정책적 대응 전략	127
1. 건축서비스사업자의 디지털 기술 도입 촉진	127
2. 건축 산업계 교류 촉진을 통한 혁신 생태계 조성	131
3. 디지털 전환 촉진을 위한 규제 개선 및 기준 정립	134
참고문헌	137
SUMMARY	143
부록. 국외출장 보고서	147

[표 1-1] 건축서비스 프로세스별 주요 업무	5
[표 1-2] 건축설계 및 관련 서비스업(M72111)의 범위	5
[표 2-1] 4차 산업혁명 관련 기존 논의의 주요 쟁점	11
[표 2-2] 각 산업혁명의 역사적 전개와 특징	12
[표 2-3] 기관별 4차 산업혁명의 추동 기술 정의	17
[표 2-4] 4차 산업혁명의 기술 동인에 대한 세 가지 층위의 정의	18
[표 2-5] 디지털 전환(Digital Transformation)의 정의	19
[표 2-6] 디지털 전환의 파급 범위의 다양성	22
[표 2-7] 4차 산업혁명과 IT-OT 융합	23
[표 2-8] 디지털 전환으로 인한 산업구조의 변화 유형	24
[표 2-9] 디지털 전환이 고용에 미치는 영향 전망	28
[표 2-10] 독특한 건설산업 환경	36
[표 2-11] 건설산업의 파괴적 혁신을 위한 5가지 아이디어	40
[표 2-12] 우리나라 주요 스마트 건설기술 R&D 사업(안)	43
[표 2-13] 「2040 국토교통 미래기술예측조사」 7대 메가트렌드 및 국토교통 기술수요(Needs)	50
[표 2-14] 2016년 건축설계 및 관련 서비스업 사업체당 매출액	53
[표 3-1] 디지털 기술에 의해 가능해진 새로운 기회	58
[표 3-2] 건축서비스산업의 주요 기술 트렌드	65
[표 3-3] 건축서비스 관련 기술기업 목록	89
[표 3-4] 건축서비스 관련 기술 기업 설립연도	92
[표 3-5] 플랜그리드의 주요 서비스	108
[표 3-6] 룸빅스의 주요 서비스 개요	109
[표 4-1] 건축 관련 산업 생태계의 변화 시나리오	123
[표 4-2] 디지털 기술이 건축서비스산업 일자리에 미치는 영향 전망	124
[표 5-1] BIM 도입의 주요 문제점	128
[표 5-2] 모든 건축물 신축 시 적용되는 빌터블 디자인 최소 점수	136

그림차례 LIST OF FIGURES

[그림 1-1] 시장조사 업체 테크나비오(Technavio)의 세계 건축서비스 시장 전망	2
[그림 1-2] 트렌드의 라이프사이클	6
[그림 1-3] 연구흐름도	7
[그림 2-1] 4차 산업혁명론의 기원과 확산	10
[그림 2-2] Cyber-Physical Systems 컨셉 지도	14
[그림 2-3] 4차 산업혁명 관련 과학기술-산업 간 연계도	15
[그림 2-4] 도시 발전과 기술 수준을 고려한 융·복합 예시	16
[그림 2-5] 데이터 기반의 현실·가상 연계 시스템	17
[그림 2-6] 디지털 전환의 단계	20
[그림 2-7] 국내 산업별 디지털화 현황 및 전망	21
[그림 2-8] 4차 산업혁명과 산업의 변화	23
[그림 2-9] WEF(2018) 일자리의 미래 보고서의 2022년 일자리 전망	25
[그림 2-10] 2013~2017년 사이 전문서비스업 고용 트렌드	26
[그림 2-11] 인간과 기계의 노동시간 비율 변화 전망	26
[그림 2-12] 업무특성별 인간과 기계의 노동시간 비율 변화 전망	27
[그림 2-13] 미래 직무 능력에 대한 요구	27
[그림 2-14] 법률에서의 건축사 업무범위	30
[그림 2-15] 건축서비스 프로세스에서의 건축서비스·건설의 역할	31
[그림 2-16] 건설 부문의 비용 및 기간 초과	33
[그림 2-17] 함부르크 엘프필하모니홀	34
[그림 2-18] 영국과 독일 건설 산업의 낮은 노동생산성	35
[그림 2-19] 건설 노동생산성 국가 비교	35
[그림 2-20] 국내 서비스업 및 제조업 노동생산성	37
[그림 2-21] 2009년, 2015년 OECD 국가별 건축서비스산업 종사자당 매출액(\$만) 변화	37
[그림 2-22] 아날로그적인 지식전달 체계	38
[그림 2-23] 산업부문별 디지털화 정도	39
[그림 2-24] 건설산업(E&C) 가치사슬에 걸친 디지털 기술 적용 가능성	41
[그림 2-25] 건설산업(E&C)의 디지털화로 인한 건설 및 운영관리 비용 절감 효과 예측	41
[그림 2-26] 일본 i-construction의 개요	42
[그림 2-27] 스마트인프라에 대한 규제 샌드박스 개념	43
[그림 2-28] 아럽(Arup)이 그리는 미래 건축물의 청사진	45
[그림 2-29] 지멘스(Siemens)가 그리는 건축물의 미래상	46
[그림 2-30] 사이드워크랩스가 제안하는 로프트 구조	47
[그림 2-31] 사이드워크랩스가 제안하는 공장생산 모듈러 건축	47
[그림 2-32] 위키하우스 재단(Wikihouse Foundation)이 제시하는 건축물 공급 사슬 형태	48
[그림 2-33] 미국 에너지부의 미래 건축물 비전	49

그림차례 LIST OF FIGURES

[그림 2-34] 우리나라 인구가구 구조의 변화 전망	52
[그림 2-35] 온라인 플랫폼을 통한 건축서비스 사례(위벌드홈즈)	55
[그림 3-1] 건설 기술 생태계 지도	61
[그림 3-2] Perkins+Will의 소셜 VR 활용	63
[그림 3-3] Perkins+Will의 MR 활용	63
[그림 3-4] 오토데스크 드림캐처 작업흐름	67
[그림 3-5] 생성적 디자인과 적용 예시	68
[그림 3-6] SHoP Envelope 시연 화면	69
[그림 3-7] 랜드북 서비스 화면(캡처)	69
[그림 3-8] 오토데스크 사옥을 대상으로 한 다양한 배치안 생성	70
[그림 3-9] Aditazz 설계 소프트웨어	71
[그림 3-10] Cover 사의 설계를 위한 설문 화면	71
[그림 3-11] IrisVR이 제공하는 건축용 MR, VR	73
[그림 3-12] 건축설계사무소 Perkins+Will에서 개발한 VR(좌)과 MR(우)	73
[그림 3-13] 증강현실 기업 DAQRI가 개발한 스마트 글래스	74
[그림 3-14] 증강현실 기업 DAQRI가 개발한 스마트 헬멧	74
[그림 3-15] 건설 산업에서 3D 프린터의 적합성	76
[그림 3-16] 건설 산업에서 3D 프린팅의 이점	76
[그림 3-17] 3D 프린팅의 상업적 실행 가능 시기	78
[그림 3-18] ICON사의 3D 프린팅 주택 프로토타입	78
[그림 3-19] 중국 Winsun사의 3D 프린팅 주택	78
[그림 3-20] 디지털 패브리케이션 기술을 적용한 벽체(거푸집) 및 상부 슬라브(스위스 NEST)	79
[그림 3-21] Digital Grotesque II	79
[그림 3-22] 제조 공정 디지털 트윈 모델	80
[그림 3-23] 슈트트가르트 대학 ICD/ITKE 연구 파빌리온에 적용된 디지털 트윈(사이버물리시스템) 개념도	81
[그림 3-24] 슈트트가르트 대학 ICD/ITKE 연구 파빌리온 전경	82
[그림 3-25] 조지아 화력 발전소 연료 파이프의 3D 스캐닝 및 모델링	83
[그림 3-26] 미주리 발전소 연료 파이프의 3D 스캐닝 및 모델링	83
[그림 3-27] 버추얼 싱가포르 프로젝트로 구현한 가상 도시	84
[그림 3-28] BIM을 통한 지식정보 손실 방식을 나타내는 개념도	85
[그림 3-29] BIM 사용에 따른 프로젝트 개선 효과	85
[그림 3-30] BIM 내에서 기업들의 협업 및 정교함의 수준	86
[그림 3-31] 기업의 협업을 증가시키는 BIM	86
[그림 3-32] 건축물 생애주기에 걸친 BIM 적용	87
[그림 3-33] 여러 나라의 BIM 도입 정책	88
[그림 3-34] 건축서비스 관련 주요 기술 기업의 투자유치 금액 및 연간 수익	93

그림차례 LIST OF FIGURES

[그림 3-35] Kattera의 통합 건축서비스 개념	96
[그림 3-36] Kattera사의 디자인 사례	96
[그림 3-37] Kattera의 자재 공급사를 최적화	97
[그림 3-38] Kattera의 부재 생산 공장(좌)과 부재 운반 모듈(우)	97
[그림 3-39] Plant Prefab의 공장생산 방식	98
[그림 3-40] Plant Prefab의 표준 디자인이 적용된 주택 RK1.1	99
[그림 3-41] Kasita가 판매하는 모듈러 주택	100
[그림 3-42] Upcodes AI 시연 과정	101
[그림 3-43] Aditazz의 디지털화된 디자인 프로세스 개념	102
[그림 3-44] IrisVR 건축관련 서비스 설명	103
[그림 3-45] StudioMB의 바(bar) 프로젝트 이미지 및 데스크탑용 소프트웨어인 'Prospect' 이용 모습	104
[그림 3-46] Modumate 서비스 화면	105
[그림 3-47] Modumate의 자동 도면 생성 기능 설명	105
[그림 3-48] Modelo의 건축 및 인테리어 부문 사용 안내	106
[그림 3-49] 플랜그리드 주요 기능 설명	107
[그림 3-50] Rhumbix의 서비스 흐름도	109
[그림 3-51] Branch Technologies의 제작 장면	111
[그림 3-52] 건축설계사무소 SHoP와 함께 작업한 파빌리온	111
[그림 3-53] Apis Cor가 개발한 이동가능한 건설용 프린터 및 프로토타입	112
[그림 3-54] Ai Build가 개발한 하드웨어(AiMaker)와 소프트웨어(AiSync)	113
[그림 3-55] Ai Build의 벽채용 거푸집(좌)과 Arup과 작업한 파빌리온(우)	113
[그림 3-56] Architizer 홈페이지 검색 화면	114
[그림 3-57] Houzz 홈페이지 부문별 전문가 검색 화면	115
[그림 3-58] Arcbazar 진행 방법에 관한 설명 그림	116
[그림 3-59] Arcbazar에서 설계공모를 진행한 사례	116
[그림 4-1] 건축서비스산업 생태계의 가치사슬 통합 방향	121
[그림 5-1] 2015년 건축서비스산업 전문분야의 종사자 규모별 사업체수 구성비	128
[그림 5-2] 건축설계 및 관련 서비스업 사업체의 BIM 또는 GIS 활용 여부	129
[그림 5-3] 영국 건축가의 디지털 기술 사용 및 투자 계획 현황	129
[그림 5-4] 2008년~2018년 사이 건설 기술 투자금액 변화	131
[그림 5-5] 스위스 NCCR Digital Fabrication에서 개최된 국제 컨퍼런스	132
[그림 5-6] DfMA 기술 개요 및 예시	135
[그림 5-7] 전통적인 디자인 프로세스와 통합디자인 프로세스(IPD) 비교	137

제1장 서론

- 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 범위 및 방법
-

1. 연구의 배경 및 목적

1) 연구 배경 및 필요성

□ 제4차 산업혁명에 따른 미래 산업의 전방위적 변화 예상

전 세계적으로 “제4차 산업혁명(the 4th industrial revolution)”, “차세대 생산혁명(NPR, Next Production Revolution)”, “디지털 혁명(Digital Revolution)” 등의 용어로 대표되는 최근 신기술의 비약적인 발전에 따라 산업 지형과 사회적 변화에 대한 논의가 활발히 진행 중이다.

“제4차 산업혁명”은 세계경제포럼(WEF, The World Economic Forum)에서 본격적으로 제기된 개념으로 차세대 생산혁명¹⁾, 디지털 혁명, 그리고 독일이 제조업 혁신을 위해 제창한 Industry 4.0과 같은 근래의 여러 현상과 정부 및 기업 차원의 산업 전략을 아우르는 개념으로 이해할 수 있다. 세계경제포럼 회장인 클라우스 슈밥은 제4차 산업혁명은 물리학, 디지털, 생물학 분야의 다양한 기술의 비약적인 발전과 융합을 의미하며, 이로 인해 노동과 생산 부분에서 급진적인 변화와 문제가 발생할 것으로 예상하고 있다.²⁾

1) “차세대 생산혁명은 사물인터넷, 3D 프린팅, 산업 바이오 및 나노기술 등 융복합 첨단기술의 발전으로 기존의 생산방식을 근본적으로 바꾸게 될 새로운 산업혁명을 의미한다.”(출처: OECD(2016); 김승현·김만진(2016), p.16에서 재인용).

2) 클라우스 슈밥(2016), 「제4차 산업혁명」, 새로운현재, 송경진 옮김, p.26, pp.32~33.

□ 국내 건축서비스산업의 새로운 성장 패러다임 모색 필요

건축서비스산업은 모든 산업과 경제에 토대가 되는 건축물 및 도시 환경을 질적으로 높이는 데 기여하는 중요한 산업으로 우리나라는 2013년 「건축서비스산업 진흥법」을 제정하여 건설산업과는 별도로 이를 육성하기 위한 정책적인 노력을 추진하고 있다.

건축서비스 시장은 전 세계적으로 건설 부문의 투자 증가와 기술 혁신에 따라 성장³⁾하고 있으며, 스마트빌딩, 스마트시티 등 관련 시장의 성장에 발맞추어 기술적으로 보다 고도화되고 높은 수준의 건축서비스가 요구되고 있다. 그러나 우리나라는 신규 건설투자 비중이 줄어들고 있어 내수시장은 협소하며, OECD 국가 대비 건축서비스사업자의 경쟁력도 취약한 실정이다.⁴⁾

따라서 우리나라의 건축서비스산업은 기존 틀 안에서는 지속적인 성장에 한계가 있으며, 신기술 및 타 분야와의 융합을 통해 기존 산업을 강화하거나 새로운 수요를 창출하는 방향으로 성장을 모색할 필요가 있다.



[그림 1-1] 시장조사 업체 테크나비오(Technavio)의 세계 건축서비스 시장 전망

(출처: <https://www.technavio.com/report/global-architectural-services-market-analysis-share-2018>, 검색일 2018.4.12.)

3) 그랜드뷰 리서치(Grand View Research)는 세계 건축서비스 시장은 2025년까지 약 4천만 달러에 달할 것으로 전망 (<https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-architectural-services-market>, 검색일 2018.4.12.). 또한 테크나비오(Technavio)는 2018~2022년 사이 세계 건축서비스 시장의 연평균 성장률(CAGR)을 4.22%로 전망 (<https://www.technavio.com/report/global-architectural-services-market-analysis-share-2018>, 검색일 2018.4.12.).

4) 박정수(2015), “건축서비스산업의 산업적 역할과 향후 과제”, 「건축과 도시공간」, Vol.19, 건축도시공간연구소, pp.016~019.

□ 제4차 산업혁명 시대에 대응한 건축서비스산업 변화의 대응전략 마련 필요

제4차 산업혁명에 대한 기대와 논의가 전 산업 분야에서 활발하게 일어나고 있으나 IT 산업, 자동차 등 제조업, 스마트시티로 대변되는 도시계획 등에 비해 건축서비스산업 분야에서는 제4차 산업혁명에 대한 논의와 담론이 부족한 실정이다. 최근 건축분야에서도 제4차 산업혁명에 대비한 포럼 및 세미나가 활발히 진행되고 있으나 건축서비스산업의 변화 트렌드나 종합적인 미래 전망에 관한 연구는 미흡한 실정이다.⁵⁾

타 산업 분야와 마찬가지로 건축서비스산업에서도 제4차 산업혁명 핵심 기술의 빠른 발전과 기술간 융합에 따라 건축 디자인, 건축생산방식, 건축 관련 기술자의 직능, 건축 수요자의 요구 등 산업 전반에 걸쳐 중장기적인 변화가 일어날 것으로 예상된다. 이러한 관점에서 제4차 산업혁명은 건축분야의 새로운 성장을 도모할 수 있는 기회임과 동시에 기존 일자리 축소, 글로벌 기업의 국내시장 잠식 등 위협 요소로 작용할 수 있다. 따라서 건축서비스산업에서도 제4차 산업혁명이 미칠 영향력을 검토하고 미래 변화에 대응하기 위한 담론을 만들어나가야 할 시점이라 할 수 있다.

2) 연구 목적

본 연구는 제4차 산업혁명이라 불리는 최근 현상이 건축서비스산업에 미칠 영향을 종합적으로 분석하여 건축서비스산업의 미래 변화를 전망하는 데 주안점을 두고 있으며, 이를 토대로 건축서비스산업 진흥을 위한 정책적인 대응전략을 제시하고자 한다.

국내에서 제4차 산업혁명과 건축서비스산업의 접점을 찾는 자료나 연구는 미흡한 실정이므로 본 연구에서는 최대한 국내외 관련 자료들을 최대한 수집·분석하여 건축서비스산업의 변화 트렌드를 파악하는 것을 일차적인 목표로 하였다. 이를 위하여 제4차 산업혁명을 주도하는 핵심기술 중 건축서비스산업의 미래 변화와 밀접한 관련이 있는 것들을 도출해내고 이러한 기술이 기업과 산업 전체를 어떻게 바꾸어 나갈 것인지를 주목하였다. 다만 건축서비스산업의 미래는 기술에만 의존하는 것이 아니므로 혁신 기술과 기업의 변화가 사회경제적 요구 및 트렌드와 맞물려 어떻게 발전해 나갈 것인지를 예측하고 이를 토대로 미래 변화를 전망하고자 하였다. 미래 전망은 현재 트렌드 혹은 트렌드에 가까운 이머징 이슈(Emerging Issues)를 토대로 가까운 미래의 변화를 예측하고 이에 대응하기 위한 기본 방향과 대응전략을 제시하고자 하였다.

5) 선행연구로는 국가건축정책위원회(2016), 「건축산업의 미래이슈와 대응전략 연구」가 있으나 연구와 동반된 포럼 내용을 정리한 것으로 건축서비스산업의 종합적인 미래 전망과 전략 마련에는 한계가 있음.

2. 연구 범위 및 방법

1) 연구범위

□ 대상 범위

본 연구는 기본적으로 「건축서비스산업 진흥법」에 따른 건축서비스산업을 대상으로 하며, 이 중에서도 연구의 핵심적인 내용은 '건축설계 및 관련 서비스업(M72111)'⁶⁾과 대표적인 건축서비스사업자인 건축사의 업무범위를 중심으로 한다.

「건축서비스산업 진흥법」에 따른 건축서비스 및 건축서비스산업의 정의

제2조(정의) ① 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

1. "건축서비스"란 건축물과 공간환경(이하 "건축물등"이라 한다)을 조성하는 데에 요구되는 연구, 조사, 자문, 지도, 기획, 계획, 분석, 개발, 설계, 감리, 안전성 검토, 건설관리, 유지관리, 감정 등의 행위를 말한다.
 2. "건축서비스산업"이란 건축서비스 활동을 통하여 경제적 또는 사회적 부가가치를 창출하는 산업을 말한다.
 3. "건축서비스사업"이란 건축서비스 활동을 수행하는 사업을 말한다.
 4. "건축서비스사업자"란 건축서비스사업을 영위하는 자를 말한다.
- 5~6. 생략

「건축사법」(시행령 제19조)에 따른 건축사의 업무

- ① 건축사는 건축물의 설계와 공사감리에 관한 업무를 수행한다.
- ② 건축사는 제1항의 업무 외에 다음 각 호의 업무를 수행할 수 있다. <개정 2017.12.26>
 1. 건축물의 조사 또는 감정(鑑定)에 관한 사항
 2. 「건축법」 제27조에 따른 건축물에 대한 현장조사, 검사 및 확인에 관한 사항
 3. 「건축법」 제35조에 따른 건축물의 유지·관리 및 「건설산업기본법」 제2조제8호에 따른 건설사업관리에 관한 사항
 4. 「건축법」 제75조에 따른 특별건축구역의 건축물에 대한 모니터링 및 보고서 작성 등에 관한 사항
 5. 이 법 또는 「건축법」과 이 법 또는 「건축법」에 따른 명령이나 기준 등에서 건축사의 업무로 규정한 사항
 6. 「건축서비스산업 진흥법」 제23조에 따른 사업계획서의 작성 및 공공건축 사업의 기획 등에 관한 사항
 7. 「건축법」 제2조제1항제12호의 건축주가 건축물의 건축 등을 하려는 경우 인가·허가·승인·신청 등 업무 대행에 관한 사항
 8. 그 밖에 다른 법령에서 건축사의 업무로 규정한 사항

다만 건축서비스산업은 물리적인 실체가 있는 건축물을 만드는 데 필요한 서비스를 하는 제공하는 것으로서 건설산업과 밀접하게 연관되며, 일반적으로 AEC 산업(Architecture, Engineering & Construction Industry)의 일부로 분류되기도 하므로 전체적인 건축 산업⁷⁾의 틀 안에서 그 변화를 이해할 수 있다. 따라서 기술 및 기업 트렌

6) 건축서비스산업은 통상적으로 한국표준산업분류 상의 '건축기술엔지니어링 및 기타 과학기술 서비스업(M72)에 해당하는 것으로 봄

7) 이 보고서에서는 건축서비스산업과 건설 산업 중 건축 부문 산업을 포괄하는 용어로 '건축 산업'을 사용하기로 함.

드 분석에서는 건축서비스산업에 국한된 것 뿐 아니라 건설산업에 관한 내용도 폭넓게 포함하여, 건축 산업의 전반적인 지형 변화의 배경에서 건축서비스산업과 건축서비스 사업자의 변화에 대해 전망하고자 하였다.

[표 1-1] 건축서비스 프로세스별 주요 업무

프로세스		주요 서비스 업무
건설 사업 관리 (CM)/	건축기획	사업타당성 분석/ 용도 및 규모 검토/ 법규 검토/ 현장 조사
	건축설계	디자인/ 예산 검토(건축)/ 건축 연관분야 검토/ 설계도서 작성/ 건축허가 신청 대행
자산 관리 (AM)	공사감리 및 사후설계관리	시공과정에 대한 지도·감독/ 설계의도 해석·자문
	준공	사용승인 신청 대행
	유자관리	유자관리 점검/ 건물관리(Facility Management)

출처 : 연구자 작성

[표 1-2] 건축설계 및 관련 서비스업(M72111)의 범위

기술부문	전문분야	설명 및 예시
건축설계 부문	건축계획 및 설계	설계, 건설공정, 건축법규 및 건설자재 등에 관한 지식을 이용하여 각종 건물 또는 구축물의 기획 및 설계 수행 (예: 건축사사무소, 건축 상담, 건축물 설계(공학설계 제외))
	설계감리	건축 공사에 필요한 도면 및 시방서 등의 설계도서 작성과 시공 중의 지도, 감독 역할 수행 (예: 건축물의 설치보수 공사 시 용역 업무에 대한 기술자문, 전 단계의 내용 검 토, 설계업무의 공정 및 기성관리의 검토·확인 등)
유자·관리 부문	유자·관리	건설공사가 설계도서 및 그 밖의 관계 서류와 관계 법령의 내용대로 시공되는지 여부 확인과 건축물의 시설인 전기, 기계, 자동제어, 방재, 소방 등에 대한 운전, 관리, 점검

출처 : 유광흠 외(2014), 「건축서비스산업 통계 구축 및 실태조사 연구」, 국토교통부, p.32~33, [표 15] 중 일부 발췌

□ 시간적 범위

건축서비스산업의 미래변화 전망은 현 시점에서의 현실적인 대응 방향과 전략을 제시 하기 위해 실험적인 기술이나 먼 미래의 사회상에 초점을 맞추기보다는 현재 트렌드가 산업 전반에 확산될 것으로 예상되는 10년 전후의 가까운 미래로 설정하였다.

2) 연구방법

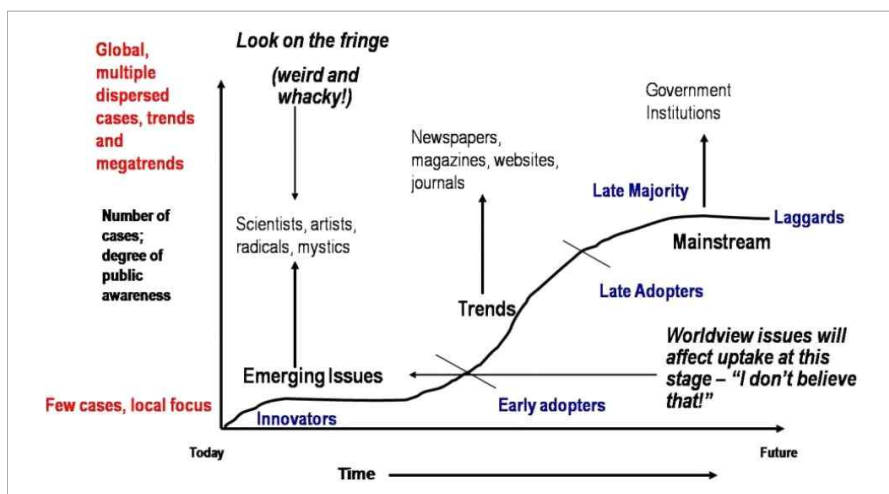
□ 문헌 고찰

제4차 산업혁명과 건축서비스산업과의 접점을 찾기 위해 제4차 산업혁명과 관련된 기존 연구보고서, 단행본 등의 각종 문헌자료를 고찰하였다. 또한 건축 산업 전반에 걸친 문제점과 개선 방향에 관한 국외 보고서와 건축 트렌드를 읽을 수 있는 건축 잡지 및 논문 등 각종 문헌들을 가능한 많이 수집하여 참고하고자 하였다.

□ 건축서비스산업 트렌드 분석

건축서비스산업 트렌드 분석은 기술 트렌드와 기업 트렌드를 나누어 진행하였다. 건축서비스 관련 기술 트렌드 분석을 위해 각종 문헌 자료와 적용 사례를 수집·분석하고, 국외 관련 컨퍼런스에 참석하여 국제적인 동향을 파악하였다. 기업 트렌드는 최근 유망한 건축서비스 관련 기술 기업들의 동향을 조사하여 건축서비스산업 생태계의 변화와 미래 전망의 토대로 삼았다.

건축서비스산업의 트렌드 분석은 초기 단계에 있는 실험적인 기술이나 먼 미래에 초점을 맞추지 않고, 현재 가시화되고 있는 기술이나 기업의 변화를 중심으로 하였다. 대신 아직 산업에 제대로 정착하지 않았더라도 활발하게 개발되고 있는 기술이나 기업 현황(트렌드에 가까운 이머징 이슈)은 반영하였다.



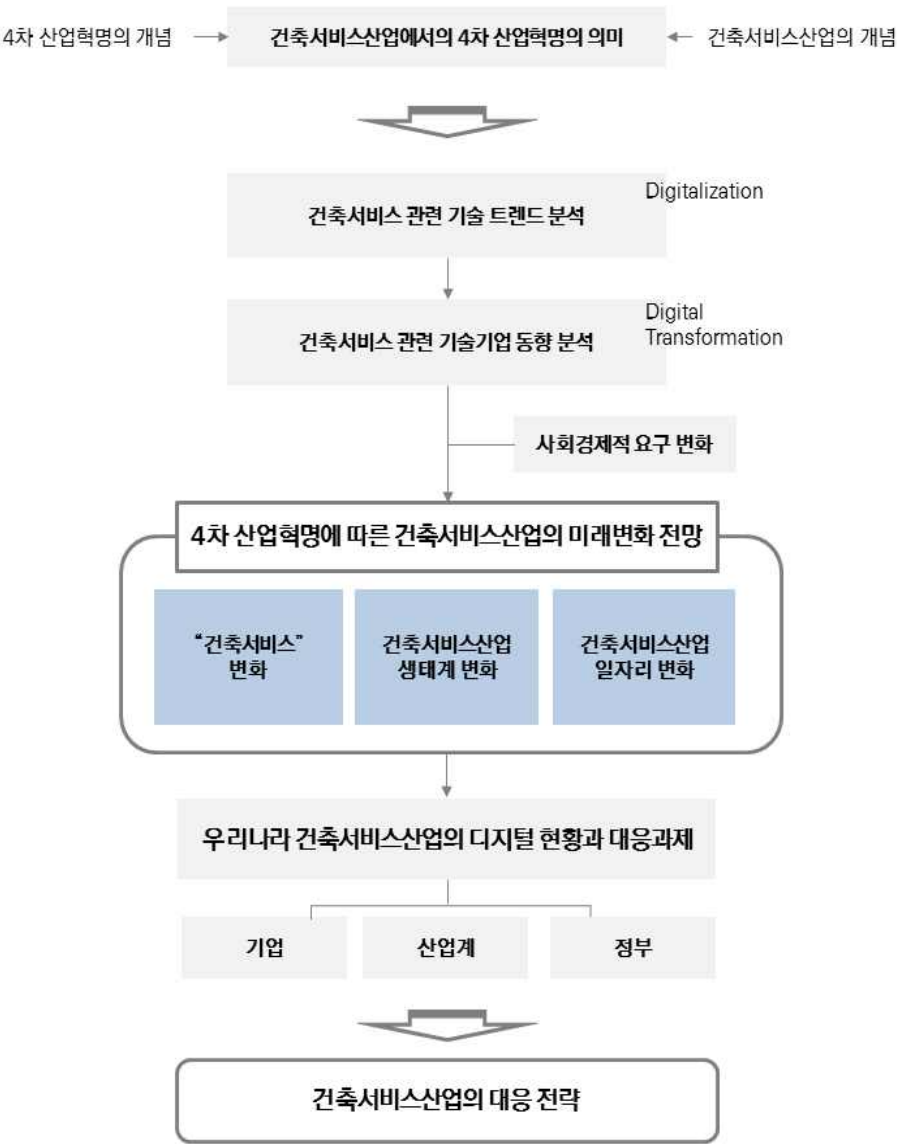
[그림 1~2] 트렌드의 라이프사이클

(출처: Graham Molitor, Wendy Shultz and Everett Rogers: Maree Conway(2014), p.19에서 재구성한 자료 인용)

□ 미래전망을 위한 시나리오 작성 및 전문가 자문

현재 건축서비스산업 트렌드가 산업 전반에 확산될 것을 가정하여 미래 시나리오를 제시하고 이를 건축서비스사업자 및 전문가와 공유하여 미래 전략을 함께 모색하였다.

3) 연구흐름



[그림 1-3] 연구흐름도

제2장 건축서비스산업에서 제4차 산업혁명의 의미

- 1. 제4차 산업혁명의 개념과 영향
 - 2. 건축서비스산업에서 제4차 산업혁명의 의미
-

1. 제4차 산업혁명의 개념과 영향

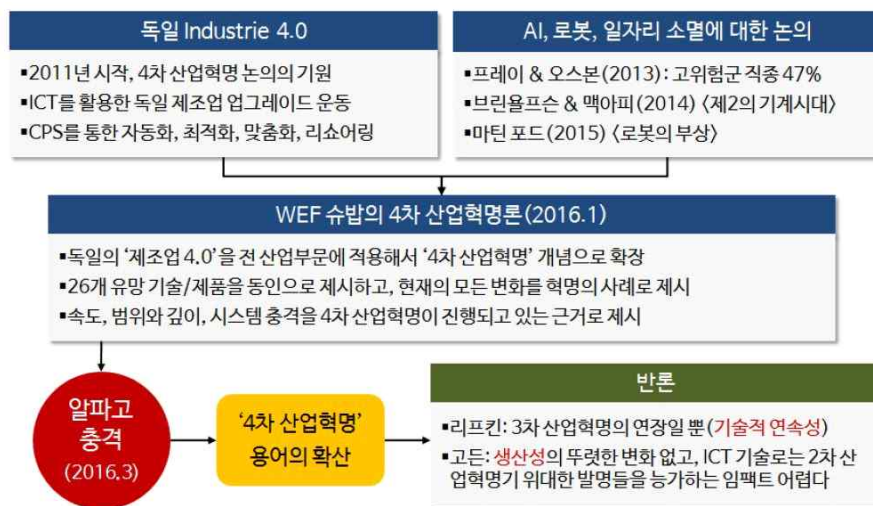
1) 제4차 산업혁명의 개념 고찰

□ 제4차 산업혁명 개념과 다양한 해석

‘제4차 산업혁명’이란 용어는 2016년 세계경제포럼(WEF)의 의제로 채택된 이후 전 세계적인 화두로 떠오르고 있으나 그 개념에 대해서는 다양한 해석과 논란이 많다.

세계경제포럼 회장인 클라우스 슈밥(Klaus Schwab)은 제4차 산업혁명을 디지털 혁명을 기반으로 하는 물리학·디지털·생물학 기술의 상호 융합이라 설명한다. 그에 따르면 제1차 산업혁명은 수력과 증기력을 사용하여 기계화된 생산이 시작되었고, 제2차 산업혁명은 전기력을 사용하여 대량생산 시스템을 갖추게 되었으며, 제3차 산업혁명은 전자공학과 정보기술을 사용하여 자동화 생산이 가능하게 되었다면 제4차 산업혁명은 제3차 산업혁명인 디지털 혁명을 토대로 하며 물리학, 디지털, 생물학의 경계가 모호하게 되는 기술간 융합으로 특징지을 수 있다. 또한 그는 제4차 산업혁명이 제3차 산업혁명과 구별되는 차별성으로 ‘변화의 속도’, ‘범위와 깊이’, ‘시스템 충격’이 전례가 없기 때문이며 이로 인해 발생하게 될 전 세계적인 노동 및 생산의 급진적인 변화와 사회적 충격에 대응하기 위해 국제적인 협력이 필요하다고 주장하고 있다.¹⁾

WEF가 제시하는 ‘제4차 산업혁명’은 최근 급속도로 발전하고 있는 기술의 속성과 영향에 대한 여러 논의와 전락을 배경으로 하고 있는 것으로 보인다. 김석관 외(2017)는 “슈밥(2016)의 4차 산업혁명론은 인공지능과 일자리에 관한 논의들에서 핵심적인 내용을 가져오고, 독일의 인더스트리 4.0에서 외피를 가져와 조합한 것”이라 정리하고 있다.²⁾ 장윤중 외(2017)는 제4차 산업혁명에 대한 다양한 해석이 서로 다른 것이 아니라 “디지털 전환론은 4차 산업혁명으로의 이행과정을 강조하고 사이버물리시스템(CPS)은 4차 산업혁명의 지향점에 초점을 둔 것이며 인공지능 주도론은 4차 산업혁명의 수단에 초점을 둔 것이라고 할 수 있다. 기술융합론은 이와는 달리 기술혁명의 특징을 강조하는 것으로 해석할 수 있다.”고 말하고 있다.³⁾



[그림 2-1] 4차 산업혁명론의 기원과 확산
(출처: 김석관 외(2017), p.6, [그림 1-2])

그러나 제4차 산업혁명의 개념은 학술적으로 심도 있게 정리된 바가 아니며 생산성 향상의 측면에서 새로운 혁명으로 보기 어렵다거나(Robert J. Gordon) 추동 기술의 연속성 측면에서 제3차 산업혁명의 연장선이라는 반론(Jeremy Rifkin)도 있다.⁴⁾

1) Klaus Schwab(2016.1), "The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond", World Economic Forum(<https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>, 검색일 2018.12.15.)
2) 김석관 외(2017), 「4차 산업혁명의 기술 동인과 산업 파급 전망」, 과학기술정책연구원, p. ii.
3) 장윤중 외(2017), 「4차 산업혁명의 글로벌 동향과 한국 산업의 대응전략」, 산업연구원, p.33.
4) 김석관 외(2017), 「4차 산업혁명의 기술 동인과 산업 파급 전망」, 과학기술정책연구원, pp.23~28 참고.

[표 2-1] 4차 산업혁명 관련 기존 논의의 주요 쟁점

저자	기존 주장과 산업혁명에 대한 입장	일자리 전망과 대안	용어 및 시기 구분 (3차 vs. 4차)
브린 올프슨 & 맥아피(2014)	■ 1970년대 시작된 디지털화는 기하급수적으로 발전하는 디지털 기술의 특성으로 인해 최근 큰 변화가 발생하는 '변곡점'에 도달 ■ 생산성 상상을 지지하면서도 그것이 본격화되기까지 시간이 필요하고, 인터넷 시대에는 지표화되지 않는 소비자가 잉여도 많다는 입장 ■ 시로 인한 노동대체, 일자리 양극화, 소득 격차 심화 전망	■ 조심스런 비판: 시와 인간의 협업 가능성을 열어 놓았으나, 시와 인간의 경계선을 예단할 수는 없고, 인간은 변화에 대한 적응력을 높이는 것이 필요 ■ 일자리 감소에 대비해서 기본소득을 검토할 것을 권고하지만, 인간에게 노동은 소득 수단 이상의 의미를 지니므로, 역소득세와 같이 노동을 전제로 하는 대안 선호	■ 제1의 기계시대(1,2차 산업혁명)와 제2의 기계시대 ■ 1970년대 시작된 제2의 기계 시대는 디지털 기술의 기하급수적 발전으로 2006년 이후 '변곡점', '체스판의 후반부'가 시작되었다고 주장 ■ '3차', '4차' 용어는 사용하지 않으나, 내용적으로는 3차 산업혁명의 지속을 전제, 그러면서도 최근의 변화 속도가 빨라졌다는 점도 지적
포드(2015)	■ AI, 로봇, 자동화로 인한 대규모 실직 위험에 초점 ■ '이번에는 다르다', 화이트 칼라도 실직 위험에 처할 것 ■ 생산성 향상과 임금 상승 사이의 정의 관계 파괴, 노동 소득 축소, 불평등 심화	■ 매우비관적: 시와 인간의 협업 가능성도 낮다고 봄 ■ 대량 실업으로 인한 수요 실종 문제를 해결하기 위해 기본소득 도입을 권고하면서, 부작용을 최소화하기 위한 인센티브 구조 설계를 중시	■ 시기, 연대, 차수 구분에 무관심
슈밥(2016)	■ 디지털 혁명을 기반으로 디지털, 물리학, 생물학이 융합하는 4차 산업혁명 진행 중 ■ 경제, 기업, 국가, 사회, 개인에게 큰 영향을 미칠 것	■ 자동화로 인한 일자리 축소, 노동시장 양극화, 리쇼어링으로 인한 개도국 피해, 승자독식 사회를 전망 ■ 특별한 대안 제시 없음	■ 21세기의 시작과 함께 4차 산업혁명이 시작됨 ■ 3차와 다른 새로운 산업혁명의 판별 기준으로 속도, 범위, 시스템 충격을 제시
리프킨(1995) (2011)(2014) (2016)	■ 산업 인프라의 3대 요소(에너지, 통신, 교통)가 변하는 3차 산업혁명이 진행 중 ■ 재생에너지와 인터넷의 결합으로 분산 에너지 시스템이 발달하고, 사회도 분권화 ■ 한계비용 제로 사회가 도래해서 시장경제와 임금 노동이 축소되고 협력적 공유 사회가 도래할 것	■ 극단적 비판: 소득을 위해 일하는 시장 노동의 종말 ■ 현재의 직업 노동이 소멸하면서 그 대안으로 시민사회, 공유경제 등 비시장 노동이 중요하게 부상할 것 ■ 각자 생산해낸 풍부한 자원을 공유하는 협력적 공유 사회가 도래할 것	■ 2차 대전 이후 정보화를 통한 3차 산업혁명 시작(1995) ■ 재생에너지와 인터넷이 결합된 3차 산업혁명 도래(2011) ■ 새로운 산업혁명을 위해서는 에너지-통신-교통 시스템의 변화가 필요(2014, 2016) ■ 지금은 3차가 진행 중이고, 4차 산업혁명이 시작되었다는 슈밥의 주장은 잘못된
고든(2016)	■ 2차 산업혁명기의 발명은 전례 없는 성취이며, 1970년까지 큰 생산성 증가가 나타남 ■ 1970년대 이후 정보화로 인한 생산성 증가는 미미하며, 혁신의 수확체감이 나타남	■ 일자리 감소의 증거는 없으며, 로봇과 AI로 인한 실업 사태도 없을 것 ■ 노동자 소득의 하락, 중간층 실업 증가, 불평등의 심화는 지속되고 있음	■ '2차 산업혁명'과 '3차 산업혁명' 용어를 사용하지만, '2차'의 독특성을 강조 ■ 4차 산업혁명은 3차 산업혁명의 연속에 불과(국내 신문과의 인터뷰)

출처: 김석관 외(2017), 「4차 산업혁명의 기술 동인과 산업 파급 전망」, pp.8~9 (표 1-1)

[표 2-2] 각 산업혁명의 역사적 전개와 특징

구분	1차 산업혁명	2차 산업혁명	3차 산업혁명	4차 산업혁명
시기	1760~1830 (1750~1850)	1870~1920 (1850~1930)	1960~? (1945~?)	2000년대 이후
주도 국가	영국	독일, 미국	미국, 일본	
주요 산업	면공업, 철공업, 증기기 관, 공작기계	염료산업, 전기산업, 통 신, 자동차	컴퓨터, 반도체, 자동 화, 인터넷	
주요 기술 혹은 사건	- 1709 코크스 제철법 - 1769 수력방직기 - 1769 분리용축기 - 1776 와트의 증기기관 - 1783 회전식 증기기관 - 1785 역직기 - 1789 방직과 증기기관 - 의결찰판 - 1797 나사절삭용 선반 - 1804 증기기관차 - 1830 리버풀-맨체스터 철도	- 1856 전로법 - 1856 인공염료 - 1876 전화 - 1879 백열등 - 1886 기술린 자동차 - 1888 교류용 전동기 - 1896 무선전신 - 1903 비행기 - 1908 모델 T - 1914 컨베이어벨트	- 1946 애니악 - 1947 트랜지스터 - 1958 집적회로 - 1962 산업용 로봇 - 1969 PLC 모디콘084 - 1969 아르파넷 - 1973 DNA 재조합 기술 - 1977 애플 II - 1981 IBM 호환용 PC - 1994 인터넷 대중화	
혁신동인	증기기관 (Steam Power)	전기에너지 (Electric Power)	컴퓨터, 인터넷 (Electronics & IT)	IoT, 빅데이터, AI 기반 초연결 (Hyper-Connection , CPS)
	동력원의 변화(유형자산 기반)		정보처리 방식의 변화(무형자산 기반)	
특징 원인	기계화	전기화	정보화	지능화
결과	산업화 (Industrialisation)	대량생산 (Mass Production)	자동화(Automation) 기계, SW가 데이터를 생산	자율화(Automisation) 데이터가 기계, SW를 제어
현상	영국 섬유공업의 거대 산업화	컨베이어 벨트 활용 기 반 대량생산 달성한 미 국으로 패권 이동	인터넷 기반의 디지털 혁명, 미국의 글로벌 IT기업 부상	사람-사물-공간의 초연결, 초지능화를 통한 산업구조 개편
과학기술 적 변화	■ 기술혁신의 상호연관 성 강화 ■ 과학과 기술의 간접 적 연결	■ 오늘날의 많은 기술 시스템 출현 ■ 과학의 내용이 기술 에 활용되기 시작	■ 다양한 기술의 결합 혹은 융합 ■ 과학과 기술이 밀착 되어 '과학기술' 탄생	
경제적 구 조의 변화	■ 공업 중심의 경제로 전환 ■ 지속적인 경제성장 의 국면에 진입	■ 대기업이 경제성장 을 주도하기 시작 ■ 후발공업국의 본격적 산업화	■ 벤처기업이 중요한 혁신 주체로 등장 ■ 세계 경제의 서비스 화 및 글로벌화	
사회문화 적 변화	■ 계급사회의 형성과 기계파괴운동	■ 기술에 대한 인류의 의존도 심화	■ 첨단기술의 사회적 문제 대두	
관련 단어	■ 공장제, 공업사회, 자본주의	■ 후발산업화, 경영혁 명, 포드주의	■ 탈산업사회, 제3물 결, 정보혁명	

출처: 송성수(2017.2.1), p.5; 김상훈(2017.5), p.69 내용을 재구성(김상훈(2017.5)의 내용은 음영으로 표기)

국내에서는 이러한 차수 논쟁에 대해 김석관 외(2017)는 제4차 산업혁명에서 제시하는 핵심 기술이 디지털 기술의 연장선이며 이로 인한 생산성 증가가 아직 일어나지 않았다는 점에서 제3차 산업혁명이 진행 중인 것으로 인식하는 것이 자연스럽다고 해석하고 있다.⁵⁾ 반면 장윤종 외(2017)은 과거와의 단절만을 산업혁명의 요소로 보지 않고, 제3차 산업혁명(디지털혁명)을 통해 축적된 디지털 정보를 분석하여 최적화를 달성하는 완성형으로서 제4차 산업혁명을 인정하는 해석도 존재한다.⁶⁾

위와 같은 엇갈리는 해석에도 불구하고 ‘제4차 산업혁명’은 학술적으로 정착된 용어는 아니지만 미래사회에 대응하기 위한 일종의 작업가설이자 시나리오로 이해하는 것은 유의미하며⁷⁾, 이론보다는 현안을 해결하기 위한 전략 목표로 접근하는 것이 유용하다⁸⁾는 것이 우리 사회에 널리 퍼져있는 인식이라 할 수 있다. 이와 같은 관점에서 우리나라 4차산업혁명위원회는 제4차 산업혁명을 국가 차원에서 경제 성장과 사회문제 해결을 동시에 달성할 수 있는 새로운 성장 기회⁹⁾로 인식하고 있다.

□ 제4차 산업혁명의 동인

WEF가 제기한 ‘제4차 산업혁명’의 토대가 된 독일의 제조업 혁신 전략인 Industrie 4.0에서는 사이버물리시스템(CPS, Cyber-Physical Systems)을 혁신 동인으로 제시하고 있다. 사이버물리시스템이란 용어는 2006년 미국 국립과학재단(the National Science Foundation)의 헬렌 길(Helen Gill)에 의해 등장한 것으로 알려져 있는데 이는 연산(computation), 네트워킹(networking)과 물리적 프로세스(physical processes) 간의 통합을 의미한다. 즉 사이버물리시스템은 물리적 세계와 가상의 세계가 상호 영향을 주는 순환 고리(feedback loop)를 통해 물리적 객체에 내장된 컴퓨터(embedded computers)와 네트워크가 물리적 프로세스를 관찰하고 제어하는 시스템을 말한다.¹⁰⁾

5) 김석관 외(2017), 「4차 산업혁명의 기술 동인과 산업 파급 전망」, 과학기술정책연구원, p.307.

6) 장윤종 외(2017), 「4차 산업혁명의 글로벌 동향과 한국산업의 대응전략」, 산업연구원, pp.36~38.

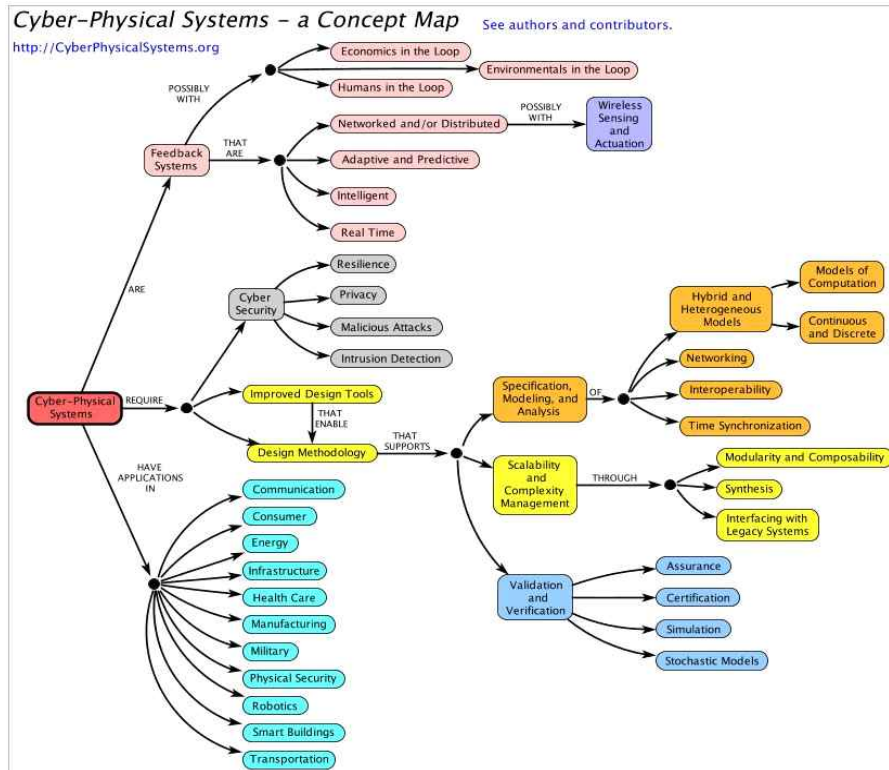
7) 송성수(2017.2.1), “역사에서 배우는 산업혁명론: 제4차 산업혁명과 관련하여”, STEPI Insight Vol.207, 과학기술정책연구원, p.29.

8) 최병삼 외(2017.6.30), “제4차 산업혁명의 도전과 국가전략의 주요 의제”, STEPI Insight Vol.215, 과학기술정책연구원, p.11.

9) 관계부처 합동(2017.11), “혁신성장을 위한 사람 중심의 4차 산업혁명 대응계획”, p.7.

10) “Cyber-Physical Systems (CPS) are integrations of computation, networking, and physical processes. Embedded computers and networks monitor and control the physical processes, with feedback loops where physical processes affect computations and vice versa.”(<https://ptolemy.berkeley.edu/projects/cps/>, 검색일 2018.10.15)

사이버물리시스템은 공장, 자동차, 주택 등 물리적 세계의 개체들로부터 발생하는 정보를 센서, 액추에이터, 임베디드 시스템 등을 통해 디지털화하고 이를 통해 물리적 현상을 관찰, 계산 및 조작함으로써 사이버-물리 세계 간의 협력적 관계를 구축한다. 이러한 시스템은 물리적 세계에 대한 보다 많은 정보를 보다 명확하게 분석하여 물리적 세계의 개선에 신속하게 반영할 수 있으며 인간의 개입을 최소화하여 자율화된 시스템을 가능하게 할 수 있다.¹¹⁾



[그림 2-2] Cyber-Physical Systems 컨셉 지도

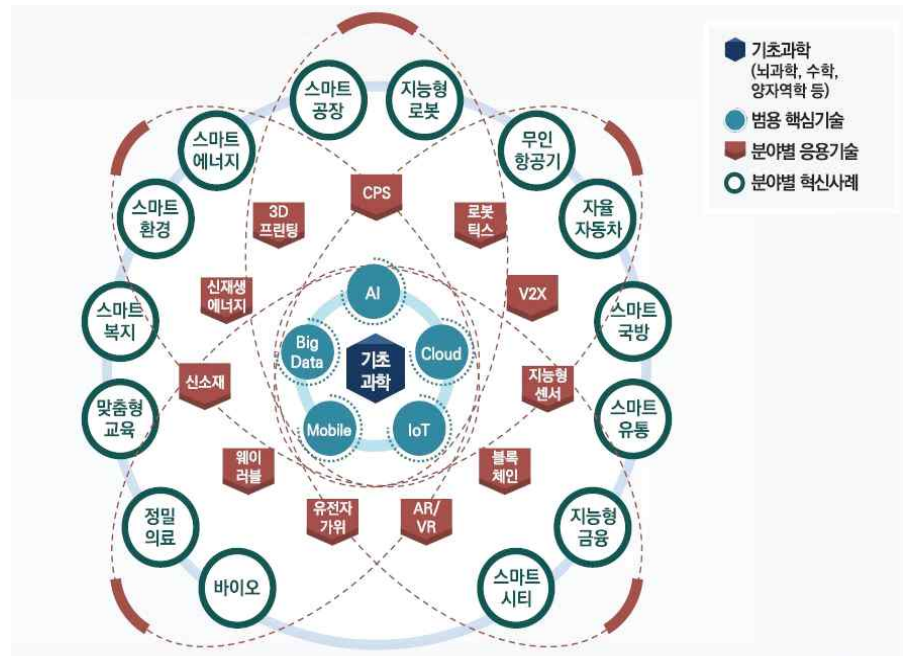
(출처: <https://ptolemy.berkeley.edu/projects/cps>, 검색일 2018.10.15.)

독일은 인더스트리 4.0에서 사이버물리시스템을 산업 혁신을 위한 새로운 생산 시스템으로 받아들여 제조와 물류를 기술적으로 통합하고, 산업 프로세스에서 사물인터넷(Internet of Things)과 서비스인터넷(Internet of Services)을 사용하여 새로운 가치와 비즈니스 모델 창출을 도모하고 있다.¹²⁾

11) 은용순 외(2013), “사이버물리시스템 연구 동향”, 『정보과학회지』 31(12), 한국정보과학회, pp.8~15.

12) BMBF(Federal Ministry of Education and Research)(2013), *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*, p.14.

우리나라 4차산업혁명위원회는 제4차 산업혁명을 ‘디지털 기술로 촉발되는 초연결 기반의 지능화 혁명’으로 정의하고 있으며, ‘산업혁명’이란 범용기술에 의한 사회의 혁명적 변화를 의미한다는 관점에서 인공지능, 빅데이터 등 디지털 기술을 4차 산업혁명의 핵심 동인으로 해석하고 이를 중점적으로 육성하는 것을 목표로 하고 있다.¹³⁾



[그림 2-3] 4차 산업혁명 관련 과학기술-산업 간 연계도

(출처: 4차산업혁명위원회(2017.10), “4차 산업혁명 대응을 위한 기본 정책방향” 발표자료에서 발췌)

4차산업혁명위원회는 국가 차원의 대응방안 중 건축 분야 관련하여 도시문제의 효율적 해결방안이자 제4차 산업혁명 관련 신기술의 성과 가시화를 위한 방안으로서 ‘스마트 도시’ 확산을 중점적으로 추진¹⁴⁾하고 있다. 스마트 도시 확산은 건축물과 도시 인프라 및 각종 데이터의 연결 강화로 이어져 건축물의 기능과 건축서비스에 대한 요구가 점차 변화할 것으로 예상된다. 4차산업혁명위원회가 제시하고 있는 4차 산업혁명 대응계획 중 건축(물)과 직접적으로 관련된 맞춤형 기술로는 디지털 트윈¹⁵⁾, 스마트홈이 언급되고 있으며, 간접적으로는 스마트 도시의 네트워크, 빅데이터 등 정보통신 인프라, 스마트그리드 등으로 건축물 설계 및 유지관리 여건의 변화를 가져올 것으로 예상된다.

13) 4차산업혁명위원회(2017.10), “4차 산업혁명 대응을 위한 기본 정책방향”, p.1.

14) 4차산업혁명위원회(2018.1.29), “스마트시티 추진전략”.

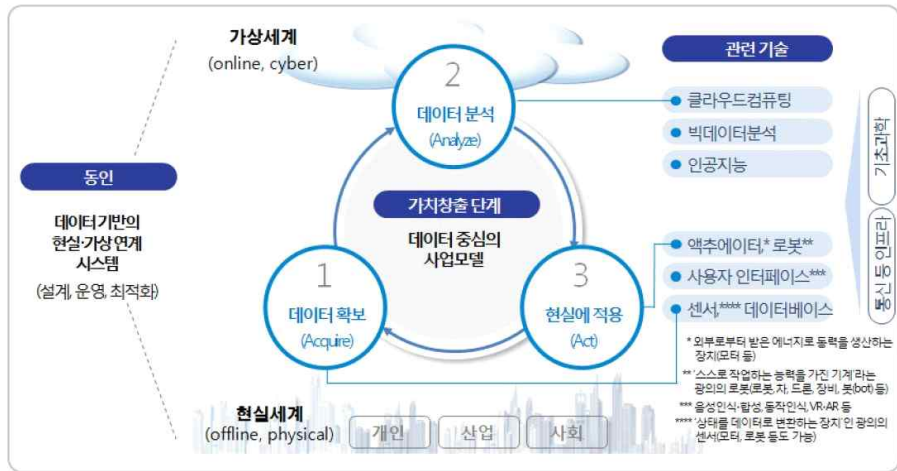
15) 실제공간의 데이터를 공간정보화(가상화)하여 건축물 등의 재난 대응 및 유지관리에 활용 가능.



[그림 2-4] 도시 발전과 기술 수준을 고려한 융복합 예시
(출처: 4차산업혁명위원회(2018.1), "스마트시티 추진전략", p.14)

최병삼 외(2017)는 제4차 산업혁명의 동인으로 인공지능 등 일부 ICT 기술만을 주목하는 것은 제4차 산업혁명의 광범위하고 복합적인 속성을 간과하는 것이며 로봇 등의 하드웨어 기술이나 다양한 기술을 결합한 시스템도 중요하게 다룰 필요가 있다고 지적하고 있다. 따라서 제4차 산업혁명의 혁신 동인을 하드웨어, 소프트웨어, 네트워크, 데이터 중심의 사업모델 등을 결합한 시스템의 의미로 '데이터 기반의 현실·가상 연계 시스템'을 혁신 동인으로 정의하고, 이는 사이버물리시스템의 개념을 데이터 중심으로 해석하여 전 산업 및 사회로 확대 적용하는 것이라 밝히고 있다.¹⁶⁾

16) 최병삼 외(2017.6.30), "제4차 산업혁명의 도전과 국가전략의 주요 의제", STEPI Insight Vol.215, 과학기술정책연구원, pp.13~15.



[그림 2-5] 데이터 기반의 현실·가상 연계 시스템
(출처: 최병삼 외(2017.6.30.), p.14 [그림3])

[표 2-3] 기관별 4차 산업혁명의 추동 기술 정의

출처	4차 산업혁명의 추동 기술		특징
슈밥(2016) (WEF)	· 인공지능 · 로봇틱스 · 사물인터넷 · 자율주행차 · 3D 프린팅	· 나노기술 · 바이오기술 · 재료과학 · 에너지저장 · 양자컴퓨팅 등 26개	최신 ICT 기술들과 함께 바이오, 소재, 에너지 관 련 기술을 총망라
Cordes & Stacey(2017) (BCG)	· 로봇틱스 · 산업인터넷 · 시뮬레이션 · 클라우드/ 사이버보안	· 적층 제조 · 증강현실 · 빅데이터 분석 · 수평/수직통합	제조혁신 관점의 미래 기술에 초점
이재원(2016) (한국은행)	· 인공지능 · 빅데이터	· 로봇공학 · 사물인터넷 · 3D 프린팅	최신 ICT 기술 중심
정보통신기술진흥센터 (2016)	· 인공지능 · 빅데이터	· CPS · 사물인터넷	최신 ICT 기술 중심이며 CPS를 별도 기술로 구 분
관계부처 합동 (2016.12.27.)	· 인공지능 · 사물인터넷	· 모바일 · 클라우드 · 빅데이터	기존 ICBM에 인공지능 을 추가

출처: 장윤중·김석관 외(2017), p.54 <표 2-1-1>

장윤종·김석관 외(2017)는 제4차 산업혁명의 기술 동인에 관한 다양한 정의를 요소기술, 시스템, 트렌드 등 3개의 층위로 정리·해석하고 있다. 이에 따르면 제4차 산업혁명의 핵심 요소기술은 사물인터넷, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터 분석, 인공지능, 로봇 등 5가지이며, 이러한 5대 핵심기술이 상호 연계되어 앞서 언급한 최병삼 외(2017)가 제시하는 바와 같이 ‘데이터 기반 가치창출 시스템’이 만들어진다. 거시 트렌드 수준의 동인은 디지털 전환으로 이는 1970년대부터 시작된 디지털 전환이 심화되어 산업과 사회가 디지털화되면서 생산성이 향상되고 새로운 비즈니스가 생겨나며 소비자 편익을 증진시키는 현상을 의미한다고 정의하고 있다. 또한 위의 보고서에서는 4차 산업혁명을 디지털 전환의 심화로 이해하는 것이 기술적 연속성 측면에서 자연스럽고, 여러 분야에 걸쳐 광범위하고 다양한 양상으로 전개되는 4차 산업혁명에 대응하기 위한 전략(“디지털 전환을 어떻게 빠르고 효과적으로 이룰 것인가?”)을 수립하는 데 용이하다고 말한다.¹⁷⁾

[표 2-4] 4차 산업혁명의 기술 동인에 대한 세 가지 층위의 정의

층위	(미시)요소기술	(중간)시스템	(거시)트렌드
명칭	5대 핵심기술	데이터 기반 가치창출 시스템	디지털 전환의 심화
내용	■ 사물인터넷 ■ 클라우드 컴퓨팅 ■ 빅데이터 분석 ■ 인공지능 ■ 로봇	■ 5대 핵심기술은 서로 연계되어 데이터 기반 가치 창출 시스템을 구성 ■ 데이터를 매개로 가상세계와 현실세계를 결합하여 공정, 제품, 서비스, 비즈니스 모델 등을 혁신하고 새로운 가치를 창출하는 시스템	■ 디지털 전환: 산업과 사회의 각 부문이 디지털화되고 ICT가 적용되어, 생산성을 높이고, 새로운 비즈니스를 창출하며, 소비자 편익을 증진시키는 현상 ■ 4차 산업혁명은 1970년대부터 시작된 디지털 전환이 5대 핵심기술의 발전으로 더 심화되는 것

출처: 장윤종·김석관 외(2017), 앞의 책, p.55 <표2-1-2>

디지털 전환은 기술적 차원을 넘어 기업의 관점에서 디지털 기술을 통해 새로운 비즈니스 모델, 제품 및 서비스를 창출하여 고객 및 시장의 파괴적인 변화에 적응하거나 이를 추진하는 지속적인 프로세스로 정의할 수 있다.¹⁸⁾

디지털 전환의 과정은 아날로그 정보를 디지털 형태로 바꾸는 과정에 해당하는 Digitization¹⁹⁾과 디지털 기술을 도구로써 사용하여 새로운 수익과 가치 창출의 기회를

17) 장윤종·김석관 외(2017), 「제4차 산업혁명의 경제사회적 충격과 대응 방안: 기술과 사회의 동반 성장을 위한 정책 과제」, 제1권, 경제·인문사회연구회, p.55, pp.80~82.

18) LG CNS, IT Insight(2017.4.19.), “Digital Transformation, 어떻게 시작할까?”(<http://blog.lgcns.com/1369>, 검색일 2018.7.7.). 참고.

마련하는 단계인 Digitalization²⁰⁾을 거쳐 디지털 기술 및 지원 능력을 이용하여 탄탄한 새로운 비즈니스 모델의 창출, 기업의 조직 또는 산업 구조 자체의 근본적인 모드 전환으로 이어지는 것을 의미한다.²¹⁾

[표 2-5] 디지털 전환(Digital Transformation)의 정의

주체	정의
Bain & Company	디지털 엔터프라이즈 산업을 디지털 기반으로 재정 의하고 게임의 법칙을 근본적으로 뒤집음으로써 변화를 일으키는 것임
AT Kearney	모바일, 클라우드, 빅데이터, 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT) 등 디지털 신기술로 촉발되는 경영 환경상의 변화에 선제적으로 대응하고 현재 비즈니스의 경쟁력을 획기적으로 높이거나 새로운 비즈니스를 통한 신규 성장을 추구하는 기업 활동
PWC	기업경영에서 디지털 소비자 및 에코시스템이 기대하는 것들을 비즈니스 모델 및 운영에 적용시키는 일련의 과정임
Microsoft	고객을 위한 새로운 가치를 창출하기 위해 지능형 시스템을 통해 기존의 비즈니스 모델을 새롭게 구성하고 사람과 데이터, 프로세스를 결합하는 새로운 방안을 수용하는 것임
IBM	기업이 디지털과 물리적인 요소들을 통합하여 비즈니스 모델을 변화(Transform)시키고 산업(Entire Industries)에 새로운 방향(New Directions)을 정립하는 것임
IDC	고객 및 마켓(외부환경)의 변화에 따라 디지털 능력을 기반으로 새로운 비즈니스 모델, 제품 서비스를 만들어 경영에 적용하고 주도하여 지속가능하게 만드는 것임
WEF	디지털 기술 및 성과를 향상시킬 수 있는 비즈니스 모델을 활용하여 조직을 변화시키는 것임
Shahyan	디지털라이제이션에 의한 총체적인 사회적 파급효과
이지호	기존산업의 게임의 법칙을 디지털 기술을 활용하여 뒤집어엎는 과정으로 디지털 엔터프라이즈가 수행하는 역할

출처: 김형택 외(2017); Shahyan(2017); 이지호(2016); 장윤종·김석관 외(2017), p.81에서 재인용

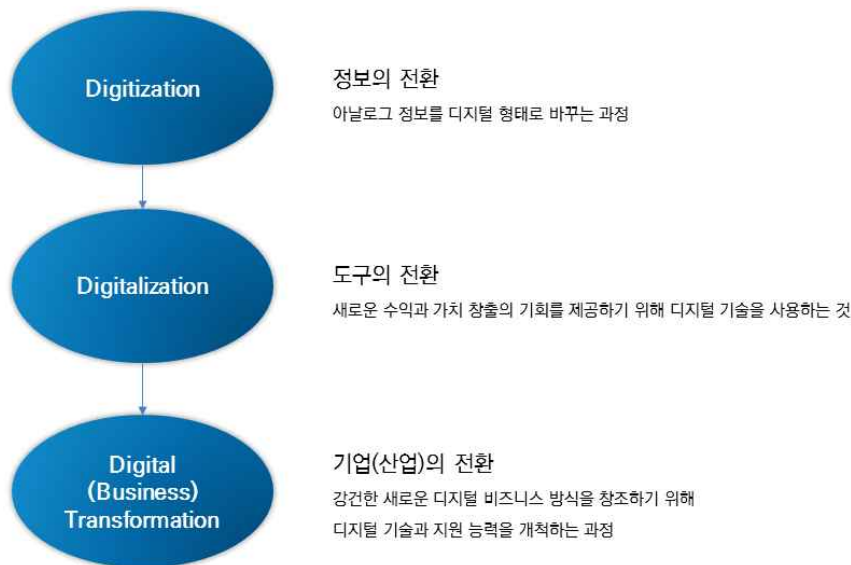
19) "Digitization is the process of changing from analog to digital form, also known as digital enablement. Said another way, digitization takes an analog process and changes it to a digital form without any different-in-kind changes to the process itself."(Gartner IT Glossary, <https://www.gartner.com/it-glossary/digitization>, 검색일 2018.7.7.).

20) "Digitalization is the use of digital technologies to change a business model and provide new revenue and value-producing opportunities; it is the process of moving to a digital business."(Gartner IT Glossary, <https://www.gartner.com/it-glossary/digitalization>, 검색일 2018.7.7.).

21) "Digital business transformation is the process of exploiting digital technologies and supporting capabilities to create a robust new digital business mode."(Gartner IT Glossary, <https://www.gartner.com/it-glossary/digital-business-transformation>, 검색일 2018.7.7.).

□ 제4차 산업혁명에 대한 본 연구의 관점

앞서 살펴본 바와 같이 제4차 산업혁명은 그에 대한 논의가 완성되거나 명확한 미래상이 제시된 것이 아니라 현재 진행형인 개념이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 차수에 대한 논의나 이상적인 지향점을 면밀하게 탐구하기보다는 제4차 산업혁명이 내포하고 있는 유용성과 영향력에 방점을 두고 그 이행과정으로서 건축서비스산업의 디지털 전환에 초점을 맞추고자 한다. 이와 같은 관점에서 현재 진행 중인 건축서비스산업에서 디지털 도구의 전환(Digitalization)과 이에 따른 기업 또는 산업의 디지털 전환(Digital Transformation) 동향을 파악하는 것을 일차적인 목표로 삼고 이를 토대로 미래변화를 전망할 필요가 있다.



[그림 2-6] 디지털 전환의 단계
(출처: 연구자 작성)

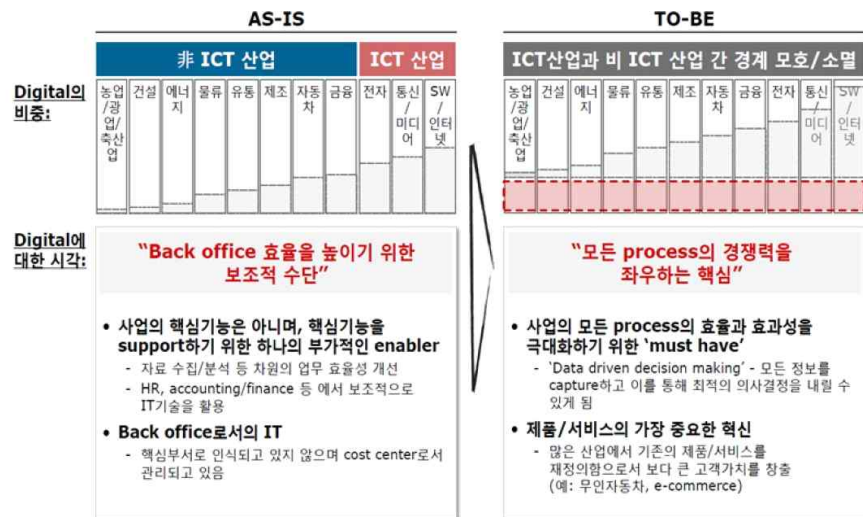
건축서비스산업의 디지털 전환에 초점을 맞추기 위해 기술 동인의 측면에서는 인공지능, 빅데이터, 사물인터넷, 클라우드 등 범용 핵심기술(GPT, General Purpose Technology)이 적용 또는 융합되는 양상을 파악하기보다는 건축서비스산업에 직접적으로 적용되거나 개발되고 있는 응용기술의 트렌드를 파악하는 것이 보다 효과적일 것으로 생각된다. 또한 건축서비스산업이 건축물이라는 물리적 개체를 다루고 있는 것임을 고려할 때 잠정적으로 가상 세계를 통해 물리적 세계의 개선을 도모하는 사이버물리 시스템의 개념을 기술의 지향점으로 간주할 수 있을 것이다.

2) 제4차 산업혁명으로 인한 산업의 변화

□ 제4차 산업혁명이 산업에 미치는 영향과 범위

클라우드 슈밥은 제4차 산업혁명에 따라 효율성과 생산성이 장기간에 걸쳐 향상되면서 생산 비용이 줄어들어 새로운 시장이 생겨나고 경제가 성장할 것이라 전망한다. 반면 자동화 기술로 인한 노동 대체의 가능성과 경제적 불평등은 사회적 위협으로 작용할 수 있다고 강조한다. 또한 그는 제4차 산업혁명이 비즈니스에 미치는 네 가지 중요한 변화로 소비자 기대, 제품 향상, 협력적 혁신, 조직 형태를 들고 있다. 제4차 산업혁명 기술로 인해 혁신 기업은 품질, 속도, 가격이라는 가치 전달 방식을 개선하여 기존의 가치사슬을 붕괴시키고, 데이터 접근방식의 보편화로 인해 소비자 중심으로의 경제로 전환되기 때문에 이에 대응하기 위해 새로운 형태의 협력과 조직 형태가 요구된다고 보았다.²²⁾

제4차 산업혁명이 산업에 미치는 영향은 광범위하고 다양하게 나타나 이를 구체적으로 예측하기는 어려울 것이나 이미 여러 산업 부문에 걸쳐 디지털화가 진행되고 있는 것만은 자명한 사실이다.



[그림 2-7] 국내 산업별 디지털화 현황 및 전망

(출처: 이지효(2016.6), p.6; 장윤중·김석관 외(2017), p.83에서 재인용)

22) 클라우드 슈밥 외 26인(2016), 「4차 산업혁명의 충격」, 포린 어페어스 엮음, 김진희 외 옮김, 흐름출판, pp.21~23 참고.

이러한 디지털 전환으로 인한 영향은 기존 기업의 경쟁력을 강화하는 수준에서 산업 구조(생태계) 자체의 변화까지 다양한 범위에서 나타날 수 있다.²³⁾

[표 2-6] 디지털 전환의 파급 범위의 다양성

구분	내용
공정 혁신	자동화, 무인화가 제조업과 서비스업에서 광범위하게 전개
제품/ 서비스 혁신	새로운 제품(자율주행차)과 서비스(P2P 대출)의 출현
비즈니스 모델 혁신	새로운 비즈니스 모델의 등장(차량공유 서비스)
산업 생태계 변화	주도 기업의 쇠퇴와 신규 기업의 진입, 보완적 가치사슬의 확대 등
산업 경계의 변화	제조업의 서비스화 촉진(산업용 장비), 신산업(서브섹터)의 등장과 확대

출처: 김석관 외(2017), p.288 <표 5-1>

□ 기업의 경쟁력 강화(산업 생산성의 증가와 공정 및 제품·서비스 혁신)

먼저 쉽게 예상할 수 있는 것은 디지털 기술 활용으로 산업 생산성이 증가하는 것이다.²⁴⁾ 이는 기존 기업의 경쟁력 강화의 측면으로 바라볼 수 있다. 산업 전반에 걸쳐 데이터 시스템을 통한 예측, 정확성 제고 효과를 토대로 각 산업의 생산성이 크게 증가할 것이며, 이는 초기에는 대기업이 중심이 되겠지만 데이터 관련 소프트웨어가 표준화되고 가격이 낮아지게 되면 중소기업들에도 보편화 될 것으로 전망된다.²⁵⁾ 또한 디지털 기술의 활용으로 공정 혁신과 제품 및 서비스 혁신이 일어날 것이다. 디지털 기술을 활용한 자동화, 무인화가 제조업과 서비스업에서 광범위하게 전개되면서 공정 혁신이 일어날 것이며, 새로운 비즈니스 모델이 생겨날 것으로 전망된다.²⁶⁾

□ 디지털 전환에 따른 산업 구조의 변화

디지털 전환에 따라 산업 구조의 변화도 필연적으로 발생할 것이다. 이는 전통적인 산업 영역에서 신기술을 가진 새로운 기업의 진입 또는 플랫폼 기업이 지배하는 구조로 변화할 수 있음을 의미한다. 기술이 급속도로 변화하는 시기는 새로운 기업의 진입으로 인한 산업구조의 변화 가능성을 내포하고 있다. 디지털 기술로 무장한 새로운 기업이 시장에

23) 김석관 외(2017), 「4차 산업혁명의 기술 동인과 산업 파급 전망」, 과학기술정책연구원, p.288.

24) Capgemini Consulting의 조사에 따르면 고도로 디지털화된 기업들이 동종업계의 다른 기업들에 비해 수익성은 26% 더 높고, 동일한 인력 및 고정자산으로 9% 더 높은 매출을 올리는 것으로 나타남(조지 웨스턴 외(2014), 「디지털 트랜스포메이션」, 최경은 옮김, e비즈니스, p.29).

25) 장윤중 외(2017), 「4차 산업혁명의 글로벌 동향과 한국산업의 대응전략」, 산업연구원, p.46.

26) 김석관 외(2017), 「4차 산업혁명의 기술 동인과 산업 파급 전망」, 과학기술정책연구원, p.288.

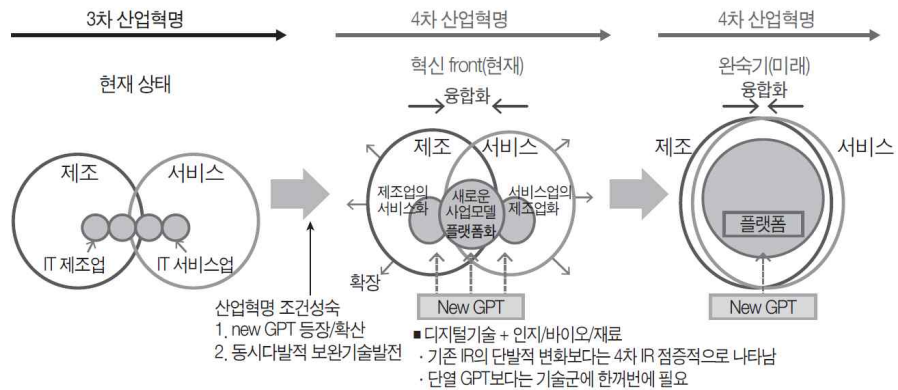
진입하여 기존 산업의 경쟁지형을 바꾸고 기존 기업을 도태시키거나 가치사슬에 큰 변화를 초래할 수 있다.²⁷⁾

김상훈(2017.5)은 4차 산업혁명 추진은 새로운 기술 및 솔루션을 제공하는 촉진기술(IT : Information Technology)과 새로운 기술을 적용해야 하는 생산·운영·관리 등 활용기술(OT : Operational Technology) 간 효과적인 융합을 통해서만 가능하다고 주장한다. 그러나 촉진기술 기업과 활용기술 기업이 상호 보완적인 관계일 수 있으나 촉진기술 기업(ICT)이 활용기술 기업의 생태계를 침범하는(파괴적인) 경우도 발생할 수 있다.²⁸⁾

[표 2-7] 4차 산업혁명과 IT-OT 융합

구분	주요역할	보유 기술의 특징	세부 내용	비고
Enabler (촉진자)	기술 공급자	Information Tech (IT)	4차 산업혁명의 기술 및 솔루션을 제공하는 ICT 등 관련 산업	4차 산업혁명은 IT-OT, 즉 Enabler-Adopter의 융합을 통하여 발생
Adopter (수용자)	기술 활용자	Operation Tech (OT)	4차 산업혁명의 새로운 기술이 적용되는 제조업 등 각종 산업	

출처: 김상훈(2017.5), p.75 <표 2>



[그림 2-8] 4차 산업혁명과 산업의 변화

주: GPT(General Purpose Technology)는 범용기술을 말함

(출처: 장윤종 외(2017), p.313 <그림 3-1-2>)

산업의 플랫폼화로 인한 산업 간 경계 파괴의 가능성도 존재한다. 4차산업혁명위원회는 데이터가 산업의 새로운 경쟁 원천이며, 데이터를 지속적으로 생성·활용하는 플랫폼 및

27) 김석관 외(2017), 「4차 산업혁명의 기술 동인과 산업 파급 전망」, 과학기술정책연구원, pp.289~298.
 28) 김상훈(2017.5), “4차 산업혁명 - 주요 개념과 사례 -”, 「산업경제」, 산업연구원, pp.74~76.

생태계 경쟁 중심으로 변화할 것으로 전망하고 있다.²⁹⁾ 초연결성 기반의 플랫폼이 발전하고 O2O, 공유경제와 같은 새로운 비즈니스 모델이 등장하면서 제조업, 서비스, IT 경제의 구분과 경계가 모호해지고 융합될 것으로 예상되고 있다.³⁰⁾ 이 때 주도권을 잡은 거대 플랫폼 기업들은 업역을 불문하고 시장에 진출할 높아질 것이며, 플랫폼에 종속된 제조업체 등은 고이윤 창출의 기회가 적어지고 독립적 성장이 불가능해질 수 있다.³¹⁾

[표 2-8] 디지털 전환으로 인한 산업구조의 변화 유형

구분	혁신의 성격	예시 영역	영향		한국의 산업혁신 전략 이슈	규제/제도 이슈
			산업적 영향	고용 영향		
① 산업구조 변화가 없는 경우(기존 기업 주도)	존속성	·스마트공장 ·제조업의 스마트화 ·산업인터넷 ·산업재제조업의 서비스화	·공정 혁신 ·리쇼어링 확대 ·제조업의 서비스 진출 ·공급산업 성장	·제조업 전반의 일자리 감소 ·공급산업 일자리 증가	·스마트공장 보급 ·리쇼어링 책과 연계 ·공급산업 육성	·노동유연화 ·수도권규제 (리쇼어링)
② 산업구조 변화가 있는 경우(ICT 기업, 스타트업 주도)	파괴적 (가능성)	·전기차+자율주행차 ·O2O(공유경제) ·핀테크	·기존 기업 쇠퇴 ·신규 진입자 (ICT기업, 스타트업) 부상 ·가치사슬 변화	·기존 기업 쇠퇴로 인한 일자리 감소 ·신규 진입자로 인한 일자리 증가	·국내 기존 기업의 대응전략 필요 ·신규 진입자 (ICT기업, 스타트업) 육성	·진입규제 ·벤처제도 ·데이터제도
	보완적	·스마트에너지 ·디지털헬스케어 ·리걸테크	·기존 조직 유지 ·보완적 가치사슬 발달 ·생태계의 복잡화	·기존 조직의 일자리 일부 감소 ·보완적 신규 진입자로 인한 일자리 증가	·새로운 생태계 육성 ·스타트업 육성	·진입규제 ·벤처제도 ·데이터제도
③ 신산업이 등장하는 경우	파괴적	?	·새로운 산업형성	·새로운 일자리 창출		

주: 여기서 산업구조가 변화는 경우는 선도기업이 바뀌거나 가치사슬에 큰 변화가 있는 경우로 한정
출처: 장윤중·김석관 외(2017), p.85

□ 일자리의 변화

제4차 산업혁명 또는 디지털 전환에 따른 미래 일자리에 대해서는 전망이 엇갈린다. 제4차 산업혁명 논의의 배경이 된 Frey & Osborne(2013)에서는 향후 10~20년 내에 디지털 기술로 인해 노동이 대체될 확률이 70% 이상인 고위험군 직업이 47%라고 추정하였

29) 4차산업혁명위원회(2017.10), “4차 산업혁명 대응을 위한 기본 정책방향”, p.2.

30) 장윤중 외(2017), 「4차 산업혁명의 글로벌 동향과 한국산업의 대응전략」, 산업연구원, p.313.

31) 장윤중 외(2017), 「4차 산업혁명의 글로벌 동향과 한국산업의 대응전략」, 산업연구원, pp.45~52.

다.³²⁾ 한편 세계경제포럼의 2016년 ‘일자리의 미래(Future of Jobs)’ 보고서에서는 2015~2020년 사이 일자리가 전체적으로 500만개 이상 줄어들 것으로 전망했으나³³⁾, 최근 보고서에서는 2022년까지 인간, 기계 및 알고리즘 간의 노동 분업의 변화로 인해 7,500만 개의 직무가 대체되는 반면 디지털 기술을 중심으로 하여 1억 3,300만 개의 새로운 직무가 등장할 수 있다고 전망하고 있다.³⁴⁾ 건축 부문에 있어서도 조사 방식 및 카테고리가 일치하지는 않지만 2016년에는 Architecture and Engineering 부문의 고용 성장률이 2.71% 증가할 것으로 전망했으나³⁵⁾, 2018년 보고서에서 링크드인(LinkedIn)과 함께 조사한 최근 동향에서는 적어도 건축가의 일자리는 감소한 것으로 나타나고 있다.³⁶⁾

The Jobs Landscape in 2022



[그림 2-9] WEF(2018) 일자리의 미래 보고서의 2022년 일자리 전망

(출처: WEF 웹사이트, <http://reports.weforum.org/future-of-jobs-2018/shareable-infographics/>, 검색일 2018.12.10.)

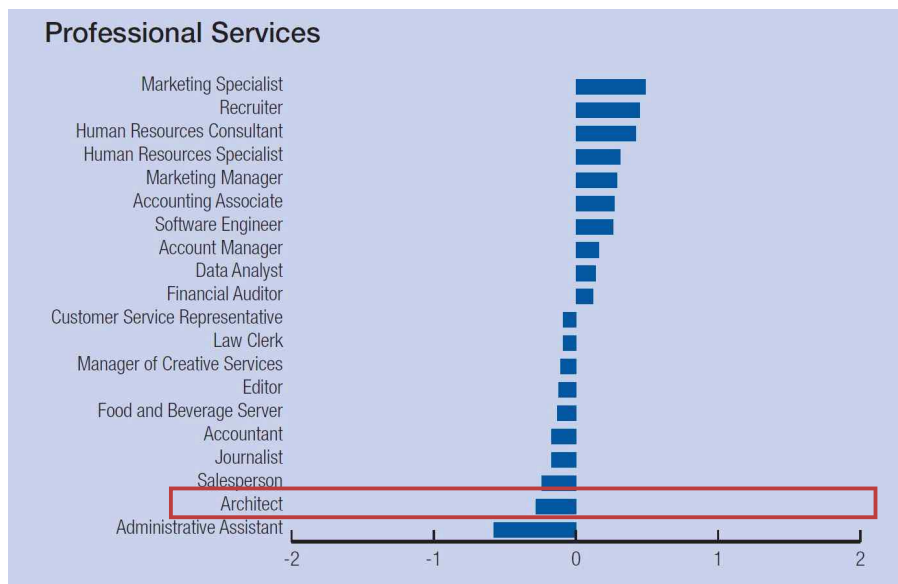
32) 장윤중·김석관 외(2017), 「제4차 산업혁명의 경제사회적 충격과 대응 방안: 기술과 사회의 동반 성장을 위한 정책 과제」, 제1권, 경제·인문사회연구회, p.94에서 재인용.

33) WEF(2016), *The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution*, p.15.

34) WEF(2018), *The Future of Jobs Report 2018*, viii.

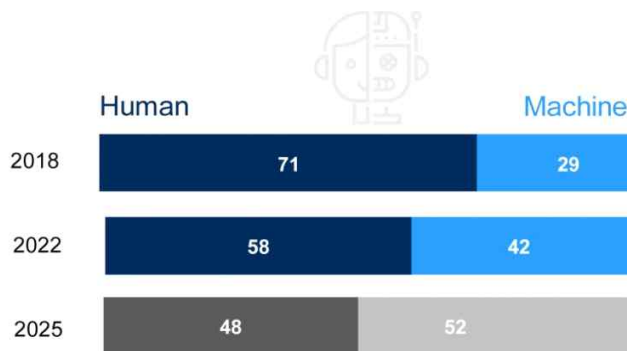
35) WEF(2016), *The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution*, p.12 Table 4.

36) WEF(2018), *The Future of Jobs Report 2018*, viii.



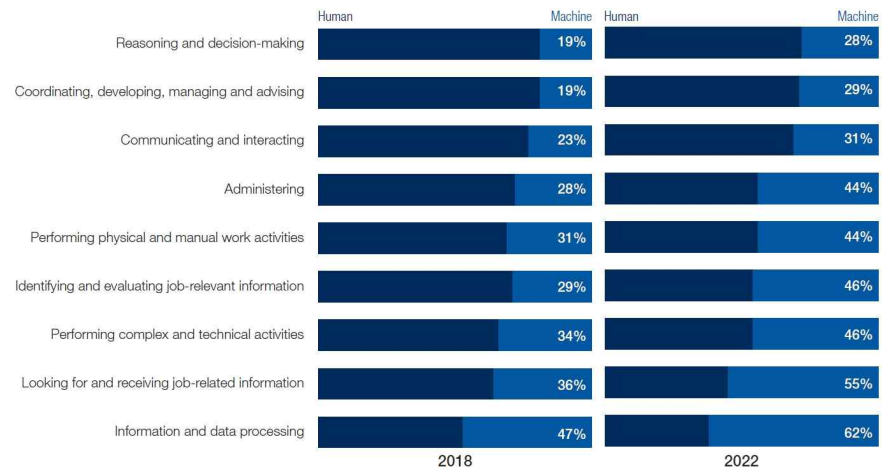
[그림 2-10] 2013~2017년 사이 전문서비스업 고용 트렌드(부상한 또는 쇠퇴한 직종 상위 각 10위)
(출처: WEF(2018), p.20 Figure 9)

특히 세계경제포럼 2018년 보고서에서는 미래 직무의 자동화 비율을 전망하고 있는데 2025년경에는 기계의 노동시간이 인간을 추월할 것임을 예고하며, 향후에는 인간의 직무 능력 중에서도 분석적인 사고와 혁신, 학습 전략, 기술 디자인 및 프로그래밍 등이 중요하게 요구될 것으로 전망하였다.³⁷⁾



[그림 2-11] 인간과 기계의 노동시간 비율 변화 전망
(출처: WEF 웹사이트, <http://reports.weforum.org/future-of-jobs-2018/shareable-infographics/>, 검색일 2018.12.10.)

37) WEF(2018), *The Future of Jobs Report 2018*, viii.



[그림 2-12] 업무특성별 인간과 기계의 노동시간 비율 변화 전망
(출처: WEF(2018), p.11 Figure 5)

Trending, 2022	Declining, 2022
Analytical thinking and innovation	Manual dexterity, endurance and precision
Active learning and learning strategies	Memory, verbal, auditory and spatial abilities
Creativity, originality and initiative	Management of financial, material resources
Technology design and programming	Technology installation and maintenance
Critical thinking and analysis	Reading, writing, math and active listening
Complex problem-solving	Management of personnel
Leadership and social influence	Quality control and safety awareness
Emotional intelligence	Coordination and time management
Reasoning, problem-solving and ideation	Visual, auditory and speech abilities
Systems analysis and evaluation	Technology use, monitoring and control

[그림 2-13] 미래 직무 능력에 대한 요구
(출처: WEF(2018), p.11 Table 4 일부 발췌)

김석관 외(2017) 보고서에서도 디지털 전환에 따른 주요 산업 분야에서 가치사슬 변화로 인해 새로 생겨날 일자리의 가능성을 비교적 낙관적으로 제시하고 있다. 다만 자동화로 인해 기존 형태의 일자리는 기계가 대체함으로써 감소하고 디지털 기술을 활용하거나 이를 보완하는 직무의 일자리가 늘어날 것으로 전망하고 있다.³⁸⁾ 한편에서는 기술의 발달로 지능화된 기계와 전산 시스템이 전문가의 고유 영역에 해당하는 업무를 수행하게 됨으로써 건축가를 포함한 의사, 법률가, 교사, 회계사, 세무 전문가, 경영컨설턴트 등 전통적인 전문직은 해체될 것이라는 전망도 설득력을 얻고 있다.³⁹⁾

38) 김석관 외(2017), 「4차 산업혁명의 기술 동인과 산업 파급 전망」, 과학기술정책연구원, pp.301~302.

39) 리처드 서스킨드, 대니얼 서스킨드(2015), 「4차 산업혁명 시대 전문직의 미래」, 위대선 옮김, 와이즈베리, pp.18~20.

[표 2-9] 디지털 전환이 고용에 미치는 영향 전망

분야		증가 요인	감소 요인	전망
산업인터넷	분야 내	■ 스마트공장공급기업의 일자리 증가 ■ 산업용 장비 제조업의 서비스화를 통한 매출 증대 → 일자리 증가		많이 증가
	타 산업 파급	■ 제조업 리쇼어링 → 선진국 일자리 소폭 증가	■ 자동화의 영향으로 제조업의 전반적인 일자리 감소	현상 유지
자율 주행차	분야 내	■ 국내 생산된 자율주행차가 국내 및 해외 자동차 시장을 선점할 경우, 국내 기업의 매출 및 고용이 증가(10~20% 수준)	■ 해외 생산된 자율주행차가 국내 및 해외 자동차 시장을 선점할 경우, 국내 기업의 매출 및 고용이 감소(10~20% 수준)	조금 감소 or 조금 증가
	타 산업 파급	■ 국내의 자동차 생산 증가로 인해 타 산업의 간접 고용 증가	■ 국내의 자동차 생산 감소로 인해 타 산업의 간접 고용 감소 ■ 운송업의 자율주행차 도입율에 비례하여 운송업 고용 감소 (2030년까지 자율주행도입률 10~20%)	조금 감소
스마트 에너지	분야 내	■ 관리 비즈니스 증가 ■ 참여주체의 확대 ■ 에너지원의 다양화	■ 화석연료 중심의 발전 감소	조금 증가
	타 산업 파급	■ 에너지 관리 시스템의 확충	■ 에너지 가격에 따른 비용 상승	현상 유지
차량공유 서비스	분야 내	■ 택시산업 규모 자체의 증가로 인한 일자리 증가(해외사례)	■ 전업 택시운전자의 감소	현상 유지 또는 조금 감소
	타 산업 파급	■ 연계서비스 개발 및 유지인력 증가		조금 증가 또는 현상 유지
디지털 헬스케어	분야 내	■ 보완적 가치사슬의 확대, 스타트업 생태계의 확대에 의한 신규 고용 창출	■ 인공지능 의사 업무 대체	많이 증가
	타 산업 파급	■ IoT, 빅데이터, AI, 클라우드 관련 HW, SW, NW 수요 증가		조금 증가
핀테크	분야 내	■ 핀테크로 인한 금융인프라 확대 ■ 새로운 서비스로 신시장 개척	■ 고객 거래채널의 모바일화 ■ 단순업무의 자동화	현상 유지
	타 산업 파급	■ 유통기업들과의 기술협업에 따른 관련 IT 직무 및 새로운 서비스 개발 필요성 증가	■ 전자상거래 증가에 따른 오프라인 점포수 감소	조금 증가
리걸테크	분야 내	■ 새로운 리걸 테크 비즈니스 모델 창출에 따른 인력 수요 확대 ■ 리걸 테크 스타트업 확산에 따른 신규 고용 확대 ■ 준법률가(Paralegal) 신규고용 증가 ■ 리걸 테크 기업의 해외 법률시장 진출에 따른 인력 고용 확대	■ 리걸 테크의 변호사 및 준법률영역 전문 자격사(법무, 노무, 해영, 세무 등) 업무 대체	많이 증가
	타 산업 파급	■ AI, 빅데이터, 온라인 서비스 관련 SW/HW/IT 인력 수요 증가		조금 증가

출처: 김석관 외(2017), pp.301~302 <표 5-4>

2. 건축서비스산업에서 제4차 산업혁명의 의미

1) 건축서비스산업의 속성과 문제점

① 건축서비스산업의 속성

□ 건축 관련 전문 지식과 기술을 토대로 한 지식서비스 산업

건축서비스산업은 법률에서의 정의와 건축서비스 프로세스를 반영하면 건축물 등의 기획, 설계, 공사감리, 유지관리 과정에서 전문적 서비스를 제공하여 경제적·사회적 부가 가치를 창출하는 산업이다. 지식서비스는 일반인들은 갖고 있지 않은 전문 지식을 토대로 수요자에게 유무형의 가치를 제공하고 이에 대한 대가를 받는 것이다. 따라서 건축주에게 건축물의 설계, 공사감리 등의 서비스를 제공하기 위해 건축서비스사업자는 일반인들은 잘 알지 못하는 건축 구조 및 설비, 건축 법규 등에 관한 전문 지식과 설계 도서를 작성하고 해석할 수 있는 능력을 갖추어야 한다. 건축사 등은 이러한 건축 전문지식을 토대로 주어진 시간과 예산 한도 내에서 좋은 품질의 건축물이 만들어지도록 하는 것이 건축주에게 제공하는 가치라고 할 수 있다.

건축서비스산업은 건설업의 일부로 인식되어 왔으나 2013년 「건축서비스산업 진흥법」이 제정되면서 건축서비스산업을 건설업과는 다른 지식서비스산업으로서 정의하고 산업적 관점에서 이를 정책적으로 육성하기 시작하였다.⁴⁰⁾ 건축서비스산업은 전문 지식과 기술을 바탕으로 하는 대표적인 지식서비스산업으로 건설업에 비해 부가가치가 높고 고용유발효과도 높은 것으로 나타나고 있다.⁴¹⁾

건축서비스를 제공하는 대표적인 전문인력은 ‘건축사’로 건축사에 대한 자격과 업무의 범위는 국가 자격으로서 「건축사법」에 따라 정하고 있다. ‘건축사’의 핵심 업무는 설계와 공사감리이며, 이에 대해서는 제도적으로 독점적이고 배타적인 지위를 갖는다.⁴²⁾ 건축사는 이 외에도 다른 건설기술자와 같이 「건축법」에 따른 건축물의 유지·관리 업무나 건설사업관리(CM)를 할 수 있으며, 건축주를 대신하여 건축물의 인·허가 등의 행정업무를 담당한다. 김상호 외(2016) 보고서에서는 이와 같은 건축사의 업무영역을 ‘배타적’

40) 국가법령정보센터(<http://www.law.go.kr/>), 「건축서비스산업 진흥법」 제정이유 참고.

41) 서수정 외(2018.5.15), “건축설계산업 동향 및 실태”, 「auri brief」 No.172, 건축도시공간연구소, p.2.

42) 「건축사법」에는 무자격자에 의한 설계 및 공사감리를 금지.

업무영역, ‘적격형’ 업무영역, ‘협업형’ 업무영역으로 구분하여 보여주고 있다.⁴³⁾ 이와 같이 건축사는 건축물의 기획부터 준공에 이르기까지 전 단계 또는 부분적인 과정에서 건축주를 위한 서비스를 제공하며, 독점적 지위가 있는 만큼 건축물 안전 등에 관한 ‘책임’을 진다.⁴⁴⁾



[그림 2-14] 법률에서의 건축사 업무범위
(출처: 김상호 외(2016), p.81 [그림 3-1])

43) 김상호 외(2016), 「건축사 사업모델개발 및 지원방안에 관한 연구」, 대한건축사협회, pp.81~82.

44) “한국법제에서 건축사 제도는 의사약사와 같은 면허제도가 아니고 변호사변리사와 같은 자격등록제도이다. 이는 건축사의 독점적 지위가 행위에 관한 것이 아니라 책임에 관한 것이라는 점을 분명히 하고 있다.”(출처: 이강민 외(2015), 「건축사의 호칭과 업무의 제도적 형성에 관한 연구」, 건축도시공간연구소, iii).

□ 가치사슬에서 건설업과 긴밀하게 연관되어 있으나 업무 영역은 분리

건축서비스업은 건설업의 전방 산업으로서 후방 산업의 부가가치를 증대시키는 중간재적 역할을 하는 산업이라 할 수 있다.⁴⁵⁾ 건축서비스산업은 가치사슬의 전단(기획 및 설계)에서 건축의 공정, 부가가치와 품질을 좌우하는 중요한 역할을 담당한다. 이와 같이 건축서비스산업은 가치사슬에서 건설업과 긴밀하게 연관되어 있으나 건축 설계·감리 업무와 시공 업무는 법률상 엄격하게 분리되어 있다. 이러한 건축 설계·시공 겸업 제한에 대해서는 건설업계와 건축설계업계의 논란과 갈등이 계속되고 있다.⁴⁶⁾



[그림 2-15] 건축서비스 프로세스에서의 건축서비스·건설의 역할
(출처: 건축도시공간연구소(2015), 「건축서비스산업의 가치」, p.10)

45) 서수정 외(2017), 「건축서비스산업의 동향 및 실태」, 건축도시공간연구소, p.14.

46) 아시아경제(2018.4.5.), "건설업 저생산성, 낙후된 발주시스템이 원인...발주방식 개선해야" 기사 등 참고.

□ 공학, 미학, 인문학, 사회과학 등이 융합된 영역

건축은 본질적으로 공학, 미학, 인문학, 사회과학 등이 융합된 영역이라 할 수 있다.

건축(architecture)은 건축물을 디자인하고 짓는 것으로서 건설(construction)과 관련된 기술과는 구별되며, 건축 실무는 실용적이고 미적인 목적을 달성하는 데 기여한다. 이러한 두 가지 목적은 구별될 수 있으나 결코 분리될 수 없으며 상대적인 무게는 다를 수 있다. 건축은 환경, 역사, 의식, 예술적 감수성과 더불어 일상생활의 여러 측면을 드러내는 작업이며, 인간이 건축물을 사용하기 위한 적합성 및 특정 활동을 위한 적응성(the suitability of the work to use by human beings in general and the adaptability of it to particular human activities), 건설의 안정성 및 영구성(the stability and permanence of the work's construction), 형태를 통한 경험과 아이디어의 전달(the communication of experience and ideas through its form)이라는 특성을 충족시켜야 한다.⁴⁷⁾

이와 같은 특성 때문에 건축서비스산업 특히 건축설계 업계에서는 건축을 기술보다는 인문·예술로서의 가치를 중시하는 뿌리 깊은 문화가 존재하며 이는 건축서비스산업에서 새로운 기술의 도입이 지체되는 원인이 되기도 한다. 서구의 건축 역사를 돌이켜 보면 르네상스 시대에는 건축가가 곧 엔지니어였으나 점차 예술과 자연과학이 분리되고 건축가와 엔지니어가 분리되기 시작한다. 근대에 이르러 철과 같은 새로운 재료로 인해 건축 기술 및 구조의 큰 변화가 일어났던 시기에는 건축가와 기술자(공학자)의 역할 및 관계에 대한 논의가 많이 일어났으나 결국 건축가는 예술에 가까운 건축의 영역을 선택한 것으로 보인다. 근대건축의 선구자였던 불레(Etienne Louis Boullée)는 건축을 ‘정신의 창조물이며 기술은 단지 이를 실현하는 도구’, ‘건축은 디자인의 예술로 정의되어야 한다. … 건설은 건축의 과학적 측면으로 단순히 보조적인 역할을 하는 것에 지나지 않는다.’라고 하였고⁴⁸⁾, 건축가와 기술자의 관계가 중요한 논제가 되었던 1878년 세계 건축가 회의에서 에콜 드 샹탈라의 교수 트렐라(Emile Trélat)는 ‘건축가라는 직종은 … 지금 위험에 빠져있다. 그들의 이해관계는 위협 당하고 있고, 그들의 영역은 기술자들의 침투에 의해 축소되고 있다. 건축가가 사라지는 것을 걱정해야 할 충분한 이유가 있다. 이와 같은 일이 일어난다면 예술을 위해서는 큰 재앙이 될 것이다.’⁴⁹⁾라고 말한 바 있다.

47) Encyclopaedia Britannica에서 ‘Architecture’에 관한 내용을 재정리.
(출처: <https://www.britannica.com/topic/architecture>, 검색일 2018.8.16.)

48) 이상현(2002), 「철 건축과 근대건축이론의 발전」, 발언, pp.101~102에서 인용.

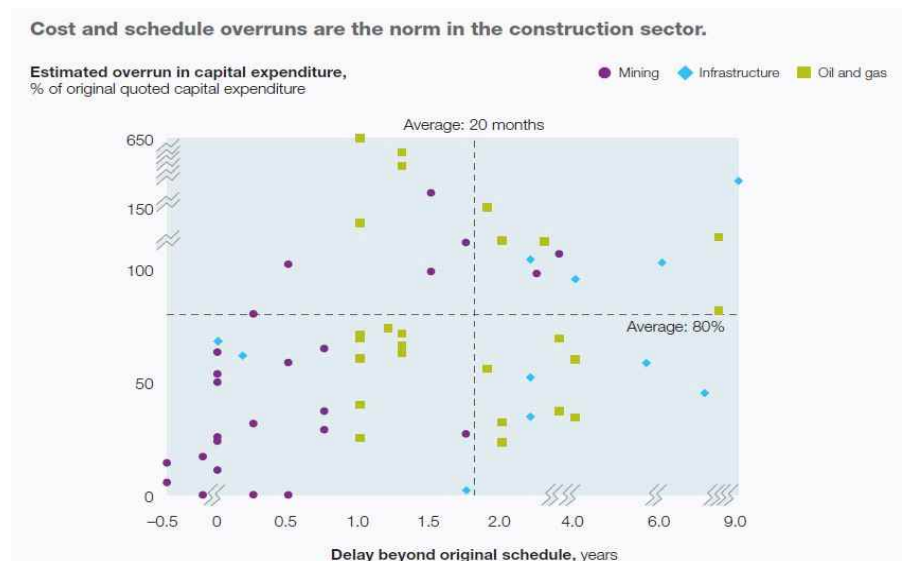
49) 이상현(2002), 앞의 책, p.294에서 인용.

② 디지털 전환의 관점에서 바라본 건축서비스산업의 문제점

앞서 언급한 바와 같이 건축서비스산업은 건설산업과 가치사슬에서 밀접하게 연관되어 있으므로 두 산업은 근본적으로 공통적인 문제점을 갖게 된다. 건설산업은 전 세계 GDP의 큰 비중을 차지하며 기간산업으로서 타 산업에 영향이 크지만, 이러한 중요성에도 불구하고 생산성은 제자리걸음이며 디지털 전환은 제대로 이루어지고 있지 않았다. 최근 산업계에서는 이러한 점을 오히려 개선할 여지가 많은 새로운 가치 창출의 기회로 인식하고, 디지털 전환의 관점에서 건설 산업⁵⁰⁾의 문제점을 개선하려는 정부 및 기업의 노력이 활발하게 진행되고 있다. 이와 관련된 문헌들에서 지적하고 있는 사항을 건축서비스산업의 관점으로 환원하고 추가적인 자료들을 통해 문제점을 정리하였다.

□ 초기 계획의 부정확성으로 인한 사업 리스크(추가 비용 및 공기 지연)

건축 프로젝트에서는 초기 계획의 부정확성으로 인해 당초 산정된 건설 비용 및 기간이 초과되는 사례가 빈번하게 발생한다. 이는 건축 산업의 고질적인 문제이며 건축서비스사업자, 건설사업자와 프로젝트 발주자 모두에게 사업 리스크를 증가시키는 주요 원인 중 하나이다.



[그림 2-16] 건설 부문의 비용 및 기간 초과

(출처: McKinsey&Company(2016.6), p.3)

50) 건설 산업과 관련한 대부분의 컨설팅 보고서에서는 건설 산업의 범주에 건축서비스산업의 대상인 계획 및 설계 단계를 포함하여 다루고 있으며, 건축 산업과 SOC 산업을 모두 포함하고 있음.

일례로 헤르조크 앤드 드 뮈롱(Herzog & de Meuron)이 설계한 아름다운 건축물인 함부르크 엘프필하모니홀(Elbphilharmonie Hamburg)의 건설 비용은 당초 2,410억 유로에서 7,890억 유로로 증가하였다. 이는 사업 초기단계에서 향후 추진될 프로젝트의 비용 및 프로세스에 대한 정의나 적용 기술에 대한 평가가 미흡했기 때문이라 할 수 있다.⁵¹⁾ 이와 같은 리스크는 해당 건축 프로젝트가 대규모이거나 복잡할수록 커질 가능성이 많다.



[그림 2-17] 함부르크 엘프필하모니홀

(출처: <https://www.archdaily.com/802093/elbphilharmonie-hamburg-herzog-and-de-meuron>, 검색일 2018.12.15)

□ 낮은 노동 생산성

전 세계적으로 건설 산업의 노동생산성은 최근 제조업의 생산성이 급격히 증가한 데 비해 현저히 낮은 수준으로 거의 개선되지 않고 있다. 이는 우리나라의 경우도 마찬가지로 세계 여러 국가와 비교할 때에도 낮은 수준인 것으로 파악된다.⁵²⁾ 제조업이 근래 제4차 산업혁명의 핵심 기술을 통해 생산 혁신을 시도하고 있는 것과 달리 건설 산업은 혁신적인 기술 개발 및 도입이 더딘 대표적인 산업 중 하나로 손꼽히고 있다. 캐나다의 건설회

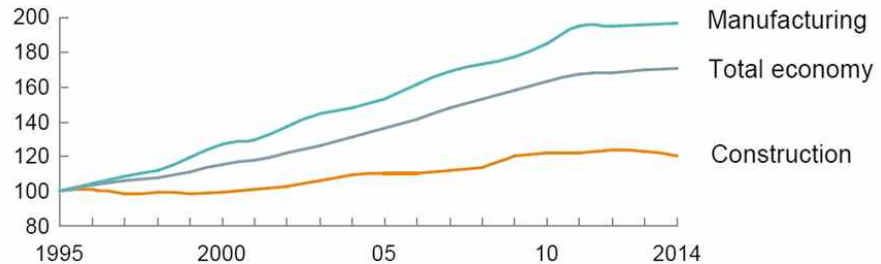
51) WEF(2016.5), *Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology*, p.16 Figure 4 참고.

52) McKinsey&Company(2017.2), *Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity*, pp.2~3.

사 에이콘(Aecon Group)의 이사장 John M. Beck은 “오늘날의 건설 프로젝트를 보면 실행 방식에서 50년 전과 차이점을 발견하기 어렵다”로 언급하고 있다.⁵³⁾

**Real gross value added per hour worked
by persons engaged, 2005 \$**

Index: 100 = 1995



1 Based on a sample of 41 countries that generate 96% of global GDP.

[그림 2-18] 영국과 독일 건설 산업의 낮은 노동생산성

(출처: McKinsey&Company(2017.2), p.2 Exhibit E1 일부 발췌 및 편집)

Construction labor productivity, 2015¹

2005 \$ per hour worked by persons employed, not adjusted for purchasing power parity²



[그림 2-19] 건설 노동생산성 국가 비교

(출처: McKinsey&Company(2017.2), p.3 Exhibit E3 일부 편집)

53) WEF(2016.5), *Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology*, p.15에서 인용.

WEF(2016.5) 보고서에서는 건설 산업의 생산성 증가를 위해서는 기술 혁신이 이루어져야 하나 건설 산업의 독특한 특성이 이를 저해하고 있다고 설명한다. 이에 따르면 건설 산업의 혁신이 느린 이유는 (1) 프로젝트 중심의 비즈니스 성격으로 R&D에 투자가 미흡, (2) 비공식적인 프로세스 또는 프로세스 실행에서의 엄격함과 일관성이 불충분, (3) 프로젝트에서 다른 프로젝트로 지식(노하우)이 충분히 전달되지 않음, (4) 프로젝트 모니터링이 취약, (5) 이해관계자(소유주, 건축사, 건설자 등)간 상호 기능적 협력이 거의 없음, (6) 자재 공급자와의 협력 미흡(특히 작은 회사의 경우), (7) 보수적인 기업 문화, (8) 젊은 인재 및 인력 개발 부족 등이다.⁵⁴⁾

[표 2-10] 독특한 건설산업 환경

산업의 독특한 특성	특성에 대한 설명
다양하고 복합적인 이해관계자	3개 사업 소유주가 포함된 베를린 공항 건설은 10년이 지연되고 50억 유로가 추가투입 예상됨
프로젝트 중심의 사업 및 현장 건설	프로젝트 단위의 사업
높은 산업 분화	미국에는 710,000개 건설회사(E&C companies)가 있음; 이중 2%만이 100명 이상의 노동자가 있으며, 80%는 10명 이하임
낮은 수익성 및 자본화	글로벌 건설회사의 총 주주 수익률은 평균 5%에 불과함
순환적이고 번덕스러운 시장	스페인 건설시장은 2006년 1,510억 유로에서 정점을 찍고 2012년에는 700억 유로로 떨어졌으나 여전히 회복되지 않음
불안정한 노동시장	캐나다에서는 약 25%의 건설노동자가 해고되어 건설 외 분야의 새로운 일자리를 찾음
미성숙한 사업 정의 및 기술적 평가	함부르크 필하모니홀 건설 비용은 당초 2,410억 유로에서 7,890억 유로로 증가함. “추가 비용의 대부분은 충분하게 진행되지 않은 계획 때문”
최저가 입찰에 대한 과도한 선호도	독일의 한 고속도로 건설은 입찰 과정에 문제를 제기한 입찰자 때문에 6개월 지연됨. 최저가 입찰가는 선택되지 않음.
불충분하거나 증가되는 자금	많은 미국 정부 계약서에는 정부가 건설회사가 청구하는 전액을 지불할 책임에 대해 제한하는 자금 조항이 있음
보수적인 클라이언트	혁신적인 급속 경화 콘크리트의 사소한 문제로 인해 공공 도로 프로젝트가 거의 중단되고, 이로 인해 프로젝트 소유자는 새로운 재료에 대한 신뢰를 잃음
계약자에 대한 위험 부담 증가	만간부문의 신흥 시장 인프라 투자는 1995년에서 2014년까지 1,080억 달러로 세 배 증가하였으나 계약자의 위험 부담은 내재
계약 및 분쟁 해결의 복잡성	25년 전, 전형적인 계약서는 50페이지 정도 분량이었으나 법적인 복잡함으로 오늘날은 1,000페이지가 쉽게 넘음

출처: WEF(2016.5), p.16 Figure 4의 내용을 번역재구성

54) WEF(2016.5), *Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology*, pp.14~15.

<서비스업 및 제조업 노동생산성>

(만원/시간)

연도	제조업 (만원/시간)	서비스업 (만원/시간)
04	1.9	1.3
05	2.1	1.3
06	2.3	1.4
07	2.5	1.4
08	2.7	1.5
09	2.8	1.5
10	3.0	1.6
11	3.3	1.5
12	3.5	1.6
13	3.6	1.6

<제조업 노동생산성 대비 서비스업 노동생산성 비율>

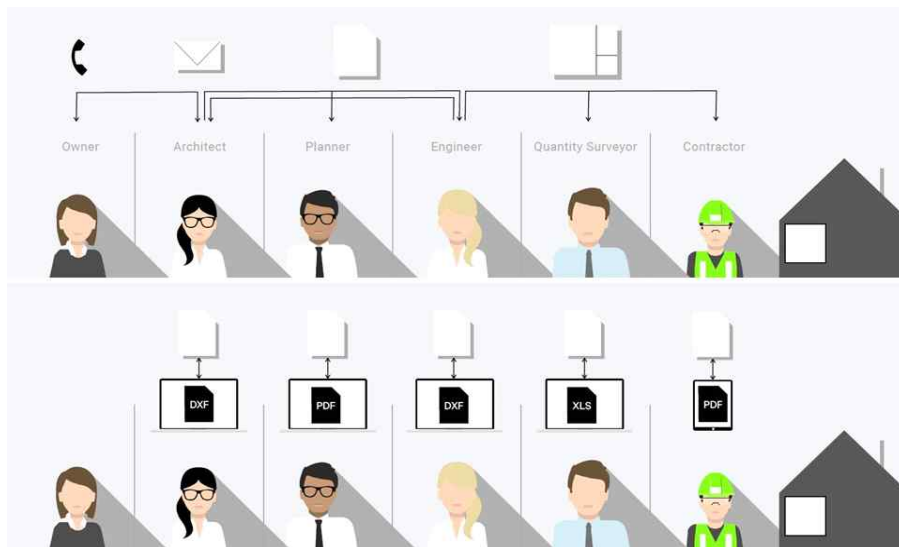
연도	비율 (%)
04	67.2%
05	62.0%
06	58.0%
07	55.0%
08	56.1%
09	54.0%
10	52.0%
11	49.0%
12	47.0%
13	47.1%

국가	2009년	2015년
미국	20.5	23.5
중국	14.0	27.0
대만	14.0	24.0
홍콩	16.0	24.0
일본	16.0	21.5
캐나다	14.0	21.5
호주	16.5	20.5
뉴질랜드	16.0	20.0
독일	15.5	19.5
프랑스	16.0	19.0
영국	14.5	18.0
이탈리아	11.5	17.5
스페인	14.0	16.0
인도	9.0	15.5
대한민국	8.5	15.0
필리핀	12.0	13.5
싱가포르	12.0	13.0
베트남	10.5	11.5
태국	8.0	11.0
라오스	8.0	10.5
캄보디아	6.0	8.0
미얀마	3.0	6.5
몰디브	4.0	6.0
네팔	5.5	5.5
파키스탄	4.0	5.0
방글라데시	2.0	3.0
인도네시아	1.5	2.5

55) 관계부처 합동(2018.6.28.), “건설산업 혁신방안”, p.2.

□ 아날로그적인 지식전달 체계

정보의 관점에서 건축 산업은 아직 아날로그적인 수단과 프로세스에서 벗어나지 못하고 있다. 하나의 건축물을 짓기 위해서는 건축주와 건축사(건축가), 시공자 등 여러 전문가가 효과적으로 의사소통해야 하는데 그 수단은 전화, 이메일, 종이 서류 등 인력으로 해결해야 하는 아날로그적인 방식이며, 각 전문가들이 생산하는 정보(디지털 파일)의 형식들도 서로 달라 통합되기 어렵다. 이로 인해 하나의 프로젝트를 진행할 때 관계자 간 지식 및 정보 전달의 오류가 발생하기 쉽고, 참여하는 전문가들은 노동집약적이고 반복적인 업무에 시간을 소요하기 십상이다. 이는 새로운 프로젝트로 시작할 때에도 마찬가지로 이전의 프로젝트에서 생산된 정보와 지식은 다음으로 온전히 전달되기 어렵다.



[그림 2-22] 아날로그적인 지식전달 체계

(출처: WikiHouse Foundation(2018), “Build x”(Version 0.5), p.5, p.8 그림 편집 및 재구성)

□ 접근하기 어려운 서비스

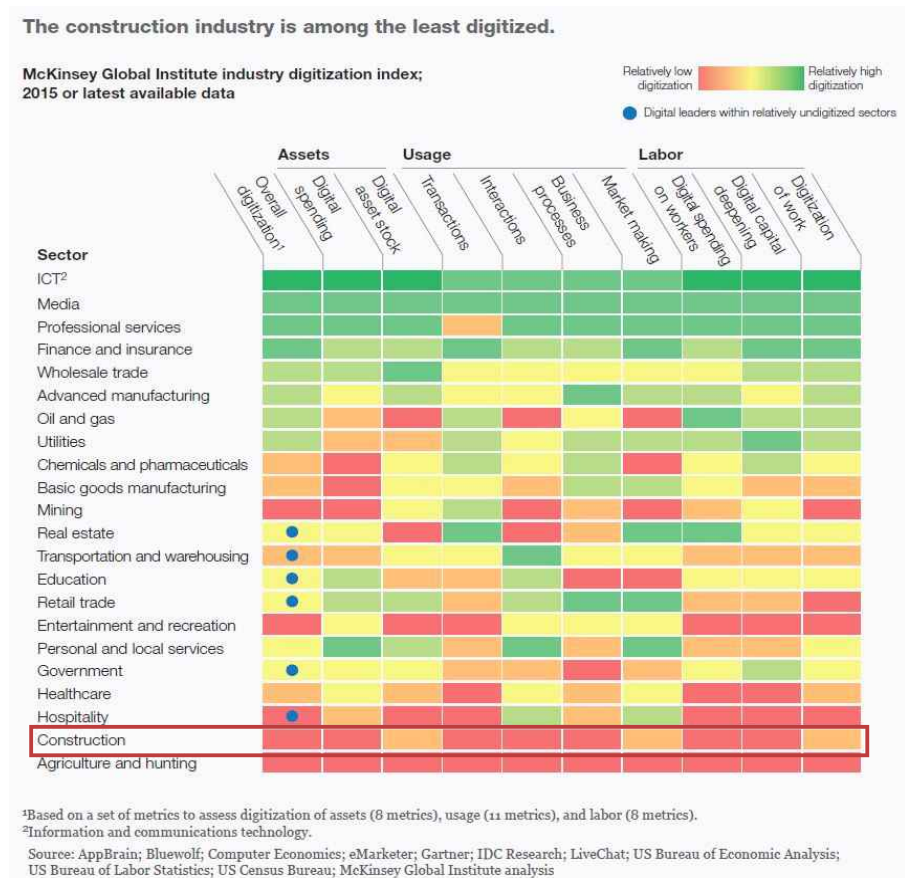
클라우드 슈밥이 언급한 바와 같이 제4차 산업혁명으로 인해 제품 및 서비스에 대한 소비자의 기대는 커지고 있다.⁵⁶⁾ 디지털화로 인해 소비자는 건축에 대한 정보를 쉽게 얻을 수 있게 되었으나 여전히 소비자가 실제 건축 프로젝트를 진행하기 위해서는 건축가 등에게 전화를 걸어 문의해야 하며 건축에 착수하더라도 건물이 제대로 지어지고 있는지를 올바르게 혹은 제때 확인하기 어렵다.⁵⁷⁾

56) 클라우드 슈밥(2016), 「제4차 산업혁명」, 송경진 옮김, 새로운 현재, pp.90~93 참고.

③ 건설산업의 디지털 전환을 위한 대응 방향과 시사점

건설산업에서는 이미 생산성 향상을 위한 디지털 기술 도입의 필요성을 인식하고 있으며 이는 전반적인 건축 산업의 변화로 이어질 것으로 예상된다.

맥킨지 보고서(2016.6)에서는 건설산업의 중요한 문제로 타 산업에 비해 현저히 낮은 디지털화를 지적하고 있으며 건설산업의 파괴적 혁신을 위한 아이디어로 고해상도 측량 및 측위, 5-D BIM, 디지털 협업과 이동성, 사물인터넷과 정보 분석, 미래지향적 설계 및 건설 등 5가지 부문의 디지털화를 제시하고 있다.⁵⁸⁾



[그림 2-23] 산업부문별 디지털화 정도

(출처: McKinsey&Company(2016.6), p.3 Exhibit 3 일부 편집)

57) 머니투데이 기사(2016.8.20.), ““집 지으면 10년 늙는다?”...완공 앞두고 닥친 난관”
(<http://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2016081219513877235>, 검색일 2018.5.10.) 등 참고.

58) McKinsey&Company(2016.6), *Imagining construction's digital future*.

[표 2-11] 건설산업의 파괴적 혁신을 위한 5가지 아이디어

5가지 아이디어	내용
■ 고해상도 측량 및 측위	Lidar 등을 활용해 정확한 지형 조건을 조사하여 추후 변경사항 최소화
■ 차세대 5-D BIM	디자인, 비용, 스케줄 관리를 통합하는 건물정보 모델링(BIM) 도입
■ 디지털 협업과 이동성	디자인 관리, 스케줄, 자재 관리, 작업자 추적, 품질 관리, 계약 관리, 성능 관리, 도면 관리 등에 있어 매끄럽고 실시간 경험을 위한 디지털 솔루션 도입
■ 사물인터넷과 정보 분석	사물인터넷과 정보 분석을 통해 건설장비 모니터링 및 보수, 재고 관리 및 주문, 품질 평가, 에너지 효율, 안전 등 도모
■ 미래지향적 설계 및 건설	현장 시공을 최소화하여 예측 가능성, 일관성, 반복 가능성 등을 증진시키기 위한 사전 조립, 3D 프린팅, 로봇 조립 건설 등



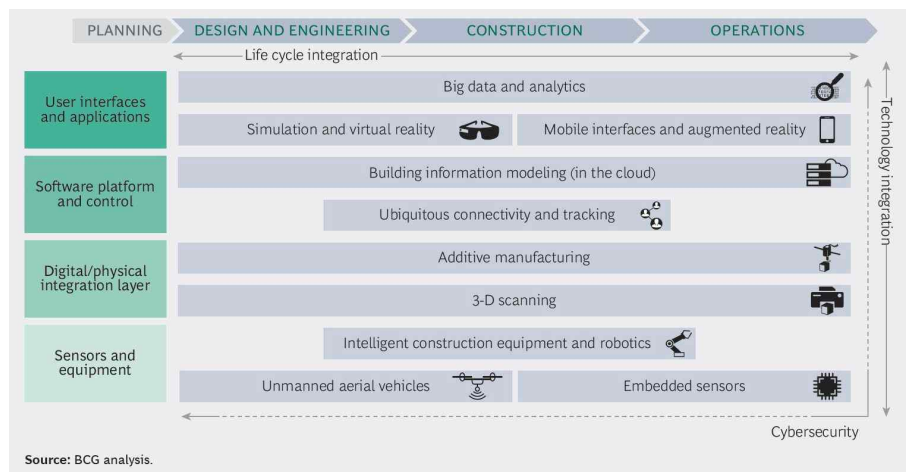
출처: McKinsey&Company(2016.6), pp.4~12 내용을 토대로 재구성

WEF(2016.5) 보고서에서도 건설산업에서 요구되는 변화의 중심은 디지털화 - 디지털 기술 및 프로세스의 개발과 배치 - 이며, 이러한 건설 혁신은 초기 설계 단계부터 철거까지 자산의 생애주기에 걸쳐 새로운 기능을 가능하게 한다고 지적하고 있다.⁵⁹⁾

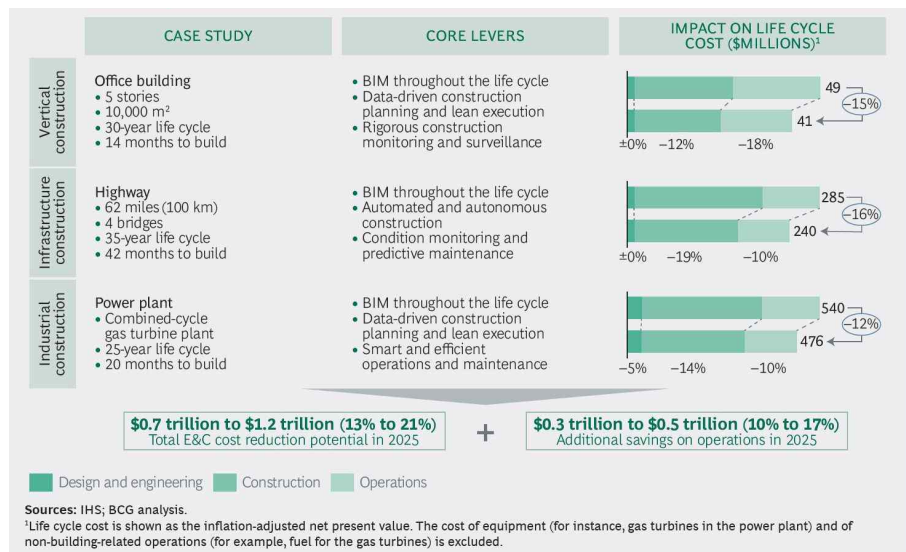
또한 BCG(2016.3) 보고서에서도 건설산업(Engineering & Construction)의 디지털화는 이제 막 시작되었으며, 건설 전 단계 가치사슬에 걸친 디지털화로 인해 전 세계적으로 연간 건설 및 운영관리 비용을 1조 달러 이상 절감할 수 있을 거라 예측하고 있다.⁶⁰⁾

59) WEF(2016.5), *Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology*, p.24.

60) Boston Consulting Group(2016.3), *Digital in Engineering and Construction*, pp.9~10.



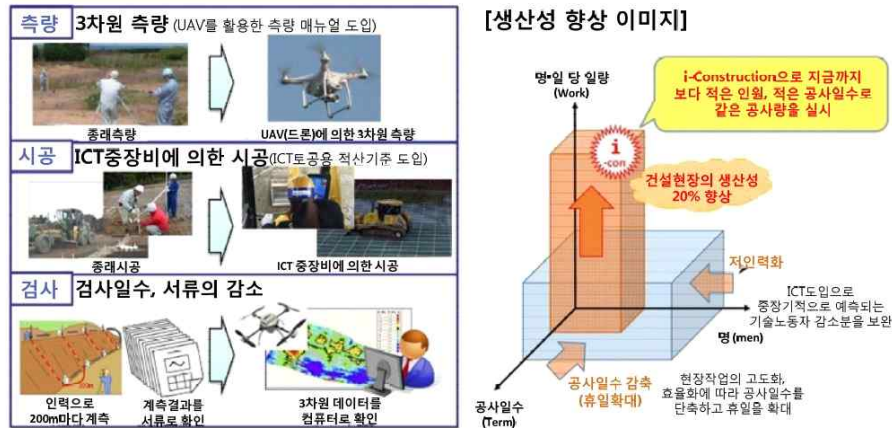
[그림 2-24] 건설산업(E&C) 가치사슬에 걸친 디지털 기술 적용 가능성
(출처: BCG(2016.3), p.4 Exhibit 1)



[그림 2-25] 건설산업(E&C)의 디지털화로 인한 건설 및 운영관리 비용 절감 효과 예측
(출처: BCG(2016.3), p.10 Exhibit 3)

일본의 경우 생산성 혁명 프로젝트를 추진하여 건설산업의 생산성 향상을 추진하고 있다. 일본은 인구감소와 고령화, 임금수준 향상, 휴일 확대 등에 따라 건설업의 생산성 향상을 위해 ICT 기술을 적극적인 활용이 불가피한 상황으로, 2016년 국토교통성 내에 생산성 혁명 본부를 조직하고 20개의 생산성 향상 프로젝트를 선정하였는데 이 중 하나로 건설자동화를 위한 'i-construction'을 추진하고 있다. i-construction은 조사 측량에

서부터 설계, 시공, 검사, 유지관리, 갱신까지의 모든 건설생산 프로세스에서 ICT 등을 활용하여 2025년까지 생산성을 20% 향상하는 것을 목표로 하고 있다.⁶¹⁾



[그림 2-26] 일본 i-construction의 개요
(출처: 조재용(2017), p.51 [그림 IV-4])

우리나라도 건설산업의 낮은 생산성과 시장 구조의 후진성을 문제로 인식하여 건설산업의 근본적인 체질 개선을 위한 혁신방안을 마련하고 있다. 우리 정부에서는 건설기술 측면에서 선진국 대비 기술력에 비해 낮은 생산성(50% 수준), 건설자동화 등 R&D 투자 저조, 기획-설계-시공-운영 중 시공 분야의 편중으로 인한 설계, PM, CM 역량의 취약함 등을 문제로 인식하고 있다. 이를 개선하기 위한 기술혁신 방안으로 건설자동화, 스마트 유지관리 등 첨단 건설기술 공공 R&D 및 민간 기술 개발·활용을 촉진하며, 현재 건축 설계에만 의무화되어 있는 BIM을 건설단계에까지 적용을 의무화 할 계획이다. 또한 건설시장 확대를 위해 건설과 ICT 기술이 융합된 스마트 인프라 사업 촉진을 위해 업역 간 융합을 유도하는 규제 샌드박스를 적용할 계획이다. 스마트인프라에 대해서는 건설 + ICT + SW업체로 구성된 컨소시엄-SPC에 시공자격을 부여하는 등 「건설산업기본법」, 「국가계약법」 등 기존 법령의 규제 배제를 위한 세부방안을 마련하기로 하였다. 이외에도 시공사가 설계단계부터 참여하는 시공책임형 CM 제도화, 턴키발주 확대, 다단계 하도급 근절 등 건설 프로세스의 개선도 도모하고 있다.⁶²⁾

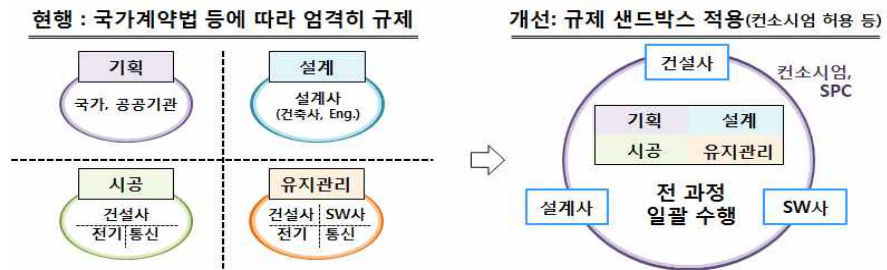
61) 조재용(2017), “4차 산업혁명에 따른 일본건설산업의 대응 전략 및 시사점”, 「건설정책 리뷰」, 대한건설정책연구원, pp.50~51.

62) 관계부처 합동(2018.6.28.), “건설산업 혁신방안” 내용을 참고하여 재정리.

[표 2-12] 우리나라 주요 스마트 건설기술 R&D 사업(안)

구분	주요 기술	투자비용 및 기대효과
건설 자동화	•BIM 플랫폼 구축 •건설자동화 로봇 적용 •공장형 시공(모듈러, 가상시공) * 건설자동화 로드맵 수립('18.7)	•약 2,000억원('20 ~ '27) •건설 생산성의 획기적 제고 및 안전사고 예방
스마트 유지관리	•IoT, 빅데이터 기반 최적의 유지보수 기술 개발 •시설물 내부손상 탐지 및 수명 자동 예측 기술 개발	•약 1,400억원('20 ~ '26) •선제적 시설물 관리로 인명피해·사회적비용 ↓
스마트 건설재료	•고분자 탄소재료를 활용한 철근 대체제 개발 •나노소재를 이용한 고내구성 콘크리트 개발	•약 1,600억원('20 ~ '26) •구조물의 내진성능과 내구성·강도·유연성 ↑ → 비용절감, 재해 피해 경감
메가스트럭처 + 플랜트	•초장대교량, 부유식(floating) 해저터널, 인공섬 기술 개발 •극한지 자원화 플랜트, 바이오 매스 및 지하복합 플랜트 기술	•약 5,100억원('20 ~ '25) •해외수요가 높은 공종의 집중개발로 원천기술 및 글로벌 경쟁력 확보

출처: 관계부처 합동(2018.6.28.), p.9



[그림 2-27] 스마트인프라에 대한 규제 샌드박스 개념

(출처: 관계부처 합동(2018.6.28.), p.10)

앞서 살펴본 바와 같이 건설산업의 디지털화는 산업 혁신과 생산성 향상을 위한 필수불가결한 사항이 되고 있다. 건설 또는 건축 프로젝트 초기 계획 및 설계 단계에서 정교한 계획의 중요성이 부각되면서 설계자와 시공자의 협력 및 융합의 필요성은 점차 커지고 있으며, BIM 등 디지털 기술의 발달은 이를 지원하기 위한 촉진 요소가 되고 있다. 또한 디지털 기술의 적극적인 도입이 강조됨으로써 건축 산업에서 IT 부문의 비중도 더욱 커져가고 있다.

2) 건축에 대한 사회경제적 요구 변화

□ 주요 기관이 제시하는 미래 이슈와 건축의 미래상

건축은 우리가 살아가는 환경을 구성하며 사회경제적 기능을 담당하는 중요한 요소인 만큼 세계 여러 기업 및 기관들은 미래사회의 변화와 건축의 미래에 대해 탐구하고 저마다의 미래상을 제시하고 있다.

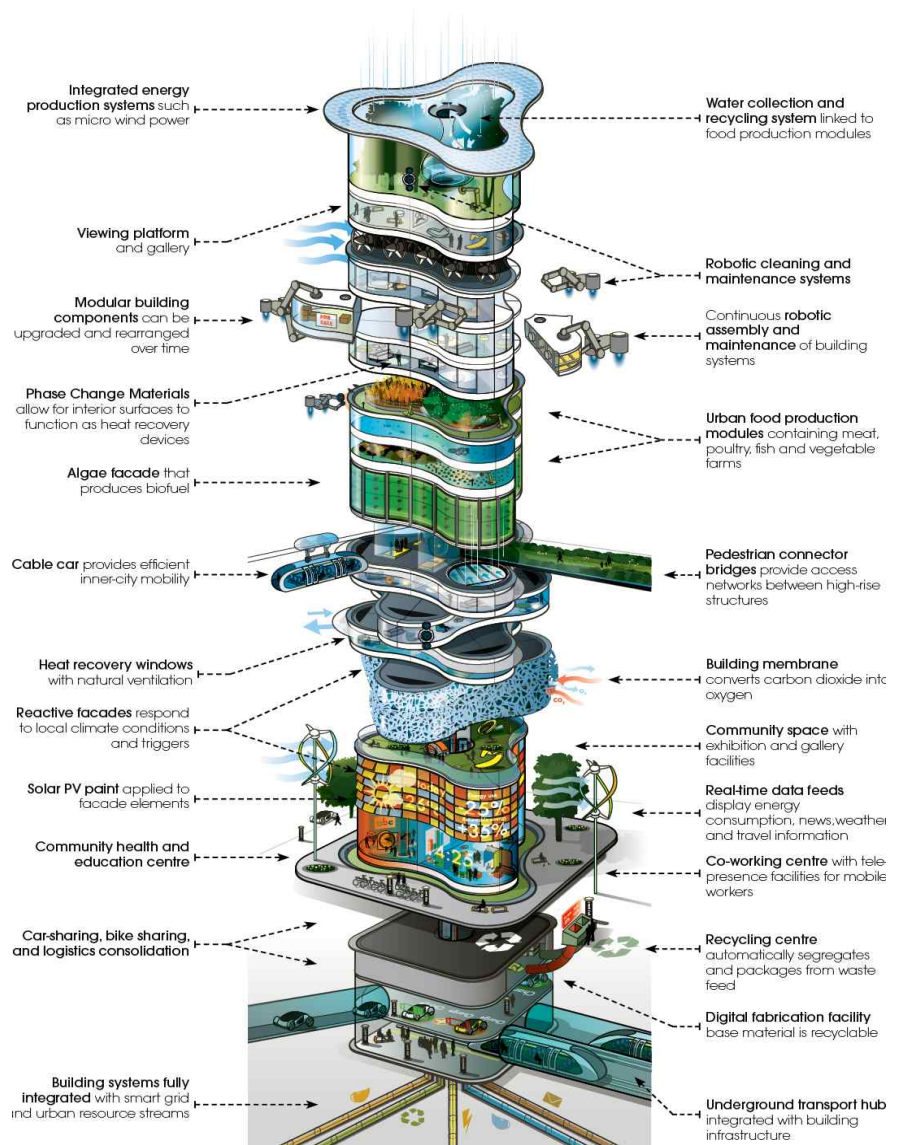
세계적인 엔지니어링 회사인 애립(ARUP)의 미래 연구기관인 Arup Foresight는 2013년 한 보고서에서 미래 건축물의 변화상을 제시하였다. 건축물과 관련해 그들이 주목하는 국제적인 주요 변화 동인은 ‘인구 증가’, ‘도시화’, ‘기후 변화’, ‘식량 부족(식량 생산의 새로운 패턴)’, ‘자연자원 고갈’, ‘보안 및 감시 사회’, ‘환경 친화성’, ‘스마트 시티’, ‘인텔리전트 빌딩’, ‘나노-바이오 기술 혁명’, ‘로봇공학 및 자동화’, ‘사용자 주도 디자인’, ‘커뮤니티와 시스템 통합’, ‘생태 시대’ 등 총 14가지 요소로 요약된다.⁶³⁾

이 보고서에서는 이와 같은 변화 동인을 반영하여 미래 도시 건축물이 갖추어야 할 기능 및 생산 시스템을 제시하고 있다. 먼저 건축물은 변화하는 사회에 지속적으로 적응력을 갖추기 위해 모듈러 구성으로 시간에 따라 로봇을 통해 업그레이드, 재배열, 교체 및 수리될 수 있는 유연한 구조를 갖춘다. 이에 더하여 건축물은 에너지, 물에서부터 식량까지 지속가능한 자원을 생산하여 도시의 생산, 저장 및 소비를 최적화하는 데 기여하고, 다목적 기능을 가진 반응형 파사드를 통해 변화하는 환경 조건에 대응한다. 또한 가속화되는 도시화에 대응하여 건축물은 교통, 공공시설 및 녹지 공간 등 도시의 공공영역과 통합되고 이는 커뮤니티 서비스와 이벤트를 위해 사용된다. 마지막으로 미래의 건축물은 궁극적으로 지능(brain)을 가진 스마트 시스템으로서 센서, 데이터, 자동화 기술 등을 통해 건축물 내외부의 환경 변화, 자원 생산 및 사용자 행태에 자동적으로 반응하여 최적화된 환경 및 기능을 제공한다.⁶⁴⁾ 이와 같이 애립이 제시한 건축물의 미래상은 사회·경제·환경적 요구에 자동적으로 반응하는 ‘지능화된 로봇’으로 요약할 수 있다.⁶⁵⁾

63) Arup Foresight(2013), *It's Alive: Can you imagine the urban building of the future?*, p.2.

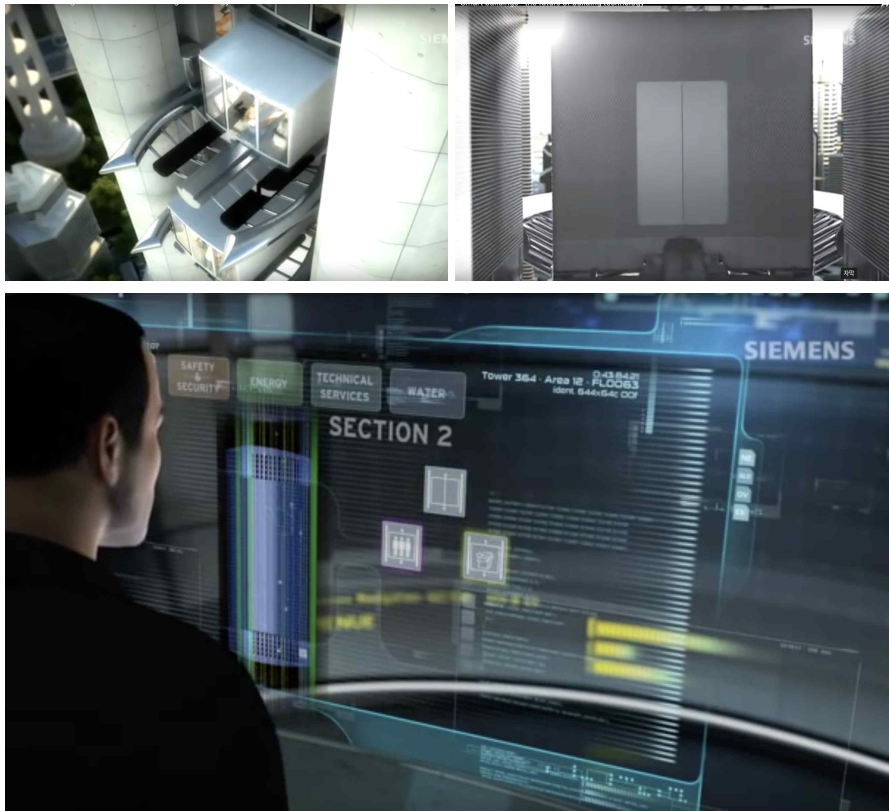
64) Arup Foresight(2013), *It's Alive: Can you imagine the urban building of the future?*, pp.3~9.

65) 김성아 교수는 “지금까지 건축에 비해서 건축물은 그 자체가 로봇으로 변신을 거듭하고 있다. 오티스(Otis)가 1853년 엘리베이터를 최초로 소개한 이래 건축물의 로봇화는 급속하게 진행되어 왔다. 건축물에서 차지하는 비용 중 보이지 않는 부분에 들어가는 비용, 즉 통신망·배관·무선 통신장비와 센서 네트워크 등에 들어가는 비용의 비중은 놀라우리만큼 커졌다”라고 언급한다(출처: 김성아(2017), “제4차 산업혁명과 건축서비스산업의 진화”, 『건축과 도시공간』 Vol.28, 건축도시공간연구소, p.018).



[그림 2-28] 애랍(Arup)이 그리는 미래 건축물의 청사진
(출처: Arup Foresight(2013), p.3)

빌딩자동화 등 다양한 산업 분야의 제조 및 디지털 솔루션 개발에 집중하고 있는 세계적인 전기전자 기업인 지멘스(Siemens)는 건축 시장의 메가트렌드를 도시화, 인구 변화, 세계화, 기후 변화 등으로 보고 스마트빌딩 시스템에 있어 ‘안락함과 안전’, ‘에너지 및 자산의 효율성’, ‘공간과 사용자 효율성’의 가치를 제안하고 있다. 이를 위해 미래의 건축물은 생애주기에 걸쳐 운영자 및 사용자의 변화 요구에 유연하게 대응하여 공간 운영의 효율성을 높일 수 있는 모듈화 시스템으로 구성되고, 에너지·물 등 자원 생산 및 공급, 실내 환경 조절, 보안 및 안전 확보 등을 위한 여러 시스템이 유기적으로 연계·통합된 지능형 관리 시스템이 핵심적인 요소가 된다.⁶⁶⁾



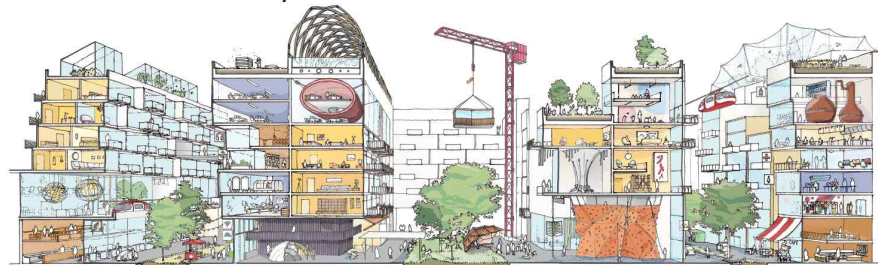
[그림 2-29] 지멘스(Siemens)가 그리는 건축물의 미래상

(출처: Siemens 유튜브 동영상(2010.10.22.), “Smart buildings – the future of building technology” 일부 캡처)
(<https://www.youtube.com/watch?v=gCuPx9shWT0>, 검색일 2018.6.28.)

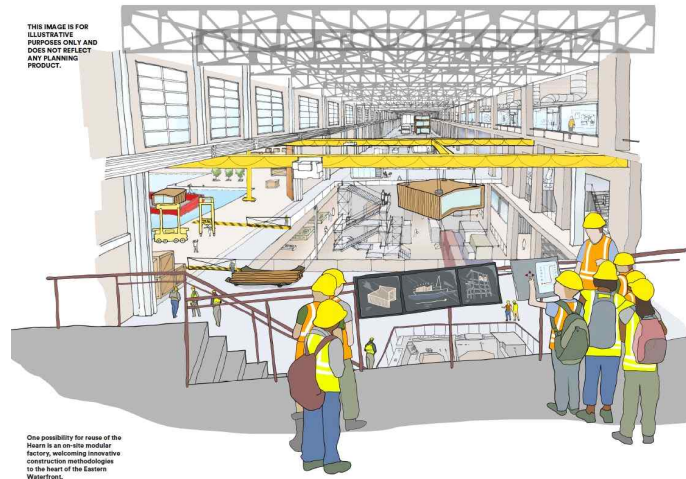
66) Siemens(2018), “The Future of Smart Buildings” 프리젠테이션 자료 참고
(<https://www.siemens.com/press/pool/de/feature/2018/buildingtechnologies/2018-12-hq/presentation-future-of-smart-buildings-e.pdf>, 검색일 2018.12.20.).

구글(Google)의 자회사로 캐나다 토론토 퀘이사이드(Quayside) 지역에 스마트시티 개발을 기획하고 있는 사이드워크랩스(Sidewalk Labs)는 건축과 관련해 사회 및 시장의 빠른 변화와 다양성, 도시의 주택 가격 상승, 지속가능성 등을 이슈를 인식하고 있다. 이에 따라 건물 및 시장의 수요 변화에 유연하게 대응하기 위한 복합용도의 로프트 구조(Loft structure)를 제안하고, 공장 생산(제작) 시스템을 도입하여 저렴 주택(Affordable Housing) 공급을 도모하는 것을 제안하고 있다. 또한 건축 재료는 이를 실현하고 지속가능성을 도모하기 위해 중요한 요소로 보고, 새로운 기술을 적용한 목재(CLT, Cross Laminated Timber 등)를 미래의 건축 재료로 적극 도입하고자 한다.⁶⁷⁾

A Flexible Loft for the Future City



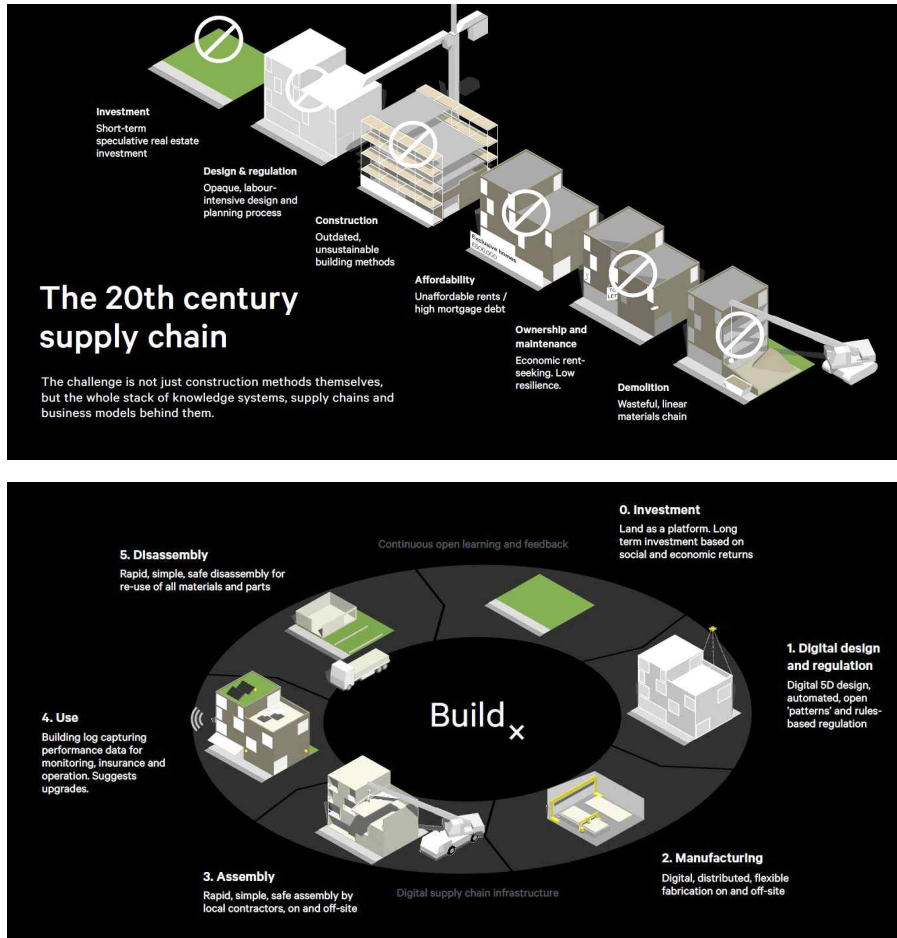
[그림 2-30] 사이드워크랩스가 제안하는 로프트 구조
(출처: Sidewalk Labs(2017.10.17.), p.26)



[그림 2-31] 사이드워크랩스가 제안하는 공장생산 모듈러 건축
(출처: Sidewalk Labs(2017.10.17.), p.111)

67) Sidewalk Labs(2017.10.17.), *Vision Sections of RFP Submission(RFP No. 2017-13)*, pp.25~26 참고, 목재 사용에 관한 추가적인 내용은 Olivia Jia(2018.10.23.), "Can Future Cities be Timber Cities? Google's Sidewalk Labs Asks the Experts", ArchDaily 기사 참고 (<https://www.archdaily.com/904271/can-future-cities-be-timber-cities-google-sidewalk-labs-asks-the-experts>).

오픈소스 건축인 위키하우스(Wiki House)를 제안한 바 있는 위키하우스 재단(Wikihouse Foundation)은 기존의 건축 산업이 분절되고 뒤흔어진 공급 구조로 인해 비용, 투자 및 운영 관리의 효율성, 환경적인 지속가능성 등의 측면에서 문제가 있음을 지적하며 데이터 및 지식 기반의 디지털화된 공급 사슬을 제안하고 있다.⁶⁸⁾

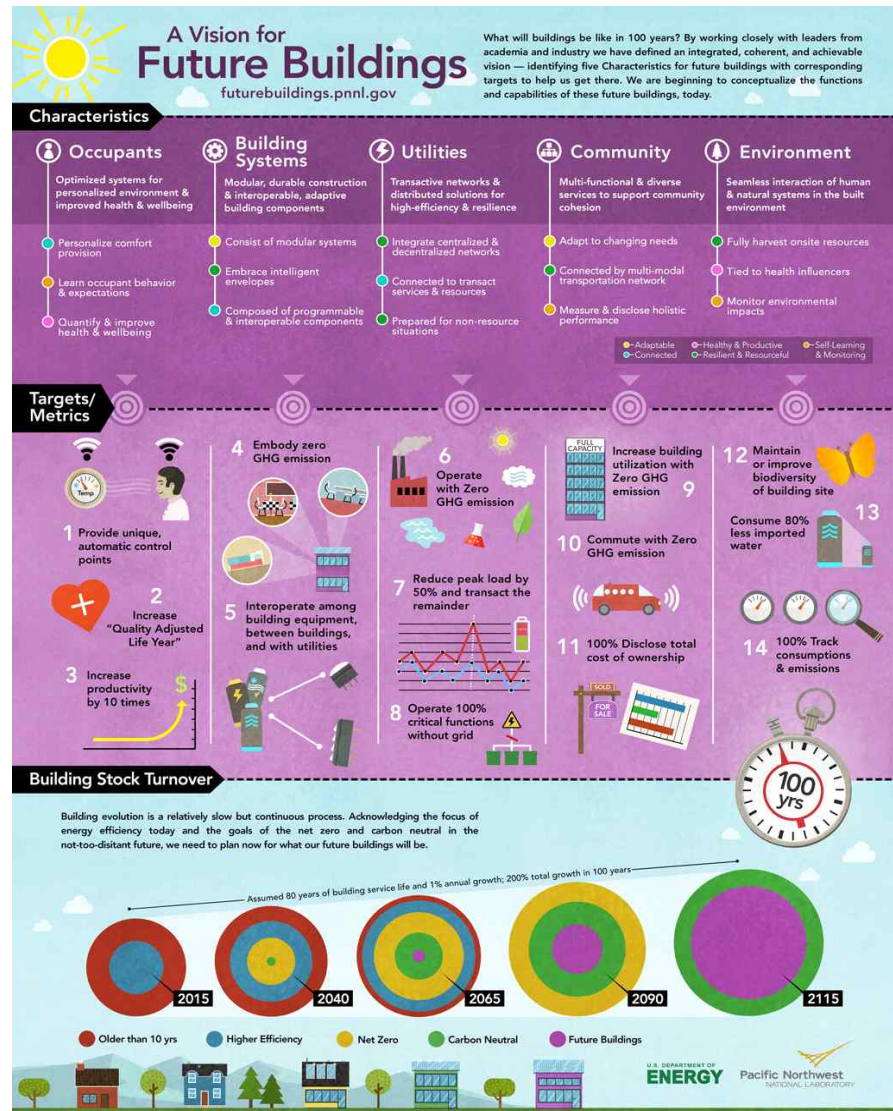


[그림 2-32] 위키하우스 재단(Wikihouse Foundation)이 제시하는 건축물 공급 사슬 형태
(출처: WikiHouse Foundation(2018), "Build x"(Version 0.5), p.4(위), p.19(아래) 그림 편집)

미국 에너지부(U.S. Department of Energy)와 퍼시픽 노스웨스트 국립 연구소(Pacific Northwest National Laboratory)는 미래 건축물의 비전을 점유자, 건축 시스템, 전기 설비, 커뮤니티, 환경 등 5가지 측면에서 제시한다. 이에 따르면 미래의 건축물은 점유자에게 맞춤형 환경과 향상된 건강 및 웰빙을 위해 최적화된 시스템을 제공하고, 건축 시

68) WikiHouse Foundation(<https://wikihouse.cc/>) 참고.

시스템의 측면에서는 모듈러 형태의 내구성 있는 건설과 상호 운용 가능한 적응형 건물 구성 요소로 이루어져야 하며, 전기설비는 고효율 및 복원력을 위해 에너지 등 자원의 거래가 가능한 네트워크와 분산된 솔루션을 제공해야 한다. 또한 커뮤니티 통합을 지원하는 여러 기능 및 다양한 서비스를 제공하며, 건조 환경에서 인간과 자연 시스템은 원활하게 상호작용할 수 있어야 한다.⁶⁹⁾



[그림 2-33] 미국 에너지부의 미래 건축물 비전

(출처: <https://futurebuildings.labworks.org/#modal>, 검색일 2018.10.25)

69) <https://futurebuildings.labworks.org/> 내용을 토대로 작성.

□ 2040 국토교통 트렌드와 건축 관련 사회경제적 요구 변화

「2040 국토교통 미래기술예측조사」⁷⁰⁾는 국토교통 분야의 미래 대비를 위해 전략적으로 탐구해야 할 미래유망기술을 도출하기 위한 조사이다. 이 조사는 STEEP 분석을 토대로 국내외 관련 문헌 분석 및 전문가 논의를 거쳐 미래 트렌드를 도출하고 이에 따라 예상되는 기술수요를 제시하고 있다.

[표 2-13] 「2040 국토교통 미래기술예측조사」 7대 메가트렌드 및 국토교통 기술수요(Needs)

STEEP	메가트렌드	트렌드	국토교통 미래사회 기술수요(Needs)
Social	인구구조 및 사회환경의 변화	저출산고령화사회	1. 고령화/가족개념 변화대응 주거형태 2. 사회적 약자를 배려하는 도시시스템 3. 교통약자를 배려하는 교통시스템
		도시인구의 증가	4. 도시화에 대응하는 대공간의 등장
Technological	과학기술의 발전	첨단 국토교통 기술	5. 도시내/지역간 첨단 신교통수단 보급
	기술 융복합	ICT기술 발달	6. ICT와 도시·교통시스템의 융합
		나노기술의 발달	7. 첨단 신소재의 적용
		로봇기술의 발달	8. 로봇기술과 국토교통기술 융합
Economic	글로벌 경제사회	세계시장의 통합	9. 도시, 건축, 플랜트 산업 세계화 10. 물류 시스템 기반 글로벌 경제활동 확대
		인력이동의 글로벌화	11. 글로벌 고속/고효율 교통수단 보급
Ecological	지구온난화 및 기후변화	지구온난화 심화	12. 탄소저감 도시와 시설의 보급
		환경오염의 증가	13. SOC시설/건축물 리모델링 확산
	에너지 자원 부족	에너지·자원수요의 증가	14. 화석연료 대체에너지 개발 체계 15. 비전통 에너지의 경제성 증가 16. 신개념 에너지원 교통수단의 보편화
		물·식량부족의 심화	17. 수자원의 국제적 가치상승
Political	안보 및 안전	재해·재난 대비	18. 안전하게 운영되는 사회기반시설 19. X-Event에 대응하는 기반시설 도입
		한반도 통일 시대	20. 통일 비용의 저감과 북한지역 개발

출처: 국토교통부·국토교통과학기술진흥원(2013), 「2040 국토교통 미래기술예측조사」, p.84, 표 3-3

70) 국토교통부·국토교통과학기술진흥원(2013), 「2040 국토교통 미래기술예측조사」.

사회 부문의 주요 트렌드는 인구 고령화, 도시인구 증가 등 인구구조 및 사회환경의 변화이다. 전 세계적으로는 개발도상국의 인구 증가에 힘입어 2050년경 세계 인구는 2015년에 비해 24억 명이 늘어난 97억 명이 될 것으로 예상⁷¹⁾되며, 도시에 거주하는 인구는 지속적으로 증가하여 2050년경에는 전 세계 인구의 66% 가량이 도시에 거주할 것으로 예상⁷²⁾되고 있다. 또한 기대수명의 증가와 출산율 감소에 따라 전 세계는 점차 고령화 사회가 되어 가고 있다. 우리나라의 경우도 빠른 속도로 초고령사회에 진입하고 있으며, 출산율 감소로 인해 전체 인구는 감소하는 한편 가구 수는 증가할 것으로 예상⁷³⁾되고 있다. 이러한 인구 구조 변화로 인해 고령자, 고밀 도시 거주자, 새로운 형태의 가구 등에 대응한 다양한 건축 형태가 필요해질 것으로 예상된다.

기술 부문에서는 과학기술의 발전과 기술 융복합으로 인해 건축 산업에서 ICT 기술, 신소재, 로봇기술 등의 중요성이 급속히 높아지고 있다. 이러한 새로운 기술의 발달은 건축 과정의 자동화, 지능화를 가속화할 뿐 아니라 인문·예술적 요소와 융합함으로써 건축 실행방식의 변화를 가져오고 있다. 또한 건축물의 유지관리를 용이하게 하는 자가치유 소재 등 첨단 신소재에 대한 개발도 활발하게 이루어지고 있다. 이처럼 미래에는 건축 분야에서도 빠르게 발전하는 기술에 대해 보다 민감하게 반응해야 할 필요성이 높아질 것으로 예상된다.⁷⁴⁾

경제 부문의 트렌드는 세계시장의 통합과 인력이동의 글로벌화로 다른 산업과 마찬가지로 건축 산업에서도 세계시장에서의 경쟁력 확보가 관건이 될 것이다.

기후변화와 에너지 자원 문제는 건축 환경을 변화시키는 중요한 동인 중 하나로 건축물의 에너지 효율 확보, 신재생에너지 적용, 에너지 소비 절감 방안 마련 등 건축 또는 건축물 운영관리 과정에서 발생하는 탄소 발생량을 줄이는 데에 대한 사회경제적 요구가 커지고 있으며, 이를 제도적으로 의무화하는 정책이 전 세계적으로 확산되고 있다. 한편 이 보고서에서는 환경문제와 경제성장 둔화로 인해 우리나라의 리모델링 시장은 선진

71) United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division(2015), *World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP.242*; Arup Foresight(?), *Cities Alive: 100 issues shaping future cities* 에서 재인용.

72) United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division(2014), *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlight*; Arup Foresight(?), *Cities Alive: 100 issues shaping future cities* 에서 재인용.

73) 한국국토정보공사(2016), 「대한민국 2050 미래 향해」, pp.32~37.

74) 국토교통부·국토교통과학기술진흥원(2013), 「2040 국토교통 미래기술예측조사」, pp.43~50 내용을 참고하여 작성.

국과 같이 꾸준히 증가할 것이며 이에 따라 리모델링 관련 건축 기술 및 신소재 개발이 각광받을 것으로 전망⁷⁵⁾하고 있다.

정치 부문에서 주목할 만한 미래 이슈는 한반도 통일로 이를 위해서는 양질의 주택 및 건축물을 빠르고 저렴하게 공급할 수 있는 건축생산방식이 필요할 것으로 예상된다.



[그림 2-34] 우리나라 인구가구 구조의 변화 전망
(출처: 한국국토정보공사(2016), 「대한민국 2050 미래 향해」, p.33)

75) 국토교통부·국토교통과학기술진흥원(2013), 「2040 국토교통 미래기술예측조사」, p.61.

3) 소결: 건축서비스산업에서 제4차 산업혁명의 의미

□ 디지털 전환을 통한 생산성 향상의 기회

건축 산업을 비롯한 전 산업 부문에서 제4차 산업혁명을 이끄는 디지털 기술 등을 통해 생산성 향상과 새로운 비즈니스 모델 창출을 위한 시도가 계속되고 있다. 건축서비스산업은 지식서비스 산업으로 도약을 시도하고 있으나 낮은 생산성과 아날로그적인 업무 과정에서 탈피하지 못하고 있다. 특히 건축서비스산업은 제조업 등과 달리 별도의 장비나 시설에 의존하기보다는 CAD, BIM 등 디지털 도구를 활용하는 특징이 있음에도 불구하고 이를 활용하는 방식은 Digitization 수준에 머물고 있다고 할 수 있다. 건축서비스산업의 디지털 전환은 이러한 한계를 극복하여 생산성을 향상시킴으로써 고도의 지식서비스 산업으로 도약하는 계기가 될 수 있다는 점에서 의미가 있다.

우리나라 건축설계 및 관련 서비스업은 소규모 사업체가 대다수로⁷⁶⁾ 이들은 상대적으로 규모가 큰 사업체에 비해 종사자당 매출액도 낮은 것으로 파악⁷⁷⁾되고 있다. 각종 디지털 도구의 발전은 노동집약적인 업무 방식에서 벗어나도록 돕기 때문에 소규모 건축사사무소는 디지털 전환을 통해 노동 생산성을 높이고 보다 규모가 큰 프로젝트로 업무 범위를 넓힘으로써 경쟁력을 확보하는 기회를 마련할 수 있다. 그러나 소규모 건축사사무소는 대형 건축사사무소에 비해 디지털 도구 도입에 대한 투자 및 교육 여건을 마련하기 어려운 실정이므로 디지털 전환의 필요성이 큼에도 불구하고 별도의 전략을 마련하지 않는 한 대기업과의 디지털 격차는 더욱 커질 가능성이 크다.

[표 2-14] 2016년 건축설계 및 관련 서비스업 사업체당 매출액

구분	1억 미만	1~3억 미만	3~5억 미만	5~10억 미만	10~30억 미만	30억 이상	합계	2016년 매출액 평균(백만 원)	
	%	%	%	%	%	%	%	사업체당	종사자당
전체	23.1	37.0	12.1	9.6	9.5	8.8	100.0	2435.2	149.9
5인미만	35.2	51.3	9.6	2.3	0.5	1.0	100.0	209.2	88.6
소기업	1.6	13.4	19.4	26.3	29.6	9.7	100.0	1271.8	115.8
중기업	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	16623.0	126.1
대기업	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	96100.0	153.3

출처: 서수정 외(2017), p.xiv [표 12]

76) 2015년 기준으로 건축설계 및 관련 서비스업 사업체 중 75%가 종사자 5인 미만 기업에 해당(출처: 서수정 외(2017), p.51)

77) 서수정 외(2017), p.xiv.

□ 건축이 직면한 사회적 요구에 대응하기 위한 추진 동력

제4차 산업혁명은 건축서비스사업자의 생산성 향상과 경쟁력 강화를 위한 기회일 뿐 아니라 건축과 관련한 사회적 요구와 각종 사회문제 해결을 위한 추진 동력이 될 수 있다. 초고령화 사회로의 진입으로 헬스케어 서비스 등 종전에는 볼 수 없었던 부가적인 건축 관련 서비스에 대한 요구가 커지고 있고, 전 세계적인 도시화와 주택 가격 상승은 보다 효율적이고 저렴한 건축생산방식으로서의 전환을 요구하고 있다. 기후변화와 환경오염 문제는 탄소 배출 또는 자원 사용을 절감할 수 있는 친환경적인 건축 기술과 건축물의 효율적인 에너지 소비 및 관리 시스템 등의 필요성을 증대시키고 있다. 이외에도 건축에 대한 사회적 요구는 다양하고 새로운 요구가 발생하고 있다. 건축서비스산업의 디지털 전환은 이와 같은 건축에 대한 사회적 요구에 효과적으로 대응하기 위한 핵심 전략이 될 수 있다는 점에서도 의미를 찾을 수 있다.

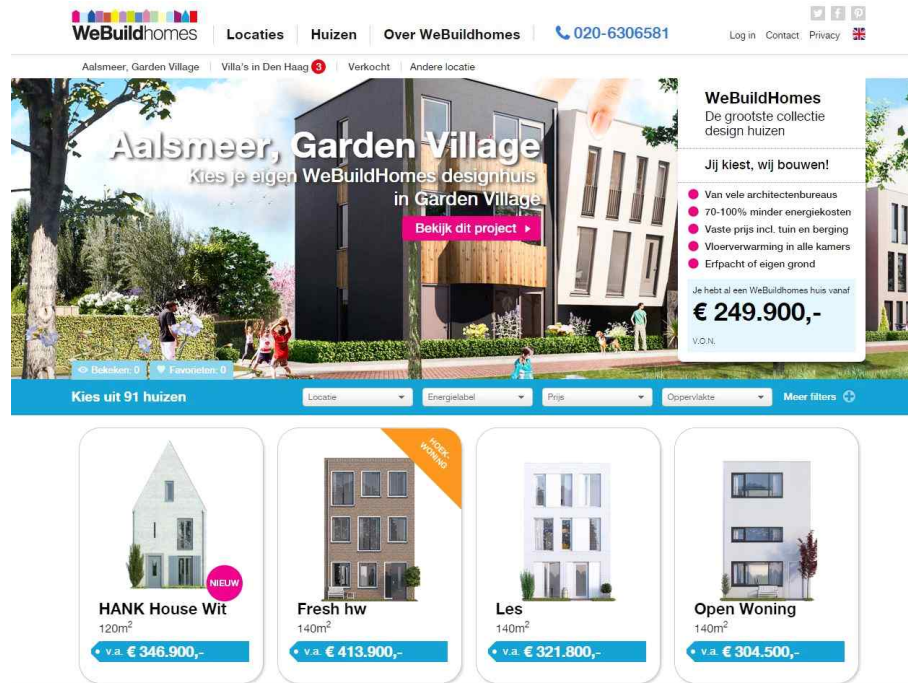
□ 기술간 산업간 융합에 따른 산업구조 재편 가능성

앞서 살펴본 바와 같은 건설 산업의 내부적인 필요성과 전 산업 부문에서 디지털 기술 등 혁신 기술이 보편적으로 적용되어 감에 따라 건축서비스산업과 건설 및 IT 산업과의 관계는 이전보다 긴밀해질 것으로 예상된다. 이에 따라 최근 제조업과 서비스업이 융합되는 것과 같이 건설, IT, 건축서비스 산업 간 경계가 모호해지거나 기존 건축서비스산업의 파괴적 재편이 이루어질 가능성이 존재한다. 대형 건설업체 또는 건축과 관련한 자동화·지능화 기술을 보유한 IT 업체가 기존의 건축서비스산업의 업무 영역으로까지 사업을 확장할 가능성도 존재한다. 소규모 사업체가 많은 건축서비스산업의 특성상 이들의 디지털 전환 속도가 지연된다면 산업구조는 파괴적으로 변화할 가능성이 있다. 이와 같은 가능성에 대응하여 건축서비스산업의 내부적 역량을 강화하는 한편 건축의 가치사슬에 연관된 타 산업과의 상호보완적 성장 전략을 마련할 필요성이 있다.

□ 업무환경 변화에 따른 건축사 등 건축서비스사업자의 역할 재정립 필요성

제4차 산업혁명의 핵심 기술들이 융합발전하면서 건축사 등 건축서비스산업 종사자의 전통적인 역할에도 변화가 생길 것으로 예상된다. 배타적으로 제도화된 건축사의 고유 업무인 설계 및 감리 부문 등 전통적인 업무 영역은 의사, 변호사 등 다른 전문직과 마찬가지로 자동화·지능화된 디지털 도구로 점차 대체될 가능성이 많다. 특히 소규모 건축사사무소의 주된 업무 중 하나인 감리 부문은 건설자동화 기술이 급속히 발전함으로써 단기간에 자동화 기기로 대체될 가능성이 크며 설계 업무의 경우에도 장기적으로는 전

문 인력이 노하우에 의존하는 데서 벗어나 자동화·지능화된 서비스가 가능할 수 있다. 또한 기업 및 산업 전반의 디지털 전환으로 인해 건축가와 고객의 아날로그적인 관계에도 변화가 발생할 것으로 예상되므로 이에 대응하여 미래를 준비하는 건축사의 핵심 역할이 무엇일지에 관한 폭넓은 논의를 통해 그 역할을 재정립해나갈 필요성이 있다. 예컨대 네덜란드 암스테르담에 기반을 두고 있는 위빌드홈스(WeBuildHomes)는 사이트 사용자가 일반 제품과 같이 온라인상에서 맞춤형 설계도를 고르면 이를 건설하는 서비스 제공함으로써 건축서비스 경로 자체를 변화시키고 있으며 건축사의 역할을 모호하게 만들고 있다.



[그림 2-35] 온라인 플랫폼을 통한 건축서비스 사례(위빌드홈즈)
(출처: 위빌드홈즈 홈페이지, <https://www.webuildhomes.nl/>)

제3장 건축서비스산업 기술 트렌드

1. 건축서비스산업 기술 트렌드

2. 건축서비스 관련 기술 기업 트렌드

1. 건축서비스산업 기술 트렌드

건축서비스산업 기술 트렌드를 도출하기 위해 먼저 건축, 엔지니어링 및 건설 산업¹⁾ 전반의 기술 트렌드에 관한 주요 문헌들을 검토하고, 이를 통해 확인할 수 있는 해당 기술의 적용 사례를 조사하였다. 기존 문헌들은 건축서비스산업²⁾에 특화된 기술을 따로 분석한 것이 아니라 건축 산업의 전 단계(기획-설계-엔지니어링-건설-운영관리)에 걸친 기술 혁신 트렌드를 분석하고 있거나 보다 산업 규모가 큰 건설 산업을 중심으로 정리된 측면이 있으므로 이를 건축서비스산업의 관점에서 해당 기술 및 사례를 재정리하여 트렌드를 도출하였다. 건축서비스산업 트렌드는 가까운 미래에 본 산업을 주도할 기술을 도출하는 것이므로 건축서비스산업에 이미 적용되고 있는 것 뿐 아니라 앞으로 적용될 가능성이 크거나 기술개발 초기 단계에 있는 것들도 포함하였다.

1) 건축서비스산업 기술 트렌드 관련 주요문헌 검토

□ 보스턴 컨설팅 그룹(2016.3), *Digital in Engineering and Construction*³⁾

엔지니어링 및 건설에서의 디지털 기술 현상을 분석한 이 보고서에서는 다른 산업에 비

1) AEC(Architecture, Engineering and Construction) Industry.

2) Architectural Service Industry.

3) BCG(2016.3), *Digital in Engineering and Construction: The Transformative Power of Building Information Modeling* 내용을 토대로 작성.

해 신기술 적용이 늦었던 이 산업 분야에서도 디지털화에 따른 상당한 변화가 진행되고 있는 점에 주목하고 E&C 산업을 변화시킬 주요 기술적 발전에 대해 정리하고 있다.

이 보고서는 E&C 산업의 디지털 기술의 층위를 사용자 인터페이스 및 애플리케이션 (User Interfaces and applications), 소프트웨어 플랫폼 및 제어(Software platform and applications), 디지털/ 물리적 통합 계층(Digital/ Physical integration layer), 센서 및 장비(Sensor and equipment) 등 4가지로 구분하고, 각각의 층위에 해당하는 요소 기술을 정리하였으며, 설계 및 엔지니어링-시공-운영에 이르는 3단계의 가치사슬에 따라 디지털 기술로 인해 가능해진 새로운 기회에 대해 언급하고 있다.

이러한 기술 전환의 중심은 소프트웨어 플랫폼으로 BIM은 가치사슬을 따라 모든 이해 관계자들에게 자산(건물)의 라이프사이클에 대한 가상 모델링과 시뮬레이션 정보를 제공하며, 이는 다른 기술 층위와의 구조 안에서 기능하게 된다. 센서 및 장비 기술은 매입 센서를 통해 시공 및 운영 중에 건물의 상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있으며 드론을 통해 시공 현장을 조사하고 검사할 수 있다. 여기서 그치는 것이 아니라 지능화된 건설 기기 및 로봇은 수집된 정보에 따라 현장작업자가 없이도 필요한 물리적인 행동을 자율적으로 할 수 있다. 3D 프린팅과 같은 적층 가공(additive manufacturing) 기술은 가상 모델을 실제 건물 구성 요소를 만드는 데 적용되고 있으며, 3D 스캐닝 기술은 복잡한 건물의 디지털 모델을 제작하는 데 사용되어 리노베이션을 용이하게 하고, 품질을 보증하며 재료의 열화 상태를 모니터링 할 수 있게 한다. BIM의 일부로서 가상현실과 시뮬레이션은 의사결정, 계획 및 교육을 개선하며 모바일 인터페이스와 증강 현실은 원격으로 건설 인력과 관리 인력과의 실시간 의사소통을 가능하게 한다. 빅데이터 분석은 이제 건설 산업에서 사용되기 시작한 것으로 이제 이를 통해 건설 프로젝트에서 발생하는 엄청난 양의 데이터를 처리하고 이를 활용하여 건물 설계를 향상시키고 실시간 의사 결정을 용이하게 하며 예측의 정확성을 높이고 체계적인 개선을 지원할 수 있다.

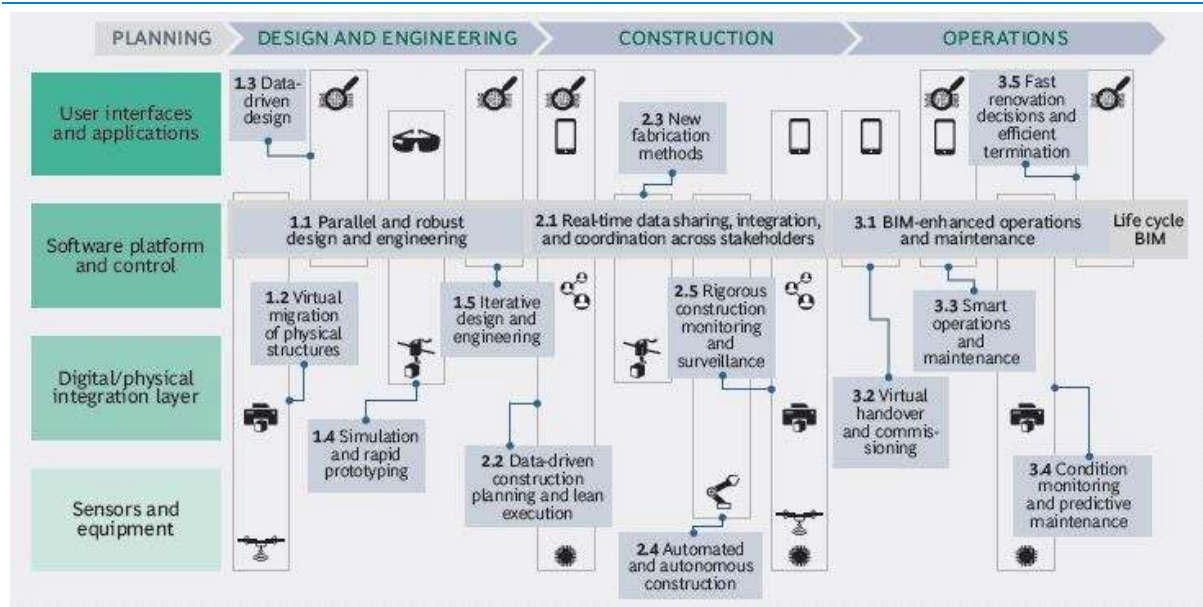
결과적으로 이 보고서에서는 이러한 디지털 기술을 도입하는 기업은 생산성을 높이고 복잡성을 관리하여 프로젝트 지연과 초과 비용 발생 가능성을 줄일 수 있으며, 안전성과 품질을 향상시킬 수 있을 것으로 내다보고 있다. 건축 부문의 비용 시뮬레이션에서는 설계, 엔지니어링 및 건설 비용을 상업용 및 기관용 건물에서는 10%~15%, 병원과 같은 복합 건물의 경우에는 15%~25%까지 줄일 수 있으며, 운영 단계에서는 비용 절감의 범위가 14%~23%에 이를 것으로 예측⁴⁾하고 있다.

4) 설계 및 엔지니어링 단계에서는 디지털 기술 도입에 따른 비용 절감이 일어나지 않는데 이는 에너지 시뮬레이션과 같은 부가적인 분석 작업이 동반되기 때문(BCG(2016.3), p.10 참고)

[표 3-1] 디지털 기술에 의해 가능해진 새로운 기회

단계	기회 요소	내용
설계 및 엔지니어링	1-1. 병렬적이고 탄탄한 디자인 및 엔지니어링	BIM은 설계자, 엔지니어 및 다른 프로젝트 파트너가 모델을 통합하고, 상호 의존성과 충돌을 식별하며, 설계 반복을 신속하게 평가할 수 있도록 지원함으로써 설계 및 엔지니어링 프로세스를 개선하고 병렬화를 용이하게 함
	1-2. 물리적 구조의 가상 이동	항공 매핑 기술과 3D 레이저 스캐닝은 각각 기존 건물과 인프라를 가상 3D 모델로 전환하는데 사용되며, 이 기능은 수동 측정에 비해 정확성을 높이고 시간을 절약하는 데 도움이 됨
	1-3. 데이터 주도 디자인	빅 데이터 분석 - 예를 들어 사람들의 행동 또는 기반시설 환경인프라 환경 -은 설계 결정을 최적화하고 시설의 운영 효율성을 높이는 데 도움이 됨
	1-4. 시뮬레이션 및 신속한 프로토타입 제작	새로운 모델링 기술 - 예를 들어 홀로그램 기술을 통해 개선된 시뮬레이션과 3D 프린팅을 모델과 같은 빠른 프로토타이핑 -을 통해 설계 반복 속도를 높이고 시각화를 개선할 수 있음
	1-5. 반복 설계 및 엔지니어링	BIM에 통합된 소프트웨어 도구는 설계 대안 자동 생성 및 평가, 밸류 엔지니어링 지원, 설계-제작 및 지속가능성 분석 강화와 같은 다양한 이점을 제공
시공	2-1. 이해관계자들간의 실시간 데이터 공유, 통합 및 조정	시공 단계에서 주요한 과제는 공급자에서부터 하도급자와 현장 근무자들에 이르기까지 모든 당사자들에게 적시에 적절한 정보를 제공하는 것으로, 클라우드 내 BIM을 사용하면 모든 이해관계자가 실시간으로 데이터를 공유하고 활동을 통합 및 조정할 수 있음
	2-2. 데이터 주도 건설 계획 및 린(lean) 실행	건설 현장에서 최적의 자원 배분 및 일정 관리를 위해 기업은 빅데이터(과거 프로젝트로부터 파생된)와 RFID 추적(재료, 장비 및 노동력)을 통해 프로젝트 관리 도구를 개선할 수 있음. 이러한 방식으로 기업은 부가가치가 없는 활동(예: 대기, 직원 이동, 재료 및 장비 운송)을 줄이고 린(lean) 접근 방식을 유지할 수 있음
	2-3. 새로운 제작 방법	가상 빌딩 모델은 모듈화, 조립 및 개별 구성 요소의 3D 프린팅을 비롯한 새로운 제작 접근방식을 촉진할 수 있는 자세한 정보가 포함되어 있어, 시공 공정의 순서 개선, 날씨 관련 지연 감소, 보다 안전한 작업환경 조성, 자재 산출량 개선과 같은 많은 이점이 있음
	2-4. 자동화되고 자율적인 건설	로봇과 지능형 기계는 건설현장의 생산성, 정밀도 및 안전성을 향상시킴. 예를 들어 원격 제어 시스템과 3D 모델 안내 기능으로 굴삭기, 이동식 크레인 및 덤프 트럭을 첨단 수준으로 자동화할 수 있음
	2-5. 엄격한 건설 모니터링 및 감시	디지털 측정 및 모니터링 장치를 통해 기업들은 더욱 엄격하게 시공 프로세스와 활동을 추적할 수 있음. 보정 작업을 최소화하기 위해 3D 레이저 스캐닝으로 구조물들을 지속적으로 모델과 비교할 수 있으며 드론 및 원격 카메라들이 건설 현장들을 조사하는 한편 텔레매틱스 시스템은 최적화된 관리를 위해 연료 소비 같은 여러 기계적 매개변수들에 대한 데이터를 전송할 수 있음

운영	3-1. BIM 강화 운영 및 유지보수	BIM은 건물에 가상 모델을 제공하여 건물의 운영 및 유지관리를 촉진함. 모델은 초기 단계에서 생성된 정보의 저장소 역할을 하며, 운영 단계에서 보완 또는 개선됨
	3-2. 가상 인도 및 시운전	디지털 장치와 기술은 시운전 프로세스를 크게 간소화할 수 있음. 예를 들어 기업들은 바코드 스캐너가 장착된 모바일 장치를 통해 현장에서 시험 데이터 또는 검사 데이터를 수집할 수 있으며 해당 데이터를 3D 모델 형태로 상대방 개체로 직접 전송할 수 있음. 또한 BIM은 건물의 소유자 또는 운영자에게 정보 손실 없이 데이터를 효율적으로 전송할 수 있게 해주며, 이 데이터를 사용하여 설비 운영을 시뮬레이션하고 자산 대장을 자동으로 작성할 수 있음
	3-3. 스마트 운영 및 유지보수	BIM을 비롯한 여러 출처의 데이터를 통합하고 분석하여 기업은 운영 및 유지보수(O&M) 활동의 효율성을 높이고 새로운 가능성을 열 수 있음. 이와 관련된 스마트 시스템은 BIM 서비스 공급업체 BDS VirCon이 IBM과 협력하여 개발하고 있음. 공장의 현장 유지보수 직원은 증강현실 기술에 접속하여 기계 및 전기 구성 요소와 같은 숨겨진 기능을 보여주는 BIM 모델과 비교할 수 있고 동시에 수리 매뉴얼이나 예비 부품의 재고 수준 등과 같은 추가 정보에 접근할 수 있음
	3-4. 상태 모니터링 및 예방적 관리	센서, 카메라 또는 3D 레이저 스캐너를 통해 정확한 데이터에 실시간으로 접근해서 건물을 지속적으로 모니터링하고 예방적 관리를 수행할 수 있음. 이를 통해 수동 검사 및 예상치 못한 고장 횟수와 예방 정비의 양을 줄임으로써 비용을 상당히 절감할 수 있음
	3-5. 신속한 개보수 결정과 효율적인 종료	제대로 유지되는 BIM 모델은 설계자와 엔지니어가 주요 수리 및 개수 시 발생할 수 있는 영향 또는 폐쇄의 영향을 평가하는 데 도움이 될 수 있음

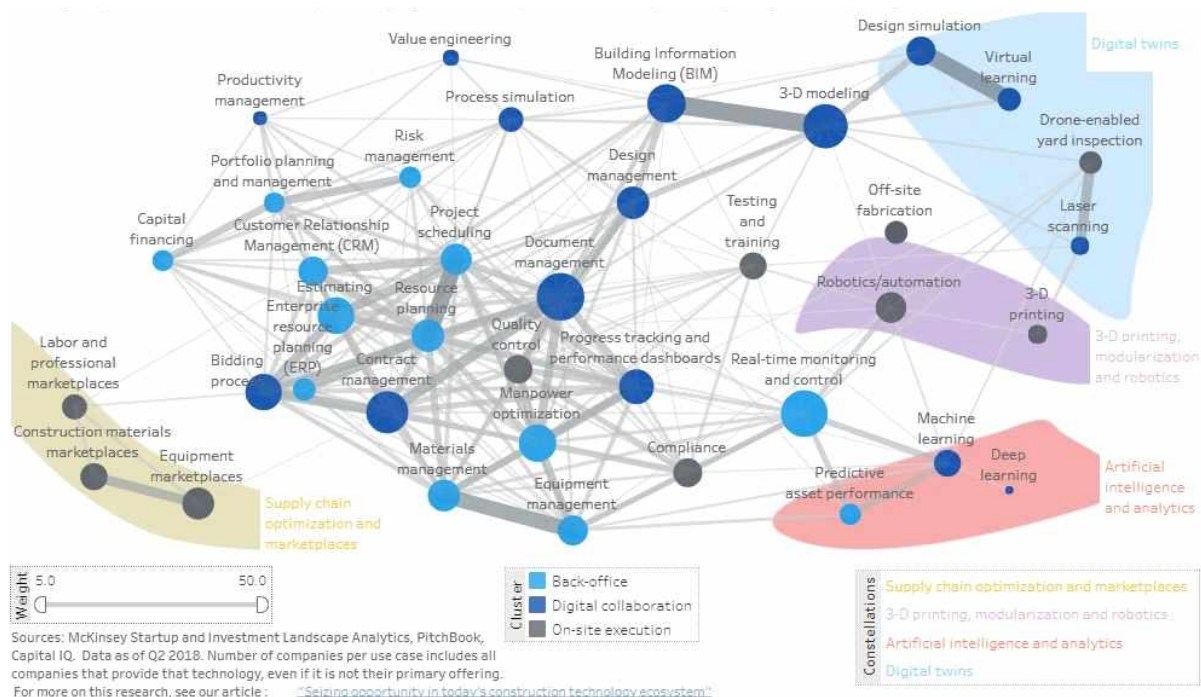


출처: BCG(2016.3), 그림 2 및 pp.6~9 내용 번역 및 재구성

□ 맥킨지 앤 컴퍼니(2018.10), *Seizing opportunity in today's construction technology ecosystem*⁵⁾

이 보고서는 건설 산업⁶⁾과 관련한 전 세계의 2,400개 이상 기술 기업들의 종합적인 데이터를 구축하여 건설 기술 트렌드와 생태계를 분석하였다.

이 보고서에서는 기업들이 사용하는 기술 솔루션 사례에서 나타나는 기술 간 연관성을 토대로 가까운 미래에 건설 산업을 견인하고 영향력이 빠르게 커질 것으로 예상되는 4가지 기술 군으로 “인공지능 및 분석”(Artificial Intelligence and analytics), “3D 프린팅, 모듈화와 로봇공학”(3D Printing, modularization, and robotics), “디지털 트윈 기술”(Digital Twin technology), “공급사슬 최적화 및 시장”(Supply chain optimization and marketplaces)를 제시하고 있다.



[그림 3-1] 건설 기술 생태계 지도
(출처: McKinsey&Company(2018.10), p.3)

5) McKinsey&Company(2018.10), *Seizing opportunity in today's construction technology ecosystem* 내용을 토대로 작성.

6) 본 보고서에서 Construction Industry는 콘셉트 및 타당성 분석, 설계 및 엔지니어링, 건설, 운영관리 등 건설 프로젝트 전체의 라이프사이클을 포괄하고 있음.

□ 기술 트렌드에 관한 주요 기사

건축, 엔지니어링 및 건설 산업에서 기술 혁신의 중요성에 대한 인식이 확산되면서 최근 이에 관한 기사가 늘어나고 있다. 대부분의 기사들은 기술과 산업 트렌드를 구분하지 않고 있어 요소 기술을 중심으로 한 주요 기사들의 내용을 정리하여 종합하였다.

- Design Blendz(2018.8.17.), “6 IMPORTANT AEC INDUSTRY TRENDS IN TECHNOLOGY”⁷⁾

미국의 건축 디자인 및 건설 관리 관련 종합적인 서비스를 제공하는 Design Blendz는 AEC 산업에서 중요한 6가지 기술 트렌드로 “BIM의 영향력 증가”, “클라우드 기술의 기하학적 성장”, “모듈러건축”, “드론 사용”, “3D 모델링 및 프린팅 기술”, “가상현실(VR)”을 뽑고 있다.

이 글에 따르면 “BIM”은 프로젝트에 관한 데이터 손실과 참여자 간 의사소통의 오류를 막아 프로젝트 소요 비용을 획기적으로 절감하는 데 기여하고 있어 전 세계적으로 정부 프로젝트에서 의무화가 빠르게 계속될 것이며, “클라우드 기술”이 전 산업, 전 세계적으로 보편화되면서 클라우드 CAD 서비스를 통해 정보의 공유와 산업 효율성이 혁신적으로 성장할 것으로 전망하고 있다. 한편 최근 “모듈러 건축”이 짧은 기간에 낮은 예산으로 실행이 가능한 장점을 갖고 대중화되고 있어 미래 건설방식의 주류가 될 것으로 예상하고 있다. “드론”은 아직 본 산업에서 크게 활용되고 있지는 못하나 건설 과정의 기록 및 안전 검사 등에 점차 더 많이 활용될 것이며, 3D 모델링과 3D 프린팅 기술은 BIM와 연계되어 프로젝트 과정의 의사결정을 보다 효율적으로 지원할 수 있을 것으로 예상하고 있다. “가상현실”은 몰입 환경을 제공함으로써 목업 비용을 줄이고 작은 문제로 현장에 방문하는 시간을 절약할 수 있어 본 산업에서 이를 사용하는 것이 지속적으로 진행되고 있다고 말하고 있다.

- Redshift(2018.1.16.), “5 Technology Innovations Can Help Your Architecture Practice Work Smarter”⁸⁾

오토데스크(Autodesk)가 제공하는 웹진인 Redshift의 한 기사에서는 건축 업무를 보다 스마트하게 실행하기 위한 5가지 기술로 “빅데이터”, “소셜 가상현실(Social Virtual

7) DesignBlendz Blog(2018.8.17.), “6 IMPORTANT AEC INDUSTRY TRENDS IN TECHNOLOGY”
(<https://www.designblendz.com/blog/6-important-aec-industry-trends-in-technology>, 검색일 2018.10.22.)

8) Matt Alderton(2018.1.16.), “5 Technology Innovations Can Help Your Architecture Practice Work Smarter”
(<https://www.autodesk.com/redshift/technology-architecture/>, 검색일 2018.10.22.)

Reality)”, “혼합현실”, “증강현실”, “생성적 디자인(Generative Design)”을 제시한다. 이 글에서는 건축설계사무소 Perkins+Will에서 시도하고 있는 기술 적용의 예를 토대로 하여 5가지 기술에 대해 설명하고 있다. Perkins+Will에서는 “빅데이터” 분석을 통해 다수의 건축 프로젝트를 수행할 때 문제가 발생할 수 있는 프로젝트에 대해 미리 알려 줌으로써 건축가가 사전에 대처할 수 있도록 도울 수 있도록 하는 시스템을 고안해냈다. “소셜 가상현실”은 Perkins+Will에서 개발한 툴로 멀티플레이 게임 기술을 도입하여 전형적인 건축 가상현실이 한 사람이 경험하는 것에 비해 현실에서와 같이 여러 사용자가 함께 공간을 경험하고 의사소통 할 수 있도록 하였고, 이 외에도 Perkins+Will에서는 “혼합현실”과 “증강현실”을 활용하여 건축가의 설계 검토 및 협업을 지원하고 사용자의 몰입 경험을 제공하는 앱을 만들어 사용하고 있다. “생성적 디자인”은 머신러닝 알고리즘을 사용하여 건축가가 정의한 디자인 목표, 매개 변수 및 제약 조건들에 따라 여러 디자인 대안을 만들어내는 것으로, Perkins+Will은 2016년 오토데스크와 함께 오토데스크 토론토 사무실의 평면 계획에 관한 실험을 진행한 바 있다.



[그림 3-2] Perkins+Will의 소셜 VR 활용

(출처 <https://www.autodesk.com/redshift/technology-architecture/>)



[그림 3-3] Perkins+Will의 MR 활용

(출처 <https://www.autodesk.com/redshift/technology-architecture/>)

- Dassault System(2017.6.29.), “AEC Industry Trends: Driving Toward Connection, Digitization, Transformation”⁹⁾

CATIA 등 CAD 소프트웨어와 3D 솔루션을 제공하는 다국적기업인 다쏘시스템에서는 AEC 산업 전반에 걸친 변화를 가속화하는 트렌드로 “제조 및 조립을 위한 디자인, 사전 제작과 모듈러 건축”, “데이터 주도 의사 결정(data-driven decision-making)”, “BIM 확장”, “증강 및 가상 현실의 성장”을 들고 있다.

9) Dassault System(2017.6.29.), “AEC Industry Trends: Driving Toward Connection, Digitization, Transformation” (<https://blogs.3ds.com/perspectives/aec-trends-connect-digitize-transform/>, 검색일 2018.10.22.)

- Microdesk(2018), “The Top 3 Technologies That Will Impact AEC in 2018”¹⁰⁾

건축, 엔지니어링 및 건설 산업에서의 기술 컨설팅을 제공하는 마이크로데스크에서는 AEC 산업의 발전에 중대한 영향을 미칠 기술로 “Connected BIM”, “사물인터넷(IoT)”, “가상현실”을 들고 있다.

“Connected BIM”은 BIM, 클라우드 컴퓨팅 및 “IoT”를 결합한 개념으로 도면을 실시간으로 지속적으로 업데이트하고 관리할 수 있으며 유지관리에 관한 의사결정과 향후 설계 및 프로세스 개선에 도움을 줄 수 있다. “가상현실” 역시 BIM에서 확장된 것으로 가상 환경을 통해 팀 구성원간의 명확한 의사소통을 지원하고 시간을 절약할 수 있게 한다.

- Harvard Design Magazine(2007), “Innovate or Perish: New Technologies and Architecture’s Future”¹¹⁾

2007년 하버드 디자인 매거진의 한 기사에서는 건축의 미래에 영향을 미칠 새로운 기술 요소로 “3D 프린팅”, “파라메트릭 디자인(Parametric Design)”, “BIM”, “사전제작(prefabrication)”, “유비쿼터스 컴퓨팅” 등을 제시하였다.

이 글에서는 “3D 프린팅” 기술의 발전과 비용 하락은 건축가로 하여금 빠르게 프로토타입을 제작할 수 있도록 하며 이는 결국 전면적인 건축물의 인쇄가 가능하게 될 것이고, “파라메트릭 디자인”의 경우 빠른 제작과 자유로운 디자인 실험에 유리하며 하나의 프로젝트의 파라메트릭 디자인이 다른 프로젝트에서도 변형되어 사용될 수 있다는 점에서 향후 건축가들의 디자인 도구가 될 것이라 전망하였다.

10) Microdesk(2018), “The Top 3 Technologies That Will Impact AEC in 2018”
(<https://www.microdesk.com/articles/top-3-technologies-will-impact-aec-2018/>, 검색일 2018.10.22.)

11) David Celanto(2007), “Innovate or Perish: New Technologies and Architecture’s Future”, 「Harvard Design Magazine」, No.26
(<http://www.harvarddesignmagazine.org/issues/26/innovate-or-perish-new-technologies-and-architectures-future>).

2) 건축서비스산업 주요 기술 트렌드

앞서 기존 문헌들을 통해 파악한 기술 요소 및 트렌드의 키워드를 토대로 관련 사례들을 수집·종합하여 건축서비스 단계를 중심으로 5가지의 주요 기술 트렌드 - ‘계획 및 설계 자동화’, ‘커뮤니케이션 도구로서 몰입형 기술의 활용’, ‘디지털 제조 방식으로의 전환’, ‘디지털 트윈을 통한 운영관리’, ‘건축 전 과정의 시스템 통합 도구로서 BIM의 확장’ - 를 도출하였다.

건축 계획 및 설계 단계에서는 데이터 분석, 인공지능 기술 등을 통해 법규 검토 및 디자인 과정을 데이터 기반(data-driven)으로 자동화 또는 자율화하여 이에 소요되는 시간과 노력을 획기적으로 줄이도록 지원하는 소프트웨어가 개발되고 있다.

건축 설계 및 시공 단계에서 효율적인 커뮤니케이션 도구로서 VR·AR 등 몰입형 기술(Immersive technology)은 도면 및 모형을 대체하여 건축주 프리젠테이션, 작업팀 내 설계안 검토 및 시공감리 등에 활용되고 새롭게 개발되고 있다.

시공 단계에서는 3D 프린팅 등 디지털 제조(Digital Fabrication)에 대한 연구 및 실험이 계속되고 있는데 혁신적인 건축 디자인의 구현, 고도화된 맞춤형 생산, 건축 자재 절약을 통한 환경적인 이점, 건축 과정에서의 시간 절약, 자율화 시공으로 인한 정확성 확보 등 여러 측면에서 장점이 있어 건축 산업의 성장 동력으로 될 것으로 기대된다.

디지털 트윈은 전 단계에 관계되고 구현될 수 있으나 특히 운영관리 단계에서 에너지 사용 최적화, 노후 시설물의 유지보수 및 리모델링의 결정 등을 위해 중요하게 사용될 가능성이 많다. BIM은 건축 전 과정에 걸쳐 생성되는 데이터를 수집하고 전달하며 관계자 간의 협업을 촉진하는 통합적인 도구로써 점차 그 개념과 적용범위가 확장되고 있다.

[표 3-2] 건축서비스산업의 주요 기술 트렌드

구분	건축서비스 단계				기술의 지향점
	기획	설계	시공감리	운영관리	
계획 및 설계 자동화	●	●	-	-	설계 생산성 및 효율성 향상
몰입형 기술	○	●	●	○	커뮤니케이션 개선
디지털 제조	-	●	●	-	디자인 부가가치 및 지속가능성 제고
디지털 트윈	-	○	○	●	의사결정 지원 및 운영비용 절감
BIM	-	●	●	●	정보 관리 및 전달

※ ●는 매우 관련 있음, ○ 관련 있음

① 계획 및 설계 자동화(Planning and Design Automation)

□ 개요

제4차 산업혁명이란 용어가 대두되기 이전부터 여러 산업 분야에서는 기계적인 자동화를 넘어 인공지능이 인간의 일과 능력을 상당부분 대체하는 자율화를 시도해 왔다. 건축 설계나 시공 분야는 그동안 자동화, 자율화가 어려운 산업이며, 특히 건축 설계는 컴퓨터나 로봇이 대체할 수 없는 건축가의 창의적인 작업으로 인식되어 왔다. 그러나 일찍이 몇몇 건축가, 과학자, 그리고 기업들은 건축 계획 및 설계 분야에서 이를 실현하기 위해 연구와 실험을 지속하고 있다.

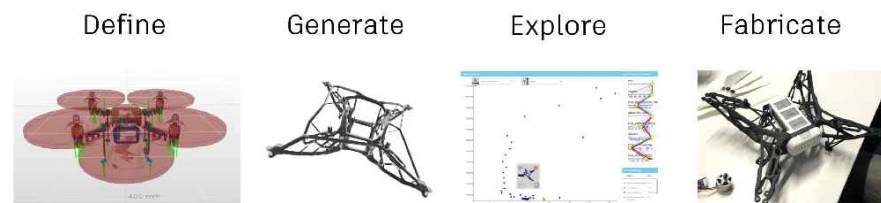
컴퓨터와 컴퓨터 지원 설계(CAD, Computer-aided Design) 소프트웨어는 1980년대 개인용 컴퓨터가 등장한 이래로 건축 실무에 지대한 영향을 미쳐왔다. 초기 연구자들은 컴퓨터와 인간 건축가간의 폭넓은 소통을 구상했지만 건축가들은 대부분 전통적인 작업에 의한 도면을 컴퓨터로 옮기는 것이나 렌더링 도구로 사용하는 데 그쳤다. 그러나 지난 10년간 파라메트릭(Parametric) 디자인 소프트웨어가 등장하고 발전하면서 건축가의 설계 프로세스를 근본적으로 변화시키기 시작했다. 파라메트릭 툴을 사용하여 건축가는 설계에 필요한 구체적인 변수를 설정하고 이를 조정함으로써 다양한 설계안을 용이하게 변형하고 탐색할 수 있으며, 제대로 구조화된 변수 모델(Parametric Model)은 향후 변화에 대해 더 쉽게 적응할 수 있어 서로 다른 프로젝트에 대해 변경된 상황에 맞게 변수를 조정하여 사용할 수 있는 장점이 있다. 이러한 접근방식의 중요한 점은 전통적인 설계방식에서보다 더욱 심층적이고 역동적인 방식의 설계안을 도출할 수 있다는 것이다. 전통적인 접근 방식에서 건축가는 설계안을 작성하기 위해 설계 문제에 대한 여러 제약 조건과 목표를 내면화하고 이를 그동안 쌓은 경험과 기술을 통해 단일한 또는 소수의 설계안을 제시한다. 반면 파라메트릭 접근 방식에서는 설계 문제에 대한 제약 조건과 목표가 파라메트릭 모델에 탑재되어 다양한 설계안이 자동적으로 생성될 수 있다. “이제 건축가는 하나의 해결책을 설계하는 대신 다차원적인 ‘공간’을 디자인하는 것으로 생각할 수 있다. 이러한 공간 디자인의 각각의 차원은 파라메트릭 모델에 의해 표출된 중요 변수들 중 하나를 나타내며, 개별적인 디자인 변형은 이러한 초차원적 공간 내 어딘가에서 찾아볼 수 있다”.¹²⁾

12) 이 문단은 Danil Nagy et al.(2017), “Project Discover : An Application of Generative Design for Architectural Space Planning”, autodeskresearch을 토대로 작성하였으며 이 글의 내용 중 그대로 번역한 부분은 따옴표(“)로 표기함.

파라메트릭 접근 방식에서 발전한 생성적 디자인(generative design) 접근 방식은 여전히 건축가의 능력이 지배하는 영역에 있는 설계 대안의 검토(평가)를 컴퓨터를 통해 자동화 한다. 생성적 디자인은 생성적인 자연의 진화적인 접근 방식을 모방하는 것으로 설계자 또는 엔지니어는 재료, 제조 방법 및 비용 제약과 같은 매개 변수와 함께 생성적 설계 소프트웨어에 설계 목표를 입력한다. 토폴로지 최적화(topology optimization)와 달리 이 소프트웨어는 솔루션의 모든 가능한 순열(permutation)을 탐색하여 신속하게 설계 대안을 생성할 수 있으며 각 반복 작업을 통해 무엇이 작동하고 작동하지 않는지를 테스트하고 학습한다.¹³⁾

생성적 설계 방식은 아직 초기단계에 있으나 전 산업 부문에서 인공지능 기술의 도입과 개발이 가속화됨에 따라 이를 지원하는 소프트웨어도 빠르게 진화할 수 있다. 디자인 소프트웨어에 관한 거대 기업인 오토데스크(autodesk)는 특정한 목표를 충족시키는 수천 개의 디자인 대안을 생성할 수 있는 차세대 CAD 프로그램인 드림캐처(dreamcatcher)를 개발하여 세간의 이목을 집중시켰다.

디자이너가 드림캐처 시스템을 사용하여 기능 요구 사항, 재료 유형, 제조 방법, 성능 기준 및 비용 제한 등이 포함된 특정한 디자인 목표를 입력하면, 시스템은 디자인 목표를 만족시키기 위해 생성된 방대한 양의 솔루션을 평가하여 각각의 솔루션의 성능 데이터와 함께 사용자에게 제공한다. 디자이너는 생성된 솔루션을 실시간으로 평가할 수 있으며 언제든지 문제 정의 단계로 돌아가 목표와 제약 조건을 조정하여 새로운 결과물을 얻을 수 있다. 디자인 공간을 탐구한 후에 디자이너는 디자인을 제조 도구로 출력하거나 다른 소프트웨어 도구에서 사용하기 위해 내보낼 수 있다.¹⁴⁾

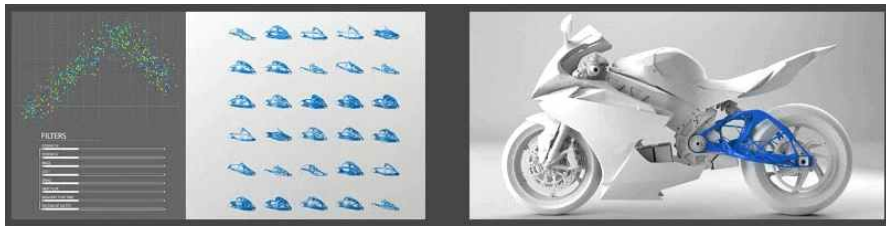


[그림 3-4] 오토데스크 드림캐처 작업흐름

(출처: <https://autodeskresearch.com/projects/dreamcatcher>, 검색일 2018.9.10)

13) 오토데스크 “what is generative design” 내용을 토대로 작성
(출처: <https://www.autodesk.com/solutions/generative-design>, 검색일 2018.9.10)).

14) 오토데스크 “The Dreamcatcher workflow” 내용 번역
(출처: <https://autodeskresearch.com/projects/dreamcatcher>, 검색일 2018.9.10))



[그림 3-5] 생성적 디자인과 적용 예시

(출처: <https://www.autodesk.com/solutions/generative-design>)

이러한 생성적 디자인 접근 방식은 인공지능, 빅데이터 기술을 토대로 제조 뿐 아니라 음악, 미술 등 예술 분야에서도 시도되고 있다. 이와 같은 방식은 건축 분야에서도 아직 초기단계이기는 하나 건축가나 엔지니어에게 의존하는 방식에서 벗어나 건축 계획 및 설계에 관한 정보와 지식을 체계화하는 시도가 진행되고 있어 향후 건축 설계 접근방식에 영향을 미칠 것으로 예상된다.

□ 적용 범위 및 활용 사례

• 건축 법규 및 사업타당성 검토

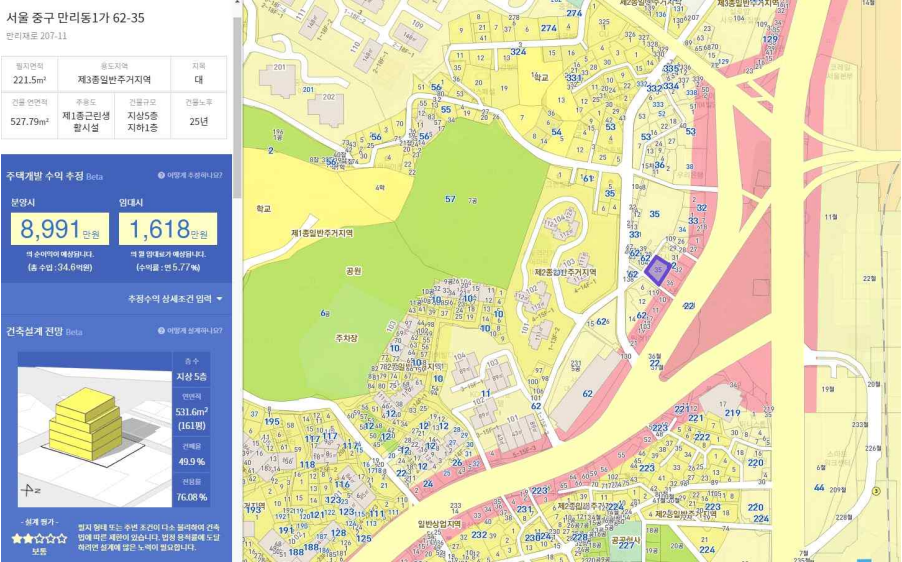
건축 관련 법규는 건축물이 입지한 지역에 따라 다르고 여러 가지 기준이 동시에 적용되어 건축주나 건축가에게 혼란은 주기 십상이다. 특히 건축물에 대한 법규 검토는 건축가의 전문 지식의 범위 내에 있으며 건축주에게 제공할 수 있는 주요한 건축서비스 중 하나이다. 그러나 건축가로서도 지역에 따라 다르고 개정되는 건축 법규를 빠르게 파악하는 데는 시간이 걸리며, 건축물의 규모나 요구성능이 많을수록 설계안이 법규에 적합한지 검토하는 데 어려움이 있다. 또한 건축주로서는 사업타당성을 검토하기 위해 해당 대지에 적용되는 용도나 용적률과 같은 법규를 직접 파악하는 데 어렵, 건축가 등에게 이를 맡길 때에는 일정 비용을 지불해야 하거나 검토 시간이 많이 걸리는 등 번거로움이 있다. 이에 따라 이를 기술로써 자동화하려는 시도가 일어나고 있다.

미국의 Upcodes는 복잡한 건축 법규를 프로젝트 단위로 검토할 수 있는 서비스를 제공하며 현재 베타 버전이기는 하나 BIM 모델과 연동하여 설계안에 대한 법규 오류를 검토할 수 있는 서비스를 시작하였다. 우리나라에서도 빅데이터 및 인공지능 기반으로 건축 법규 및 부동산 빅데이터를 분석하여 주택 개발에 한해 개략적인 건축물 형상 및 예상 수익 정보를 제공하는 Landbook이 개발되어 서비스를 시작하였다. 또한 세계적인 건축 설계사무소인 SHoP는 MIT의 시민 데이터 디자인 연구소를 운영하는 사라 윌리엄스와 함께 데이터 기반(Data-driven)의 도시계획 및 건축 법규 검토 프로그램인 Envelope를

개발하여 건축 계획 프로세스의 변화를 예고하고 있다. 이 프로그램은 zoning 데이터를 기반으로 건물 용도에 따라 셋백(setback), 바닥면적, 공중권, 용도복합 등을 분석하여 건물 매스를 형상화한다.



[그림 3-6] SHoP Envelope 시연 화면
(출처: <https://archpaper.com/2017/05/envelope-startup-zoning/>)

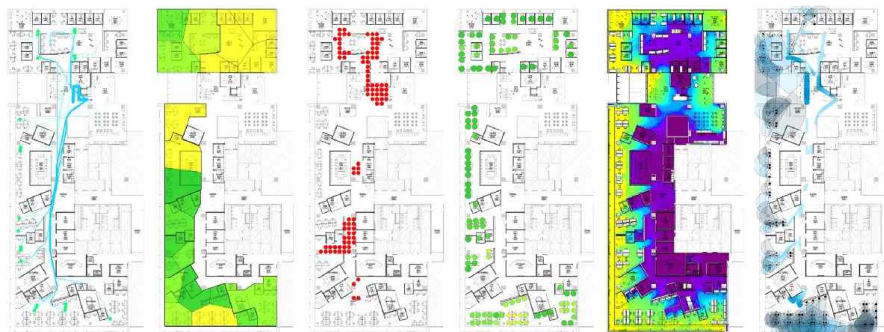


[그림 3-7] 랜드북 서비스 화면(캡처)
(출처: 랜드북 홈페이지, <https://www.landbook.net/>)

- 최적화된 설계안 도출

파라메트릭 디자인 및 생성적 디자인은 작제는 단위 부품에서부터 건물의 구조, 구체적인 건물 시스템 전체를 지식화하여 설계자동화에 활용할 수 있다. 구조, 에너지 시뮬레이션 및 물량을 실시간으로 확인하며 설계안을 발전시키는 데이터에 근거한 워크플로우의 구축이 가능하다. 이를 통해 건축가는 다른 대지, 다른 조건의 프로젝트에 각각의 요구조건을 만족하는 설계안을 생성하는 설계자동화가 가능해진다. 예를 들어 건물의 공간 프로그래밍 과정에서 기본적인 조건(위치, 용도, 용적률 등)이 주어지고 달성하고자 하는 성능(조도, 동선, 가시성 등) 값을 설정하면 파라메트릭 디자인 및 생성적 디자인 알고리즘에 의해서 요구조건을 만족하는 다양한 대안을 생성할 수 있다. 파라메트릭 디자인 기술을 활용한 위상 최적화는 구조 최적화 기법의 하나로, 주어진 공간 내에서 재료의 형상을 최적화한다. 위상 최적화는 형상 최적화 및 크기 최적화와 달리 사전에 규정된 형상이 없는 상태에서 최소한의 제약조건을 이용해 구조부의 최적 위상을 찾는 것이 가능하다. 의류, 항공, 자동차 산업 등 다양한 분야에서 연구와 실험이 이루어지고 있다. 건축 구조 설계에서도 이를 적용하고 있으며 대공간 구조물 설계에 있어 초기 형상을 결정하기 위해 위상 최적화를 활용하고 상세 설계 단계에서는 부재의 크기 및 형상 최적화 기법을 활용할 수 있다. 위상 최적화 결과물은 특유의 구조적 형태를 제공하기에 몇몇 건축가는 이를 구성적(constitutive) 디자인에 적용하고 있다.

오토데스크는 자사의 토론토 사옥을 배치하는 데 사용자의 행태 분석 결과를 토대로 여러 목표에 따른 최적의 배치안을 생성하는 실험을 진행한 바 있으며, 아일랜드 기업인 Fenestra는 건축물 파사드 디자인을 최적화하는 클라우드 기반 소프트웨어를 개발하여 건설회사에게 대형 건축물의 파사드 재료 및 성능을 최적화하는 솔루션을 제공하고 있다.

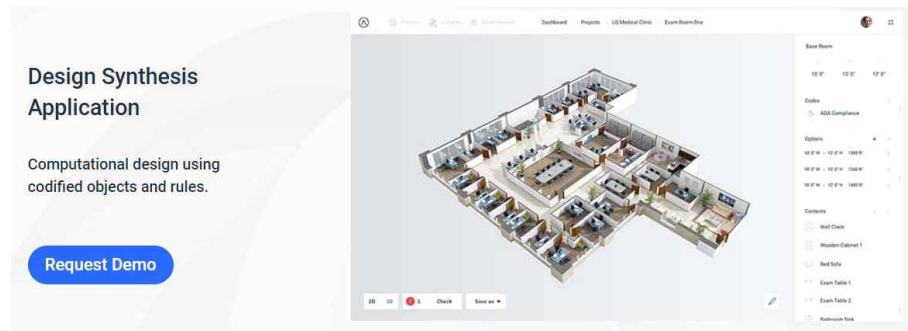


[그림 3-8] 오토데스크 사옥을 대상으로 한 다양한 배치안 생성
주: 왼쪽부터 근접성 선호, 작업 스타일 선호, 소음, 생산성, 채광, 외부 조망 중심 순
(출처: Danil Nagy et al.(2017), Figure 2)

- 설계 자동화

설계 자동화 소프트웨어는 건축가의 지식을 체계화한 알고리즘을 통해 매년 새로운 설계안을 만드는 데 드는 노력과 시간을 획기적으로 줄인다.

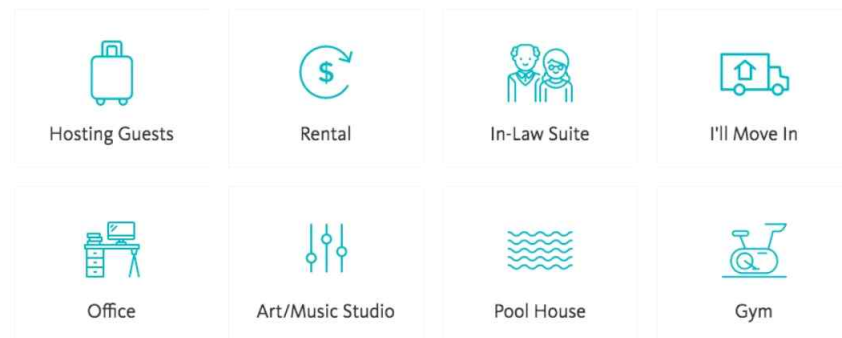
2011년 설립된 Aditazz는 프로젝트의 목표, 범위 제한요소, 건축주의 요구사항 등을 입력(codify)하여 설계안을 자동 생성하는 소프트웨어를 개발하여 실제 여러 건축 프로젝트에 적용하고 있다. 모듈화된 프리패브 주택을 설계 및 시공하는 Cover Technologies는 인공지능 알고리즘을 도입한 독자적인 소프트웨어를 통해 건축 수요자에게 고객이 요구하는 기능 사양, 미적 선호도 등에 관한 설문 결과를 토대로 하여 자동으로 맞춤형 평면도를 작성해 제공함으로써 추가적인 설계비용이 발생하지 않도록 한다.¹⁵⁾



[그림 3-9] Aditazz 설계 소프트웨어

(출처: <https://www.aditazz.com/applications/building-design-automation/>)

How will you primarily use your Cover space?



[그림 3-10] Cover사의 설계를 위한 설문 화면

(출처: <https://www.cover.build/updates>)

15) 이 회사가 제공하는 프로토타입에서 크게 벗어나는 디자인은 어려우며, 현재 캘리포니아 주 일부 지역에 서만 서비스가 가능함.

② 커뮤니케이션 도구로서 몰입형 기술(Immersive Technology)의 활용

□ 개요

몰입형 기술은 물리적 세계와 디지털 또는 시뮬레이션 된 세계의 경계를 모호하게 하여 사용자에게 몰입감 있는 가상의 경험을 제공한다.¹⁶⁾ 몰입형 (경험) 기술은 일반적으로 가상현실, 증강현실, 혼합현실 등의 기술을 통칭한다.

가상현실(VR, Virtual Reality)은 실제 물리적 환경을 대체하는 디지털 환경으로서 컴퓨터로 생성된 3D 환경을 제공하여 사용자를 에워싸고, 헤드마운트 디스플레이와 헤드트래킹(head tracking)을 통해 사용자의 행동에 반응한다. 핸드 트래킹과 촉각에 따른 피드백을 제공하는 장갑도 사용할 수 있다.¹⁷⁾ 증강현실(AR, Augmented Reality)은 실제 물리적 환경에 텍스트, 그래픽, 오디오 및 기타 가상의 기능 향상 정보를 실시간으로 통합하여 사용한다. 증강현실은 이러한 ‘현실 세계’의 요소로 가상현실과 차별화되며, 시뮬레이션과 비교하여 사용자의 실제 세계와의 상호작용에 가치를 통합하고 더한다.¹⁸⁾ 혼합현실(MR, Mixed Reality)에서 가상 콘텐츠는 증강 현실에서처럼 실제 환경에 중첩되지 않고 해당 환경에 고정되어 상호 작용한다. 혼합현실에서는 증강 현실에서와 마찬가지로 가상 객체를 볼 수 있지만 이러한 객체도 실제 세계와 상호 작용할 수 있다. 어떤 의미에서 혼합현실은 보다 몰입감 있고 상호작용하는 유형의 증강 현실이다.¹⁹⁾ 이러한 몰입형 기술은 가트너의 전략 기술 트렌드 중 하나로 매년 언급되고 있으며, 이미 많은 산업에서 널리 활용되고 있다. “가트너 10대 전략 기술 트렌드 2019”에서는 2022년까지 70%의 기업이 소비자 및 기업용으로 몰입형 기술을 실험하고, 25%는 생산에 배치할 것으로 전망하고 있다.

건축서비스산업은 건축물 등 물리적 환경을 대상을 다루며, 건축 과정에서 아직 실체가 없는 계획안을 도면, 모형, 3D 모델링 등 가상의 방식으로 표현한다는 점에서 몰입형 기술의 필요성이 높고, 기존에 3D 모델링 도구를 보편적으로 사용하고 있기 때문에 이와 연계하여 활용할 수 있는 가능성이 많다. 또한 몰입감 있는 사용자 경험을 제공하여 건축가, 시공자, 건축주 간의 의사소통을 효과적으로 지원할 수 있다.

16) 위키백과사전(https://en.wikipedia.org/wiki/Immersive_technology, 검색일 2018.11.5.) 참고

17) 가트너 IT Glossary(<https://blogs.gartner.com/it-glossary/vr-virtual-reality>, 검색일 2018.11.5.) 참고

18) 가트너 IT Glossary(<https://www.gartner.com/it-glossary/augmented-reality-ar>, 검색일 2018.11.5.) 참고

19) Gleb B.(?), “VR vs AR vs MR: Differences and Real-Life Applications” 참고.

(출처: https://rubygarage.org/blog/difference-between-ar-vr-mr#article_title_5, 검색일 2018.11.5.)

□ 적용 범위 및 활용 사례

• 설계안 검토 및 건축주 프리젠테이션

기준에 건축가는 설계안을 검토할 때 도면이나 축소 모형을 통해 건축주와 의사소통하거나 팀 내 협업을 진행한다. 그러나 건축 전문가가 아닌 건축주에게 도면은 건축가가 그리는 공간감이나 공간의 이미지를 온전히 전달하기 어려운 도구이며, 축소 모형은 도면보다 효과적이나 실제 크기와 달라 마찬가지로 의사소통의 한계가 있다. 또한 모형은 제작비용이 비싼 경우가 많고 제작하는 데 시간이 많이 드는 단점이 있다.

VR, AR, MR 등은 CAD, BIM 도구와 연동되는 어플리케이션 및 하드웨어를 통해 빠르게 가상 세계를 모델링할 수 있다. 이는 기존의 도면이나 축소 모형을 대체하여 설계안의 검토 및 조정 과정에서 시간과 비용을 절약하고 팀 내 협업과 건축주와의 소통을 원활하게 함으로써 건축서비스의 효율성과 질을 높일 수 있다.

현재 개발되어 있는 몰입형 기기를 기반으로 건축 설계 및 건설 산업을 대상으로 하는 여러 개의 전용 어플리케이션과 서비스가 개발되어 활용되고 있으며 일부 기업에서는 이를 직접 개발하여 사용하기도 한다.



[그림 3-11] IrisVR이 제공하는 건축용 MR, VR
(출처: <https://irisvr.com>, 검색일 2018.10.29)

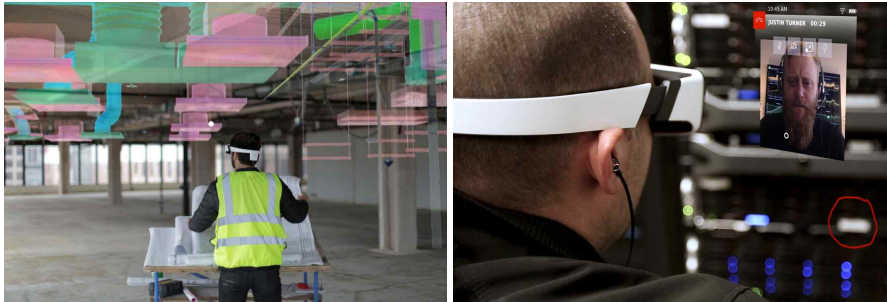


[그림 3-12] 건축설계사무소 Perkins+Will에서 개발한 VR(좌)과 MR(우)
(출처: <https://www.autodesk.com/redshift/technology-architecture>, 검색일 2018.10.29)

- 시공 현장 체크 및 원격 답사, 설비 등의 유지관리

증강현실 기술은 건설 현장의 효율적인 관리를 위해 사용될 수 있다. 건축가 또는 건설 관리자는 시공 전 현장에서 태블릿이나 헤드마운트 기기 등을 통해 시공 후 가상 이미지를 겹쳐 볼 수 있어 현장 상황과 설계안의 정합성을 검토하여 설계 오류를 조기에 확인하여 조정하고, 시공이 제대로 이루어지는 지 효율적으로 점검할 수 있다. 또한 현장 작업자가 3D 카메라를 통해 전송하는 경우 건설 현장에서 멀리 떨어져 있는 건축주나 건축가가 시공 관리를 위해 현장을 방문해야 하는 번거로움을 덜고, 현장 작업자와 원격으로 보다 자주 의사소통할 수 있다.

이러한 기술은 현재 건축물 시공 감리에 본격적으로 적용되고 있지는 않고, BIM 모델과 연동하여 현장 작업자가 기존 계획대로 작업할 수 있게 돕거나 작업자의 안전 교육 등에 활용되거나 같은 맥락으로 건축물 내 설비 등 시설의 유지관리에 활용되고 있다.



[그림 3-13] 증강현실 기업 DAQRI가 개발한 스마트 글래스

(출처: <https://daqri.com/worksense>, 검색일 2018.10.29)



[그림 3-14] 증강현실 기업 DAQRI가 개발한 스마트 헬멧

(출처: <https://www.autodesk.com/redshift/augmented-reality-in-construction>, 검색일 2018.10.29)

③ 디지털 제조(Digital Fabrication in Architecture)으로의 전환

□ 개요

“일반적으로 ‘디지털 제조’는 1952년에 MIT가 밀링머신에 수치 제어 장치를 설치한 데서 비롯된 용어로, 수치 정보를 매개로 기계 운전을 자동 제어하는 과정”을 말한다.²⁰⁾ 디지털 제조를 위해서는 3D 모델링이 과정이 앞서 이루어져야 하며 디지털 제조는 이를 적층(additive) 또는 절삭(subtractive) 제조와 결합하는 생산 과정이라 할 수 있다. 디지털 모델링 및 제조의 목적은 설계자가 설계의 성공 여부를 테스트하는 데 사용할 수 있는 물리적 모델을 만드는 것으로 잠재적인 용도는 제조업에서부터 건축과 패션에 이르기까지 다양한 산업 분야에 걸쳐 있다.²¹⁾

디지털 제조를 위한 기계로는 CNC(Computer Numerical Control) 라우터, 레이저 커터, 그리고 3D 프린터가 대표적이다. 특히 3D 프린팅 기술은 여러 언론에서 4차 산업혁명의 핵심 기술로 소개되고 있으며 이미 의료기기, 항공우주, 자동차, 신발 등의 부품이나 때로는 전체 제품을 생산하는 데 사용되고 있다. 3D 프린팅 기술은 자동화되고 컴퓨터에 의해 통제되는 기계가 물리적인 객체를 층층이 만들어내는 것으로 3D 모델링을 쇠나 가루로 된 고체 또는 액체 물질을 주입하여 바로 출력해낼 수 있다.

건축 프로젝트는 주로 맞춤형 디자인을 요구하는데 3D 프린팅은 이용가능한 자재가 다양하고 디자인의 한계가 거의 없으며 복잡한 모양을 현장에서 또는 현장 밖에서 용통성 있고 저렴하게 제작할 수기 때문에 건축 산업에서 활용할 가치가 높다. 3D 프린팅은 자동화·자율화된 방식으로 현장 작업자에 대한 의존성을 줄이기 때문에 현장 사고를 최소화할 수 있을 뿐만 아니라 건축가나 엔지니어의 입장에서는 자신이 의도한 건축물 디자인 및 구조의 새로운 가능성을 보다 정확하게 실현하기에 용이하기도 하다. 또한 건축에 필요한 부분만을 인쇄하기 때문에 건설 과정에서 불필요한 자원의 사용을 줄이고 폐기물이 거의 발생하지 않는다는 점에서 환경친화적인 장점도 있다.²²⁾ 이와 같은 여러 장점과 가능성 때문에 건축 산업에서 다양한 3D 프린터 등 건설 로봇²³⁾과 출력 재료들에 대한 연구개발과 적용이 활발히 이루어지고 있는 추세이다.

20) 클라우스 슈밥 외 26인(2016), 「4차 산업혁명의 충격」(中 닐 거쉬펠드의 글, “디지털 제조 혁명, 거의 모든 것을 만드는 방법”), 포린 어페어스 엮음, 김진희 외 옮김, 흐름출판, p.42.

21) <https://searcherp.techtarget.com/definition/digital-modeling-and-fabrication> 내용 번역.

22) BCG(2018), *Will 3D Printing Remodel the Construction Industry* 참고하여 작성.

23) 3D 프린터도 일종을 로봇으로 볼 수 있다.



[그림 3-15] 건설 산업에서 3D 프린터의 적합성
(출처: BCG(2018), Exhibition 1 번역)

	3D 프린팅 vs. 전통적 방식	
비용	노동	3D 디자인이 쉬워지고 현장 인력이 줄어들면서 전체적인 감소
	• 건축가, 디자이너, 엔지니어	새로운 기술과 방식, 가능성에 대한 훈련 필요
	• 설치자	프린터는 자율적으로 작동할 수 있기 때문에 감독은 적게 필요하지만 초기 훈련은 필요
	장비	현재 3D 프린터 가격은 비싸지만, 현장에서 필요한 중장비의 비용은 감소
비용의 요소별 비교	재료	비싼 콘크리트 반죽 및 다른 재료들이 필요하지만 재료 자체가 덜 필요하고, 쓰레기가 적음
	물류	프린터 이동 비용이 소모되나 기타 장비들의 사용이 줄어 비용이 상쇄됨
	실행 계획	24시간 운영 가능한 프린터; 이송과 조정에 문제가 생겨 발생하는 지연 비용 등이 감소
	환경에 미치는 영향	폐기물 배출량이 줄고, 재료의 사용 자체가 감소
	프로젝트 위험	종단과 같은 기술적인 위험은 있으나 인력, 운송, 조정 등과 관련된 사고의 감소
	사고와 위험 요소들	사람의 관여가 적은 자율 건설 방식으로 인해 적은 수의 사고 발생
	품질 문제	3D 프린팅 된 건축의 정확성 증가 및 기술 발전에 따른 외관 향상
현저히 낮음 낮음 동일 약간 높음		

[그림 3-16] 건설 산업에서 3D 프린팅의 이점

주: 전문가 인터뷰, 3D 프린팅 기술이 성숙했고 건축 법규나 규제에 포함이 되었다고 가정했을 때의 비교; 따라서 허가 비용이나 실험 비용은 포함되지 않음
(출처: BCG(2018), Exhibition 3 번역)

그러나 3D 프린팅이 디지털 제조의 가능성을 모두 설명하는 것은 아니다. MIT 비트와 원자 센터장(Centre for Bits and Atoms)인 닐 거쉬펠드(Neil Gershenfeld)는 3D 프린팅을 50년대에 등장한 전자레인지로 비유하며 ‘전자레인지가 유용하기는 하나 부엌의 나머지를 모두 대체할 수는 없다’라고 하고, 진정한 제조 혁명은 훨씬 근본적인 것이며

“엄밀히 말해 ‘디지털 제조’란 재료 자체가 디지털인 제조 과정을 일컫는 말이다.”²⁴⁾라고 표현하였다. 그는 레고를 조립하는 아이와 3D 프린터의 성능을 비교하면서 3D 프린팅 과정이 오류를 축적하는 반면에 아이가 레고를 조립하는 것은 아이들의 운동 기술이 허용하는 것보다 더 정확하고, 이는 레고 조각들이 서로 잘 맞닿게 디자인되었기 때문이라고 설명하였다. 또한 3D 프린팅은 여전히 재료 자체는 여전히 (디지털 파일을 그리는) 아날로그적인 과정인데 비해 레고는 재료의 디지털화를 나타낸다고 말하였다.²⁵⁾

이와 같이 건축서비스 및 건설 산업에서 디지털 제조의 가능성은 건물을 통째로 인쇄할 수 있다는 3D 프린팅 기술에 대한 막연한 기대보다 더 넓은 의미와 가능성을 가진 것이라 할 수 있다. 건축서비스산업의 측면에서 볼 때 디지털 제조는 단지 진보한 건설 방식이기보다는 디지털 기술을 통해 건축 재료, 설계 및 시공 과정이 긴밀하게 통합된 건축 과정으로의 혁신적인 변화로 받아들일 수 있을 것이다.

건축 분야에서 디지털 제조 기술의 도입은 고도화된 맞춤형 생산을 가능하게 하고, 건설 과정에서 재료 및 시간의 낭비를 줄일 수 있을 뿐 아니라 혁신적인 건축 디자인을 실현하여 부가가치를 높일 수 있다는 점에서 건축서비스 산업의 성장 동력이 될 가능성이 크다. 스위스 국가과학재단(the Swiss National Science Foundation)은 건축 산업에서 디지털 제조 기술을 미래 산업 발전을 위한 대응과제 중 하나로 인식하고 NCCR(National Centre of Competence in Research)이란 선도적인 연구 지원 프로그램을 통해 취리히 연방공과대학(ETH Zurich)을 기반으로 하는 연구센터(NCCR Digital Fabrication)를 설립해 운영 중이다.²⁶⁾ 또한 그간 디지털 디자인 및 제조에 관한 선도적인 프로젝트를 진행해온 바 있는 독일 슈튜트가르트 대학(University of Stuttgart)은 2019년부터 독일연구재단(the German Research Foundation)의 지원을 받아 디지털 제조 등에 관한 연구 클러스터(Cluster of Excellence IntCDC(Integrative Computational Design and Construction for Architecture))를 구축할 예정이다.²⁷⁾ 이외에도 미국, 중국 등 여러 나라의 건축 대학에서도 이에 관한 연구와 실험이 활발하게 이루어지고 있다.

24) 클라우스 슈밥 외 26인(2016), 「4차 산업혁명의 충격」(中 닐 거쉬펠드의 글, “디지털 제조 혁명, 거의 모든 것을 만드는 방법”), 포린 어페어스 엮음, 김진희 외 옮김, 흐름출판, p.42.

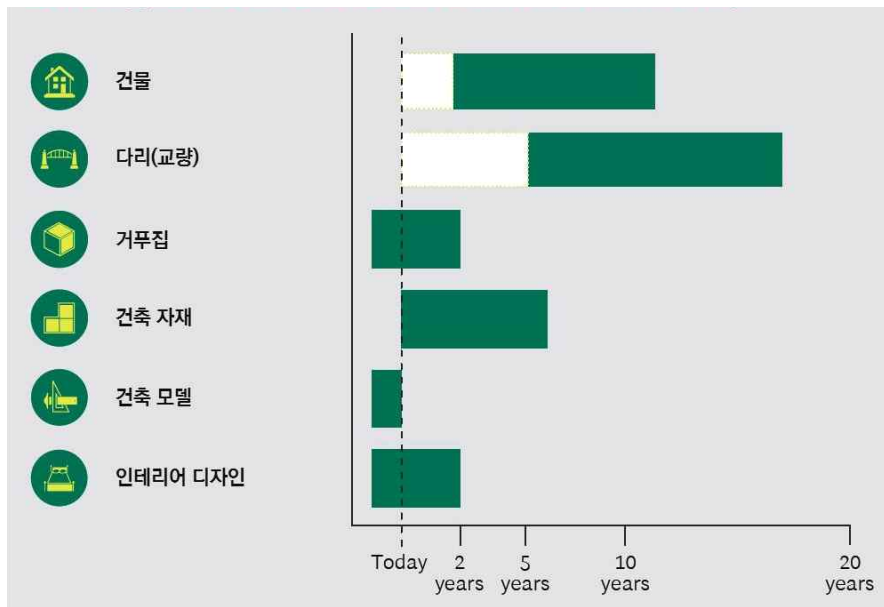
25) 클라우스 슈밥 외 26인(2016), 「4차 산업혁명의 충격」(中 닐 거쉬펠드의 글, “디지털 제조 혁명, 거의 모든 것을 만드는 방법”), pp.31~55; Olivia Solon(2013.3.13.), “Digital fabrication is so much more than 3D printing”, WIRED(<https://www.wired.co.uk/article/digital-fabrication>, 검색일 2018.9.10) 내용을 참고하고 작성.

26) 스위스 NCCR dfab 홈페이지(<http://www.dfab.ch/>) 및 본 보고서 부록(국외출장보고서) 참고.

27) 독일 슈튜트가르트 대학 ICD(Institute for Computational Design and Construction) 홈페이지 참고 (출처: <https://icd.uni-stuttgart.de/?p=24111>, 검색일 2018. 9.22)

□ 적용 범위 및 사례

디지털 패브리케이션 기술은 건축 모형, 건축물 구성 요소에서부터 전체에 이르기까지 다양하게 적용되고 있다. 특히 3D 프린팅 기술은 이미 건축 모델 제작에 사용되고 있으며 설계안의 구상 및 시공 전 적합성 검토 등을 위한 프로토타입을 제작에도 사용된다. 또한 자유로운 형태의 벽체나 슬라브를 제작하는 데도 사용되고 있으며, 이미 건축물 전체를 ‘인쇄’하기도 한다. 또한 맞춤형되고 정교한 제조를 장점으로 기존 건축물, 때로는 역사적 건축물의 보수에 적용되기도 한다.



[그림 3-17] 3D 프린팅의 상업적 실행 가능 시기

(출처: BCG(2018), Exhibition 3 번역)



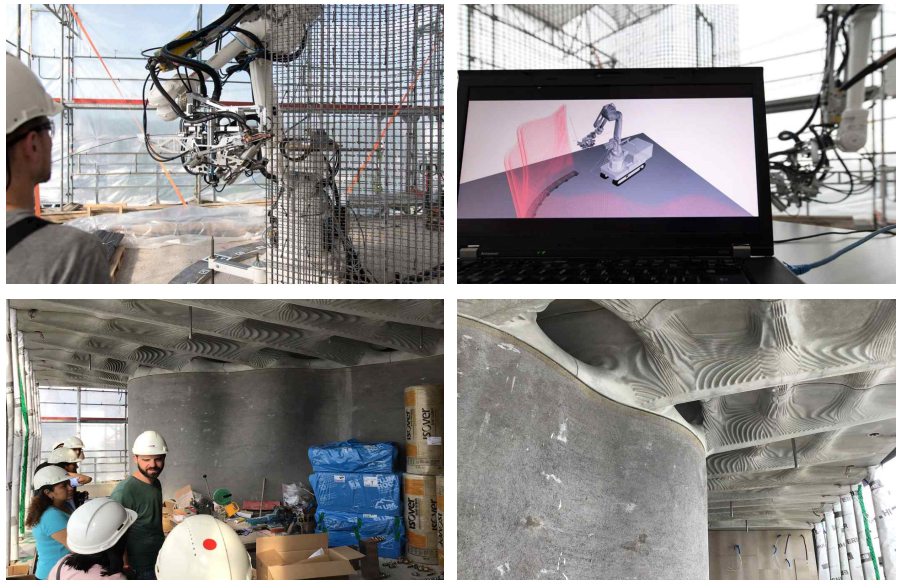
[그림 3-18] ICON사의 3D 프린팅 주택 프로토타입

(출처: <https://www.iconbuild.com/new-story/>)

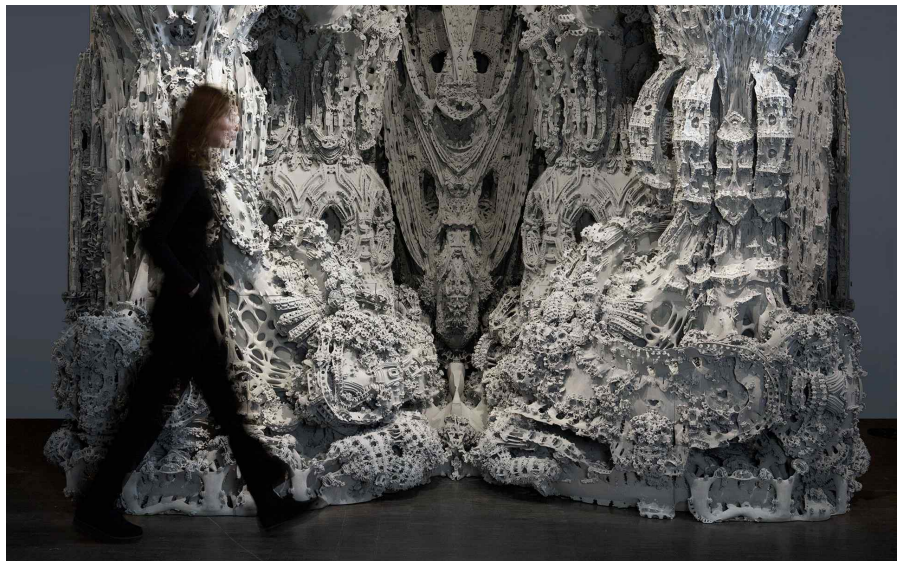


[그림 3-19] 중국 Winsun사의 3D 프린팅 주택

(출처: http://www.winsun3d.com/En/Product/pro_inner_5/id/106)



[그림 3-20] 디지털 패브리케이션 기술을 적용한 벽체(거푸집) 및 상부 슬라브(스위스 NEST)
 (출처: 위의 2개 사진(http://dfabhouse.ch/in_situ_fabricator), 아래 2개 사진(연구자 직접 촬영, 2018.9.13))



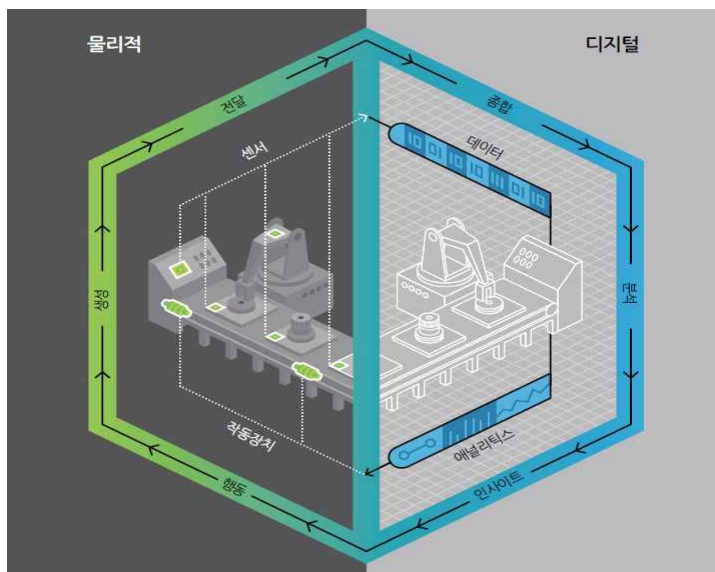
[그림 3-21] Digital Grotesque II(디지털 샌드 프린팅)
 (출처: <http://digital-grotesque.com/images.html>)

④ 디지털 트윈(Digital Twin)을 통한 운영관리

□ 개요

디지털 트윈은 실제 세계의 객체 또는 시스템의 디지털 재현이다.²⁸⁾ 디지털 트윈은 가트너가 선정한 10대 전략 기술 트렌드²⁹⁾ 중 하나로 일반적으로 VR 및 AR 기술이 이를 대표하는 기술로 일컬어지기도 하나 실시간으로 생성되는 방대한 양의 데이터에 의해 움직이는 동적인 가상 모델이라는 점에서 물리적 객체 또는 공간을 단지 가상으로 재현하는 것보다 폭넓은 개념이라 할 수 있다.

디지털 트윈의 중요성은 물리적 세계와 디지털 세계 간의 실시간에 가까운 연결이 가능해지기 때문으로, 양 세계 간 상호작용을 통해 기존 방법으로는 불가능한 근본적인 설계 및 공정 변화가 가능해질 수 있다.³⁰⁾ 디지털 트윈은 IoT를 통해 물리적 세계의 데이터를 실시간으로 수집하고, 수집된 데이터를 통합해 빅데이터 및 기계 학습 기술 등을 통해 분석하여 공정 및 운영을 위한 개선을 실행에 옮길 수 있도록 돕는다.



[그림 3-22] 제조 공정 디지털 트윈 모델

(출처: 딜로이트(2017.2), “인더스트리 4.0과 디지털 트윈”, 그림 1)

28) 가트너 IT-Glossary의 digital twin 번역(“A digital twin is a digital representation of a real-world entity or system”) (출처: <https://www.gartner.com/it-glossary/digital-twin>)

29) 가트너의 10대 전략 기술 2017, 2018, 2019 모두 선정.

30) 딜로이트(2017.2), “인더스트리 4.0과 디지털 트윈” 참고.

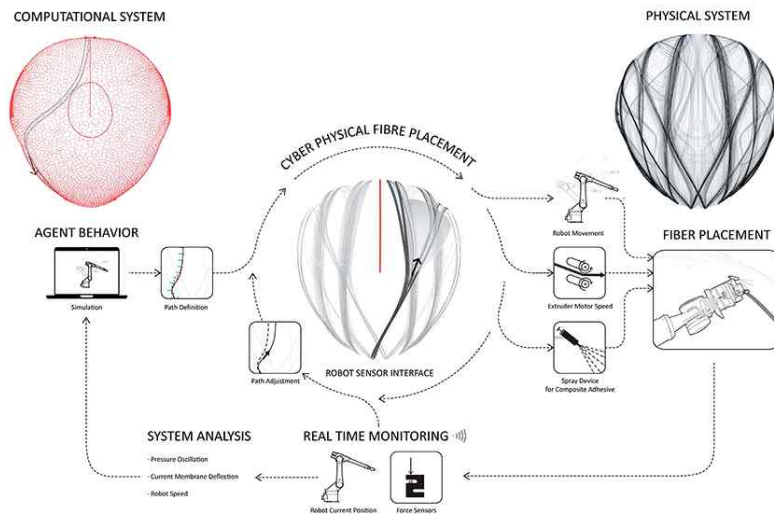
건축에서 디지털 트윈은 BIM, IoT 등의 디지털 기술을 바탕으로 구현될 수 있으며 BIM 이 건축 관련 정보를 종합적으로 구축·관리하는 도구라면, 디지털 트윈은 BIM 데이터 등을 토대로 건축 과정 또는 건축물의 운영관리 시 발생하는 동적 데이터를 수집·분석하여 문제점을 개선하거나 운영을 최적화하기 위한 가상 시스템으로 이해할 수 있다.

디지털 트윈은 건물의 자산관리 측면에서 특히 중요한데 건물의 공조(HVAC) 시스템, 조명기구, 엘리베이터, 공간 점유 형태 등을 모니터링 및 분석함으로써 시설 및 설비의 예방적 유지보수, 전력 및 자원 소비 절감, 상업업무 공간의 효율적 활용 등에 활용됨으로써 건물 소유자나 운영자에게 비용 절감 등의 편익을 제공할 수 있기 때문이다.³¹⁾

□ 적용 범위 및 사례

- 디자인 시뮬레이션 및 시공 과정의 실시간 모니터링

디지털 트윈은 건축 설계, 엔지니어링 및 시공 단계에서 설계안의 디자인, 성능 및 시공 가능성 등을 검토하거나 건설관리를 위한 센서 등 추가적인 디지털 도구를 사용하여 실시간으로 건축 과정을 모니터링하여 최적화하는 데 사용된다. 디지털 디자인 및 제조 기술이 발전함에 따라 디자인의 성능 시뮬레이션, 세밀한 로봇 제어 등의 필요성이 커지면서 디지털 트윈 구축의 필요성도 점차 증대되고 있다.



[그림 3-23] 슈트트가르트 대학 ICD/ITKE 연구 파빌리온에 적용된 디지털 트윈(사이버물리시스템) 개념도
(출처: <https://icd.uni-stuttgart.de/?p=12965>)

31) Wired Brand Lab(2017.11.1.), "Creating a building's 'digital twin', IBMInternet of Things blog 참고하여 작성
(<https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/creating-buildings-digital-twin>, 검색일 2018.8.1.)



[그림 3-24] 슈트트가르트 대학 ICD/ITKE 연구 파빌리온 전경

(출처: (좌)<https://icd.uni-stuttgart.de/?p=12965>, (우) <https://icd.uni-stuttgart.de/?p=11187>)

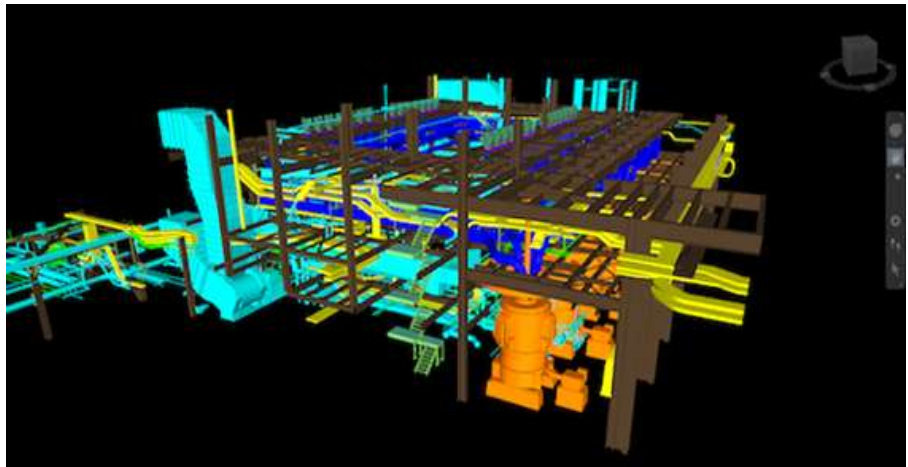
- 건축물의 운영 및 자산의 유지관리

건축 과정에서 설계 도면, 건축자재 사양 등의 각종 정보와 시공 과정의 문서 등은 건축 초기 단계부터 건물 운영 단계에까지 이어져 건축물 구성 요소나 시설물 등의 운영관리에 활용되는 것이 비용 및 시간 절감의 측면에서 바람직하다. 그러나 그렇지 못한 경우에도 이미 완공된 건축물 및 시설물을 디지털 트윈으로 구현할 수 있다.

리얼리티 캡처(Reality Capture)는 디지털 트윈을 실현하기 위한 기술로 실제 세계에서 사물, 건물 또는 사이트를 스캔하고, 그 데이터를 설계 및 시공 워크 플로우에 유용한 모델 및 시각자료로 변화하는 프로세스를 의미한다. 특히, 오늘날 리얼리티 캡처 기술은 설계 및 건설 소프트웨어에서 조작할 수 있는 고해상도의 정밀한 3D 모델을 신속하고 저렴하게 만들 수 있어 건축 및 리노베이션 현장을 측량하고 평가하는 기존의 방법을 대체한다. 리얼리티 캡처를 위해서는 드론과 같은 무인공중이동수단(Unmanned Aerial Vehicles), 사진 측량법, 레이저 스캐닝, BIM 스캔(Scan-to-BIM) 등의 기술을 통해 데이터를 확보해야 한다.³²⁾ 이러한 기술은 오래된 건축물 리모델링 또는 건축물 내 노후 시설물 등의 교체에 활용될 수 있다. 미국 조지아 전력 회사는 한 화력 발전소의 연료 파이프를 대거 철거 및 교체해야 하는 상황에서 3D 스캐닝 및 모델링을 통해 작업자의 위험을 감소시키고 시간과 비용을 절감할 수 있었다.³³⁾

32) Connect&Construct(2018.4.13.), "Reality Capture Technologies Construction Managers need to Know" 참고 (<https://connect.bim360.autodesk.com/reality-capture-for-construction-managers>, 검색일 2018.8.1.)

33) BUILDING DESIGN+CONSTRUCTION(2017.8.28.), "3D scanning solution brought in to beat the heat on challenging fuel pipe demolition and replacement project" (<https://www.bdcnetwork.com/3d-scanning-solution-brought-beat-heat-challenging-fuel-pipe-demolition-and-replacement-project>)



[그림 3-25] 조지아 화력 발전소 연료 파이프의 3D 스캐닝 및 모델링

(출처 <https://www.bdnetwork.com/3d-scanning-solution-brought-beat-heat-challenging-fuel-pipe-demolition-and-replacement-project>)



[그림 3-26] 미주리 발전소 연료 파이프의 3D 스캐닝 및 모델링

(출처 <https://www.bdnetwork.com/advanced-laser-scanning-technology-supports-data-collection-and-modeling-efforts-missouri-iatan-1>)

- 도시 차원의 운영관리

건축물 차원의 디지털 트윈은 도시 차원으로까지 확대될 수 있다. 싱가포르 국립연구재단(National Research Foundation Singapore)이 싱가포르 국토청(Singapore Land Authority, SLA), 정보개발청(Infocomm Development Authority of Singapore, IDA)과 공동으로 추진하고 있는 버추얼 싱가포르 프로젝트(Virtual Singapore Project)는 실제 도시와 동일한 가상 도시를 만들어 도시의 인구, 건물, 교통 및 사람에 대한 각종 정보와 도시에서 일어나는 일들을 실시간으로 추적함으로써 거주자 편의 서비스 제공하는 한편 도시 문제를 파악하고 도시의 미래상을 그릴 수 있도록 도모하고 있다.³⁴⁾

34) 윌리엄 홀스타인(?), “버추얼 싱가포르 주민, 기업, 정부의 경험 향상을 위해 인텔리전트 3D 모델 제작”, COMPASS(다쏘시스템즈 매거진) (https://compassmag.3ds.com/kr/8/Cover-Story/node_2609, 검색일 2018.11.2)



[그림 3-27] 버추얼 싱가포르 프로젝트로 구현한 가상 도시

(출처: http://www.aamgroup.com/_blog/News/post/virtual-singapore-win/ 2018.11.09.)

⑤ 시스템 통합 도구로서 BIM(Building Information Modeling)의 확장

□ 개요

BIM은 1970년대부터 그 개념이 완성되었으나 buildingSMART(IAI)라는 비영리 국제 조직이 1996년 결성되면서 실무 측면에서 적용되기 시작하였으며³⁵⁾, 국내에는 2008년 R&D 과제 “가상건설시스템 개발” 연구를 통해 기술이 도입되었다.³⁶⁾

건물 정보 모델링(BIM, Building Information Modeling)은 미국 국립 건물 정보 모델 표준 프로젝트 위원회(the US National Building Information Model Standard Project Committee)의 정의에 따르면 ‘시설물의 물리적 및 기능적 특성을 디지털 방식으로 표현한 것으로 시설물의 생애주기 동안 의사결정을 하는데 신뢰할 수 있는 기반을 형성하는 정보를 제공하는 공유 지식 자원(a shared knowledge resource)’이다. BIM의 기본 전제는 시설물의 생애주기의 여러 단계에서 서로 다른 이해관계자의 협업이며 이를 통해 BIM에 정보를 삽입, 추출, 업데이트 또는 수정하여 해당 이해관계자의 역할을 지원하고 반영한다.³⁷⁾ 2010년 국토해양부가 발간한 「건축분야 BIM 적용 가이드」에서

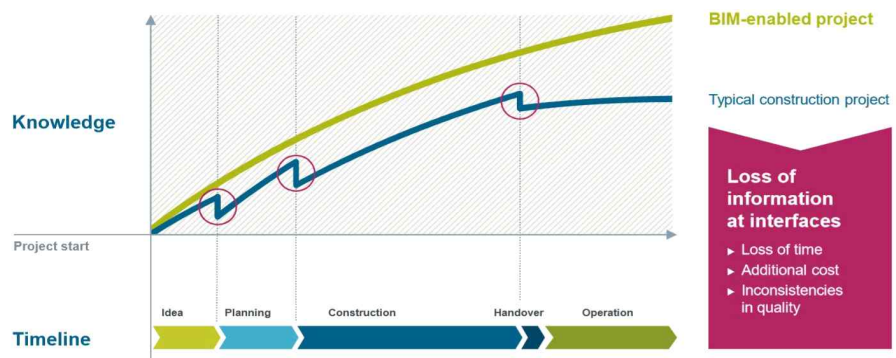
35) 김인한(2010), “BIM의 개념과 역사”, 「건축」 제54권 제1호, 대한건축학회, pp.18~19.

36) 이주성 외(2018), “해외 BIM 트렌드 및 국내 비전 전망”, 한국건축시공학회지, 제18권 제2호, p.18

37) National BIM Standard - United States 홈페이지
(<https://web.archive.org/web/20141016190503/http://www.nationalbimstandard.org/faq.php#faq1>, 검색일 2018.10.20.)

는 BIM 도입의 목적을 ‘시설물의 기획, 설계, 시공, 유지관리의 모든 단계에 필요한 물리적 형상, 속성 및 관련 자료에 관한 정보를 통합적으로 생성, 활용, 축적, 유통, 관리 및 재활용함으로써 업무의 수준과 효율을 증대’하기 위한 것이라 설명하고 있다.³⁸⁾

기존의 건축 설계는 주로 평면, 입면, 단면 등 2차원 도면에 의존하여 건축물의 생애주기에 걸친 여러 이해관계자 간의 의사소통에 한계가 있었다. BIM은 이러한 한계를 갖는 2D 도면에서 벗어나 3차원 공간, 시간, 비용 등 3차원 이상의 정보를 더해 디지털화하여 나타낸다. 이러한 접근 방식은 건축물의 생애주기(설계 - 시공 - 운영 단계)에 걸쳐 정보가 손실되는 것을 방지하고 정보를 효율적으로 통합 관리하며 협업의 효율성을 증진시킴으로써 결과적으로 생산성 향상, 건축 품질 향상, 비용 절감, 프로젝트 기간 단축 등의 긍정적인 효과로 이어질 수 있다.



[그림 3-28] BIM을 통한 지식정보 손실 방지를 나타내는 개념도

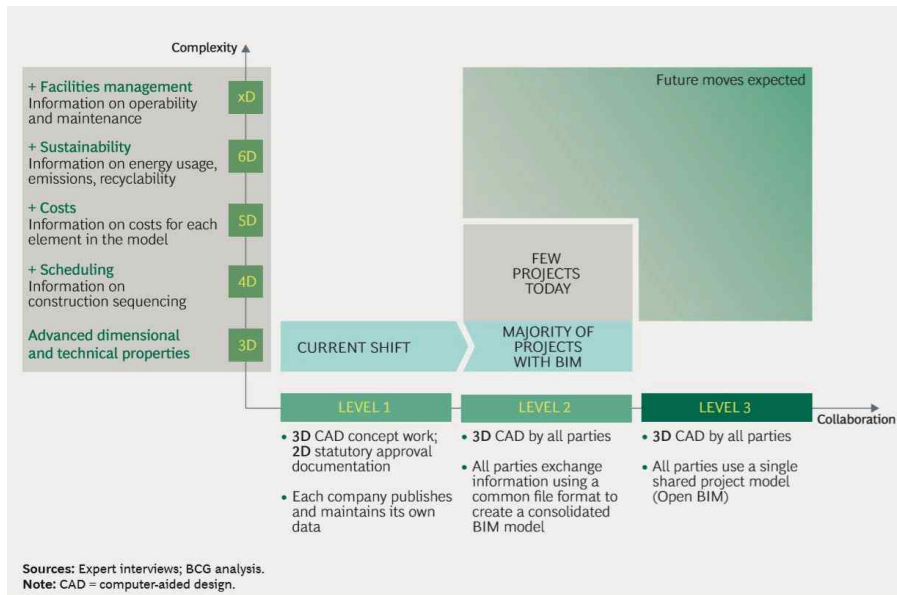
(출처: Siemens Switzerland(2016), “Building information modeling(BIM): The holistic view by Siemens”)



[그림 3-29] BIM 사용에 따른 프로젝트 개선 효과

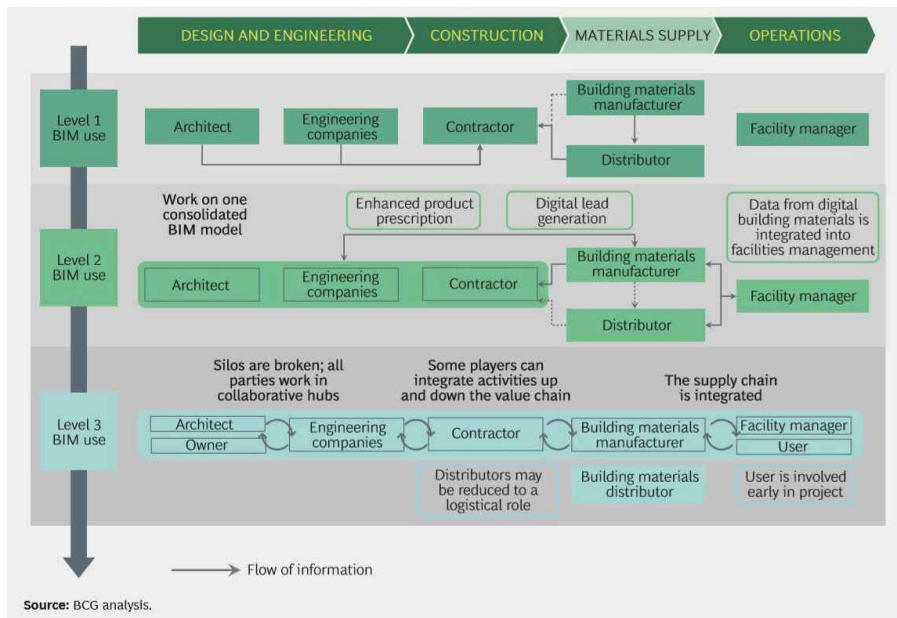
(출처: Siemens Switzerland(2016), “Building information modeling(BIM): The holistic view by Siemens”)

38) 국토해양부(2010), 「건축분야 BIM 적용 가이드」, p.1.



[그림 3-30] BIM 내에서 기업들의 협업 및 정교함의 수준

(출처: BCG(2017.2), *The BIM Revolution Comes to Building Materials*, Exhibit 2)

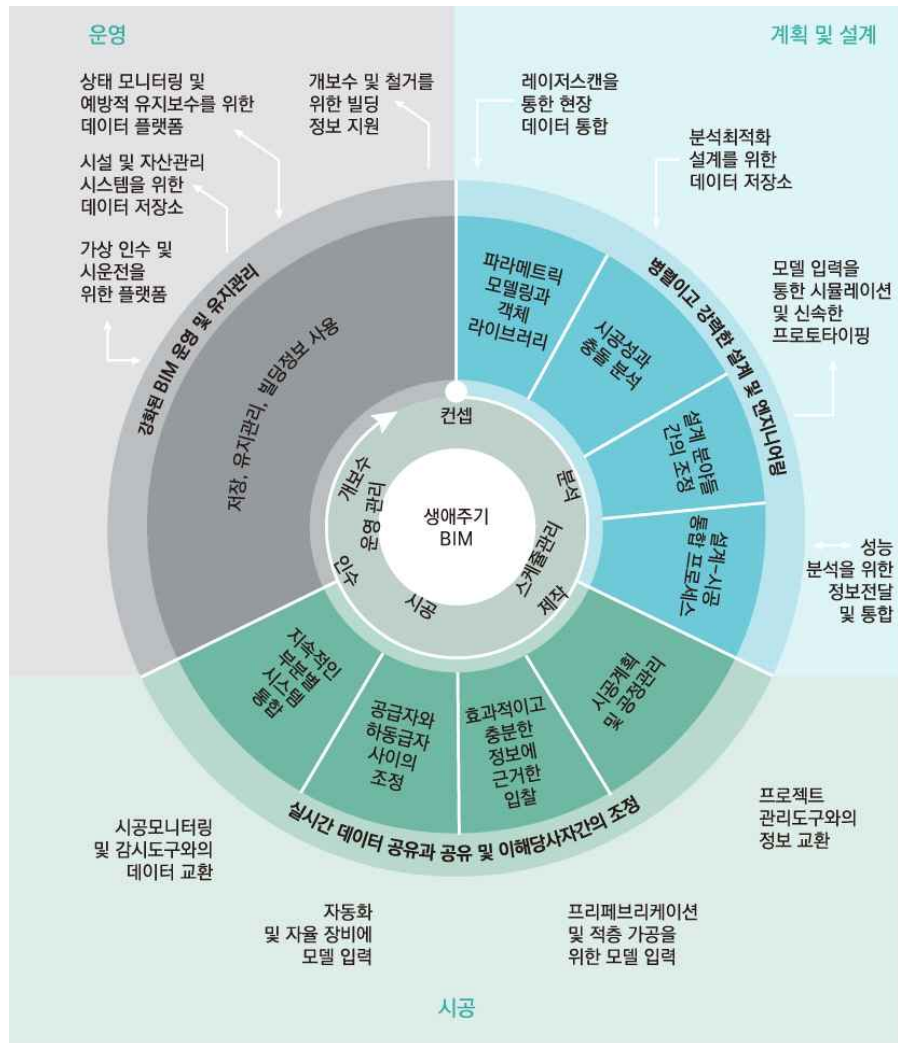


[그림 3-31] 기업의 협업을 증가시키는 BIM

(출처: BCG(2017.2), Exhibit 3)

□ 적용 범위 및 사례

BIM 사용 범위는 프로젝트의 계획 및 설계 단계를 넘어 건축 전 과정에 걸쳐 확장되고 있으며 이를 지원하는 프로세스에는 비용 관리, 시공 관리, 프로젝트 관리, 시설 운영 및 그린 빌딩 어플리케이션 등을 포함될 수 있다.³⁹⁾



[그림 3-32] 건축물 생애주기에 걸친 BIM 적용

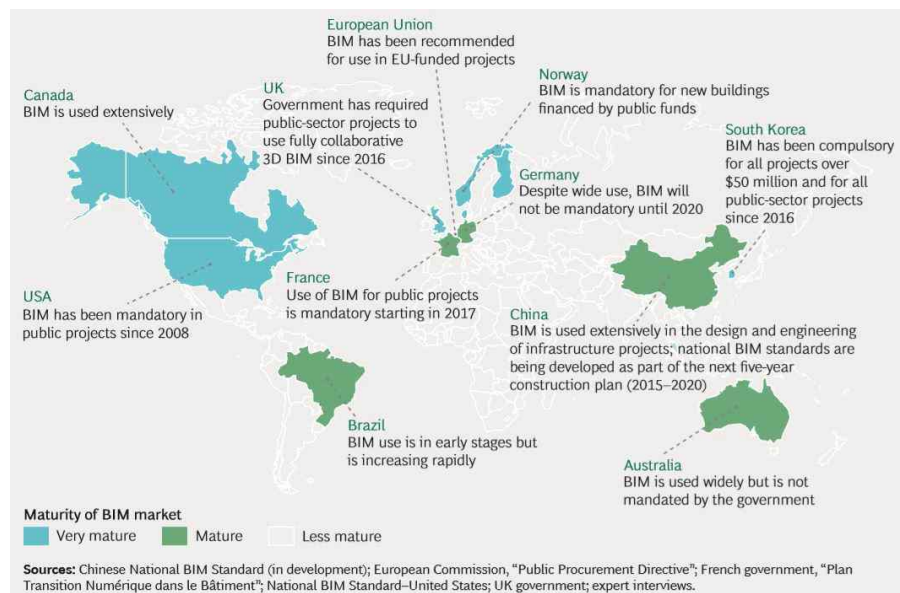
(출처: BCG(2016.3), p.17 그림 번역)

39) 위키피디아 검색(Building information modeling) 결과 참고.

(https://en.wikipedia.org/wiki/Building_information_modeling#cite_note-4DBIM-R-02-21)

계획 및 설계 단계에서 BIM은 도면의 일관성을 보장하며 설계 오류와 시공성을 식별하여 현장에서의 수정사항 발생이나 재작업을 방지하는 데 사용된다. 또한 프로젝트 초기에 수량산출 등 초기시공 수준의 계획을 가능하게 함으로써 디자인-빌드(design-build) 또는 통합 프로젝트 발주방식(integrated project delivery) 등 새롭고 보다 협력적인 형태의 프로젝트 발주방식을 지원한다. 시공 단계에서는 BIM은 각종 업무들에 대한 시뮬레이션을 통해 조달, 인력 등의 자원, 공간적 제약 등에 관한 다양한 시나리오를 검토하여 낭비가 없는 건설(lean construction)이 되도록 지원한다. 운영 단계 중에는 BIM이 아직 널리 사용되지는 않지만, 수많은 잠재적 용도를 갖고 있다. BIM을 통해 기업은 공간, 기술 및 보증 데이터를 비롯한 빌딩 정보를 저장, 유지 관리 및 액세스할 수 있고, 이를 통해 시운전 및 운영 그리고 유지관리(O&M) 작업을 보다 효율적으로 수행할 수 있게 해준다. 이외에도 BIM은 레이저 스캔, 센서, 각종 건설 관련 소프트웨어 등 다른 디지털 도구들과 연동하여 그 효과를 확장할 수 있다.⁴⁰⁾

우리나라를 비롯해 세계 여러 나라에서 공공 발주 건설 사업에 BIM을 의무적으로 도입하는 제도를 마련하고 있으며 이와 같은 추세는 BIM의 커다란 효용성과 건설 산업 전반의 디지털 전환 필요성에 대한 인식이 높아짐에 따라 더욱 확산될 것으로 예상된다.



[그림 3-33] 여러 나라의 BIM 도입 정책
(출처: BCG(2017.2), Exhibit 1)

40) BCG(2016.3), pp.16~17 내용을 토대로 작성.

2. 건축서비스 관련 기술 기업 트렌드

건축서비스산업의 디지털 전환 트렌드를 파악하기 위해 건축서비스와 관련된 기술 기업들을 동향을 조사하였다. 건축서비스 관련 주요 기술 기업들의 목록을 구축하기 위해 기술 업계 뉴스에 관한 정보를 다루는 미국 온라인 매체 테크크런치(Tech Crunch)가 운영하는 데이터베이스 서비스인 크런치베이스⁴¹⁾를 통해 조사하였다. 크런치베이스는 스타트업부터 포춘(fortune)지 선정 기업까지 글로벌 기업의 투자 동향, 뉴스 등 트렌드를 파악할 수 있도록 각종 정보를 제공한다.

관련 기업 목록은 크런치베이스에서 “architecture”, “construction”, “architecture construction” 등의 키워드로 검색하여 건축서비스와 관련된 기업 목록을 추출하고, 해당 기업의 경쟁 기업 목록을 추가한 후 크런치베이스가 제공하는 순위 정보에 따라 상위 35개 기업들의 목록을 정리하였다.⁴²⁾ 크런치베이스 순위는 자체 개발한 알고리즘에 따라 제품 출시, 펀딩, 리더십 변경 및 뉴스 등 실시간 정보를 종합하여 제공되며, 이는 기업의 규모에 따른 것이 아니라 기업의 성장 가능성에 초점을 둔 것이라고 할 수 있다. 크런치베이스 정보는 미국 기업에 편중된 경향이 있으므로 글로벌 트렌드를 파악하기에는 일부 한계가 있으나 미국은 기술 개발과 기술 기업에 대한 투자가 가장 활발하게 일어나는 나라이므로 산업계의 변화 동향을 파악하는 데는 도움이 될 것으로 판단된다.

[표 3-3] 건축서비스 관련 기술기업 목록

CB순위*	업체명	국가(지역)	부문	창립년도	편당금액	연간 수익
223	Katerra	미국 캘리포니아	프리패브 디자인-빌드	2015	1.2B	144.4M
434	PlanGrid	미국 캘리포니아	건설관리 소프트웨어	2011	69.1M	16M
516	Procore Technologies	미국 캘리포니아	건설관리 소프트웨어	2002	229M	46.3M
905	Lennar Corporation	미국 플로리다	주택시공, 부동산	1954	30M	13.3B
1,004	Plant Prefab	미국 캘리포니아	프리패브 디자인-빌드	2015	9.7M	-
2,394	HoloBuilder	미국 캘리포니아	건설관리 소프트웨어	2016	2.9M	1.5M
2,544	HELIX	미국 캘리포니아	설계지원 소프트웨어	2012	44.4M	5M
2,582	Rhumbix	미국 캘리포니아	건설관리 소프트웨어	2014	28.6M	4M
5,440	Blu Homes	미국 캘리포니아	프리패브 디자인-빌드	2008	197.5M	27M
5,574	IrisVR	미국 뉴욕	설계지원 소프트웨어	2014	9.7M	2.7M

41) www.crunchbase.com

CB순위*	업체명	국가(지역)	부문	창립년도	편당금액	연간 수익
6,617	Imerso	노르웨이 오슬로	건설관리 소프트웨어	2014	2.5M	-
7,365	Kasita	미국 텍사스	프리패브 디자인-빌드	2015	11.6M	6M
7,526	Blokable, Inc.	미국 워싱턴	프리패브 디자인-빌드	2016	7.5M	2M
7,653	Architizer	미국 뉴욕	서비스 연결 플랫폼	2009	13.5M	5M
8,689	Connect Homes	미국 캘리포니아	프리패브 디자인-빌드	2011	9M	7.2M
10,110	nearmap.com	미국 유타	건설관리 소프트웨어	2009	15M	-
10,266	WorldViz	미국 캘리포니아	설계지원 소프트웨어	2002	5.8M	8M
10,480	Cover Technologies	미국 캘리포니아	프리패브 디자인-빌드	2014	1.6M	2M
10,821	GenieBelt	덴마크 코펜하겐	건설관리 소프트웨어	2013	3.4M	-
11,601	Newforma	미국 뉴햄프셔	건설관리 소프트웨어	2003	25.1M	32M
12,724	Houzz	미국 캘리포니아	자재 및 제품 플랫폼	2009	613.6M	12M
13,308	UpCodes	미국 캘리포니아	설계지원 소프트웨어	2016	785K	-
13,944	InsiteVR	미국 뉴욕	설계지원 소프트웨어	2014	1.6M	3M
14,720	Branch Technology	미국 테네시	디지털 제조(3D 프린팅)	2014	7.2M	-
15,414	Apis Cor	러시아 모스크바	디지털 제조(3D 프린팅)	2014	6M	-
17,665	Autodesk	미국 캘리포니아	설계지원 소프트웨어	1982	-	2.1B
17,862	Modumate	미국 캘리포니아	설계지원 소프트웨어	2017	1.5M	-
18,297	Gehry Technologies	미국 캘리포니아	설계지원 소프트웨어	2002	14.6M	7.2M
18,703	Uptake Technologies	미국 일리노이	건설관리 소프트웨어	2014	218M	5.5M
18,952	Visual Vocal	미국 워싱턴	설계지원 소프트웨어	2015	6.1M	2M
19,228	Modelo	미국 메사추세츠	설계지원 소프트웨어	2014	3.4M	-
20,199	Aditazz	미국 캘리포니아	설계지원 소프트웨어	2010	5.6M	5M
21,663	CL3VER	스페인 바르셀로나	설계지원 소프트웨어	2011	2.7M € (3.1M \$)	3M
28,207	Ai Build	영국 런던	디지털 제조(3D 프린팅)	2015	75K € (85.7K \$)	-
28,405	Arcbazar	미국 메사추세츠	서비스 연결 플랫폼	2010	743.3K	2.6M

주1: CB(크런치베이스) 순위는 2018.10.23. 기준이며 검색 시점에 따라 유동적으로 변할 수 있음

주2: 금액 단위는 K(천 달러), M(백만 달러), B(십억 달러)

출처: 크런치베이스(www.crunchbase.com)에서 "architecture", "construction", "architecture construction"으로 키워드 검색 결과 중 건축서비스와 관련된 기업 추출

42) 순위는 실시간 정보를 바탕으로 제공되므로 검색 시점에 따라 변경되며, 검색 키워드에 따라 누락되는 기

위의 35개 기업들은 건축서비스와 관련된 활동 영역에 따라 대체로 ‘프리패브 디자인-빌드’, ‘계획 및 설계 지원 소프트웨어’, ‘건설관리 지원 소프트웨어’, ‘3D 프린팅 등 디지털 제조’, ‘건축서비스 연결 플랫폼’ 등 5가지로 구분된다.⁴³⁾

‘프리패브 디자인-빌드’ 기업은 프리패브리케이션 및 모듈러 공법을 기반으로 설계에서부터 시공까지 업무를 일괄적으로 수행한다. 조사한 총 35개 중 7개 기업이 이에 해당하며 ‘계획 및 설계 지원 소프트웨어’ 부문에서는 빅데이터, 인공지능 기술 등을 통해 법규 및 부동산 가치를 검토하거나, 3D 모델링 또는 몰입형 기술(VR, AR, MR)을 지원하는 기업들이 이에 해당한다. ‘건설관리 지원 소프트웨어’ 부문의 기업은 시공 단계에서 건설 관리의 효율성을 높이기 위해 도면, 사진, 현장 기록 등의 기록이나 프로젝트 전체 단계에서 생산되는 각종 정보의 관리 및 협업을 위한 디지털 도구를 지원한다. ‘건축서비스 연결 플랫폼’은 건축가 등에게 설계 및 시공을 위한 자재 및 제품을 쉽게 찾을 수 있게 돕거나, 건축 수요자에게 설계자나 제품을 연결해주는 서비스를 제공하는 플랫폼이다.

위 기술 기업들의 설립연도를 살펴보면 2010년을 전후하여 건축 및 건설 프로젝트에 관한 새로운 솔루션을 제공하는 기업들이 생겨나기 시작한다. 이에 앞서 2000년대 초 건축가 프랭크 게리는 자신의 복잡한 디자인을 실현시키기 위해 3D 디자인 솔루션을 개발하는 Gehry Technologies를 독립회사로 만들었고, 복잡한 건설 프로젝트를 효율적으로 관리하기 위한 솔루션 기업인 Procore Technologies와 Newforma가 설립되었다. 이들은 건축 산업의 디지털 전환의 필요성을 일찌감치 깨달은 기업들이다.

디지털 기술을 토대로 건설관리를 효율적으로 지원하기 위한 소프트웨어 기업들은 꾸준히 새롭게 생겨나고 성장하고 있다. 이는 건설 산업의 규모는 크지만 아직 디지털 전환이 이루어지지 못하였으므로 새로운 기술을 통해 높은 부가가치를 창출할 수 있는 기회가 많기 때문인 것으로 판단된다.

건축가 및 시공자를 위해 각종 건축 자재 및 제품을 연결하거나 건축 수요자와 건축가를 연결해주는 온라인 플랫폼은 2010년을 전후하여 몇몇 생겨났다. 이는 기존의 건축 과정을 획기적으로 변화시키는 것은 아니나 건축서비스의 전달 경로 - 건축 수요자와 건축서비스 제공자 - 를 용이하게 한다는 데 의미가 있다.

업이 있을 수 있으므로 건축서비스 관련 주요 기술기업들에 대한 절대적인 정보나 순위라고 할 수는 없으나 현재 업계 트렌드 파악을 위한 참고자료로서 활용할 가치가 있다.

43) 전통적인 홈빌더(Home Builder)인 Lennar Corporation과 건물 운영관리(Operation and Management)를 지원하는 Uptake technologies는 제외함.

[표 3-4] 건축서비스 관련 기술 기업 설립연도

구분	계획 및 설계 지원 소프트웨어	3D 프린팅 등 디지털 제조	건설관리 지원 소프트웨어	프리패브 디자인-빌드	건축서비스 플랫폼
2000 이전	· Autodesk(1982)	-	-	-	-
2002	· Gehry Tech · WorldViz	-	· Procore Tech	-	-
2003	-	-	· Newforma	-	-
2004-2007	-	-	-	-	-
2008	-	-	-	· Blu Homes	-
2009	-	-	· Nearmap	-	· Architizer · Houzz
2010	· Aditazz	-	-	-	· Arcbazar
2011	· CL3VER	-	· PlanGrid	· Connect Homes	-
2012	· HELIX (Flux data)	-	-	-	-
2013	-	-	· GenieBelt	-	-
2014	· Modelo · IrisVR · InsiteVR	· Branch Tech · Apis Cor	· Rhumbix · Imerso · Uptake Tech	· Cover	-
2015	· Visual Vocal	· Ai Build	-	· Katerra · Kasita · Plant Prefab	-
2016	· Upcodes	-	· Holo Builder	· Blockable, Inc	-
2017	· Modumate	-	-	-	-

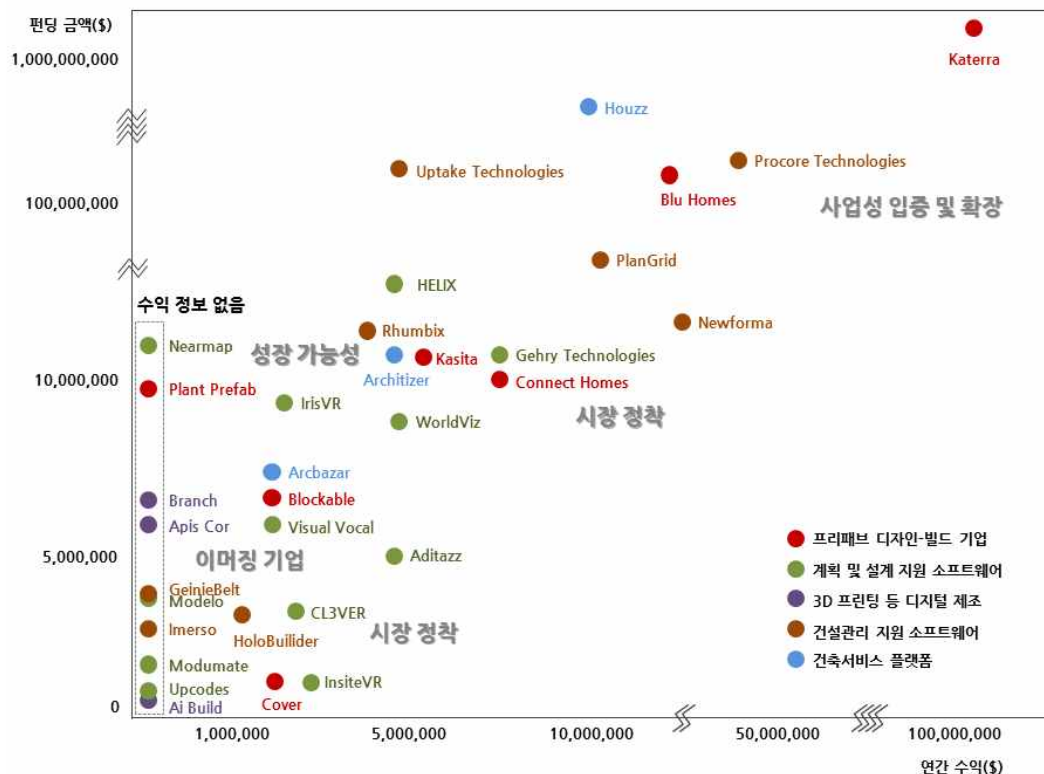
출처: 크런치베이스(www.crunchbase.com) 결과를 토대로 작성

건축 계획 및 설계 지원 소프트웨어 부문에서는 3D 모델링 및 영상기술, VR, AR 등 몰입형 기술 발전에 따라 2010년 이후부터 이를 활용한 솔루션을 제공하는 기업들이 본격적으로 생겨나기 시작하여 건축 설계 단계에서 빠르게 적용되고 있다. 한편 설계 전 계획 단계에서 법규, 설계 및 사업타당성 검토 등을 자동화하는 소프트웨어 기업은 Aditazz, HELIX, Upcodes 등으로 발전 단계로 볼 때 아직 초기에 있어 건축서비스산업에 본격적으로 영향을 미치는 데는 시간이 더 필요할 것으로 보인다. 그러나 향후 본 산업에 근본적인 변화를 이끌 수 있는 부문인 만큼 해당 기업들의 귀추를 주목할 필요가 있다.

2014년부터는 건축 분야에서 이론적으로 가능하다고 믿고 있던 3D 프린팅 기술을 상용화하여 적용하는 기업들이 생겨나고 있다. 미국의 Branch Technologies, 러시아의 Apis Cor, 영국의 Ai Build는 인공지능, 로봇공학, 재료과학, 디지털 기술 등을 융합한

고도의 3D 프린팅 기술을 통해 이전과는 획기적으로 다른 디자인을 실현시키고 있다. 이들 기업들은 단지 건축가에게 3D 프린팅 기술을 제공하는 것이 아니라 설계 초기단계에서부터 건축가와 협업하여 새로운 디자인을 물리적 실체로 구현하는 솔루션을 만들어낸다. 이들 기업들이 아직까지는 3D 프린터로 출력한 실험적인 건축물이나 건물의 일부 부분 또는 야외에 설치되는 파빌리온 등의 한정적인 결과물을 내놓고 있는 것으로 보이나 지속적인 실험을 통해 하루가 다르게 진화하고 있다.

2010년 이후 가장 두드러지는 기업 동향은 공장 제작을 통한 프리페브리케이션 및 모듈러 기술을 적용한 새로운 디자인-빌드 기업들이 나타나 성장하고 있다는 점이다. 프리패브리케이션 및 모듈러 기술 공법이 건축에서 새롭게 나타난 것은 아니지만, 최근 나타난 기업들은 디지털 기술을 통해 보다 정교해진 제조 공법과 생산 공정의 혁신을 이루고 있다. 이들 기업들은 설계와 시공을 일괄적으로 수행하여 건축주에게 보다 빠른 건축서비스를 제공하며, 그간 모듈러 건축물과는 다르게 차별화된 디자인과 성능을 갖춘 주택 및 상업용 건축물을 생산하여 판매한다.



[그림 3-34] 건축서비스 관련 주요 기술 기업의 투자유치 금액 및 연간 수익

(출처: 크런치베이스(www.crunchbase.com) 결과를 토대로 연구자 작성)

앞의 그림과 같이 기업들의 투자유치 금액과 연간 수익을 비교해볼 때 기업들을 대략 4가지 그룹으로 나눌 수 있다. 일반적으로 투자유치 금액은 시장에서의 성장 가능성을, 연간 수익은 시장에 정착한 정도를 나타낸다고 볼 수 있으므로, 이에 따라 엄밀하게 기업의 특성을 구분 지을 수 없다하더라도 건축서비스산업의 변화 경향을 살펴보는 데는 참고가 될 수 있을 것이다.

먼저 투자유치 금액과 연간 수익이 모두 큰 기업들은 시장에서 사업성을 입증했을 뿐 아니라 향후 성장가능성을 가지고 있어 기존 건축 시장의 판도를 바꿀 만한 영향력이 있다. 이의 대표적인 기업은 카테라(Katerra)이다. 카테라는 제조 기술의 장점을 도입하고 건축 설계, 자재 물류, 시공 등 가치사슬을 통합하여 건축 수요자에게 빠르고 고품질의 건축서비스를 제공하는 기업으로 기존의 느리고 복잡한 건설 방식을 최근의 제조업과 같이 바꾸는 데 크게 영향을 미칠 것으로 예상된다. 프로코어 테크놀로지(Procore Technologies), 플랜그리드(PlanGrid), 뉴포르마(Newforma) 등 건설관리의 효율성을 지원하는 솔루션을 개발하는 기업들도 대규모 건설 프로젝트를 중심으로 활동 영역을 넓히고 성장 가능성을 인정받고 있다.

두 번째는 앞의 기업들에 비해 투자유치 금액과 연간 수익은 적지만 성장 가능성과 수익성의 밸런스를 갖추고 있거나 투자유치 금액에 비해 연간 수익이 높아 시장에 어느 정도 정착했다고 볼 수 있는 그룹이다. 카테라와 같이 제조업 형태로 건축물을 디자인하고 건축하는 카시타(Kasita), 커넥트홈즈(Connect Homes), 커버(Cover)와 같은 비즈니스 모델은 미국 시장에서는 어느 정도 정착했다고 볼 수 있다. 비정형 건축물과 같이 시공이 까다로운 건축물 디자인에 대한 검토, 엔지니어링 및 BIM 모델링 등을 지원하는 게리 테크놀로지(Gehry Technologies)도 이에 해당한다. 게리 테크놀로지는 2011년 오토 데스크로부터 1,000만 달러 투자를 받은 바 있고, 2014년에는 여러 산업 분야에서 측위 관련 기술 솔루션과 컨설팅을 제공하는 국제적인 기업인 트림블(Trimble)사에 인수되어 시장에서의 가치를 인정받았다.

세 번째는 연간 수익에 비해 투자유치 금액이 큰 그룹이다. 5가지 카테고리의 기업들이 고루 분포하고 있으나 가장 주목할 만한 기업은 헬릭스(HELIX)이다. 헬릭스의 전신인 Flux Data는 구글의 인큐베이터 프로그램인 구글 X를 통해 분사한 기업으로 특정 대지를 입력하면 새로운 건축물 계획에 관한 요구사항 정보와 설계를 위한 기본 도구를 제공하는 자동화된 인공지능 소프트웨어를 개발한 바 있다.⁴⁴⁾ 2018년 3월 기존 서비스를 폐

44) <https://atlasofthefuture.org/project/flux-google/> 참고

왜하고 새로운 비즈니스 모델을 준비하고 있으나 자세한 사항은 알려져 있지 않다.

마지막으로 연간 수익이 적고 투자유치 금액도 비교적 크지 않은 기업이다. 이 그룹은 시장 자체가 작거나 아직 시장에서의 성공 가능성이 입증되지 않아 당장의 시장에는 영향을 미치지 못한다. 3D 프린팅 기업들이 이 그룹에 해당되는데 3D 프린팅 건축은 사회적으로 관심과 기대가 높으나 단기간에 주류가 되지는 못할 것이며 아직 성장 가능성을 지켜봐야 할 단계로 볼 수 있다.

1) 프리패브 디자인-빌드 기업

□ Kattera⁴⁵⁾

카테라는 건축 산업의 스타트업으로서는 보기 드문 유니콘 기업⁴⁶⁾으로 스스로를 건축 회사라기보다는 기술 기업이라 부른다. 카테라는 기존과는 다른 접근 방식으로 제조업 등 다른 산업에서 테스트되고 있는 시스템을 건축 산업에 도입하여 혁신을 이루고 있다.

카테라는 2015년 자재 공급회사로 시작하여 같은 해 종합건설업으로 영역을 확장하였다. 창업 초기에는 외부 건축가에 의뢰하여 건축물을 디자인하였으나 2016년에 건축가를 직접 고용하여 회사 내에 설계 부문을 만들고, 2018년에는 2개의 건축설계사무소⁴⁷⁾를 인수 합병하여 자체적으로 충분한 설계 능력을 갖추게 되었다.⁴⁸⁾ 또한 2018년 10월에는 상업용 건물과 다세대 주택 건설에 특화된 종합건설회사를 인수합병하여 급속도로 규모를 키우고 있는 중이다.

카테라는 여러 측면에서 기존 건설방식을 바꾸고 있다. 먼저 설계 - 자재 제작 - 물류 - 시공 과정의 분절된 공급 사슬을 통합하고 최적화하여 건축 전 과정에서 불필요한 시간과 비용을 제거함으로써 생산성과 효율성을 높인다. 모든 건축 과정에서 BIM, ERP(Enterprise Resource Planning, 전사적 자원 관리) 등을 활용한 견고한 기술 시스템을 도입하여 이전의 건축 방식에 비해 더 빠르고 효율적으로 프로젝트를 완수할 수 있

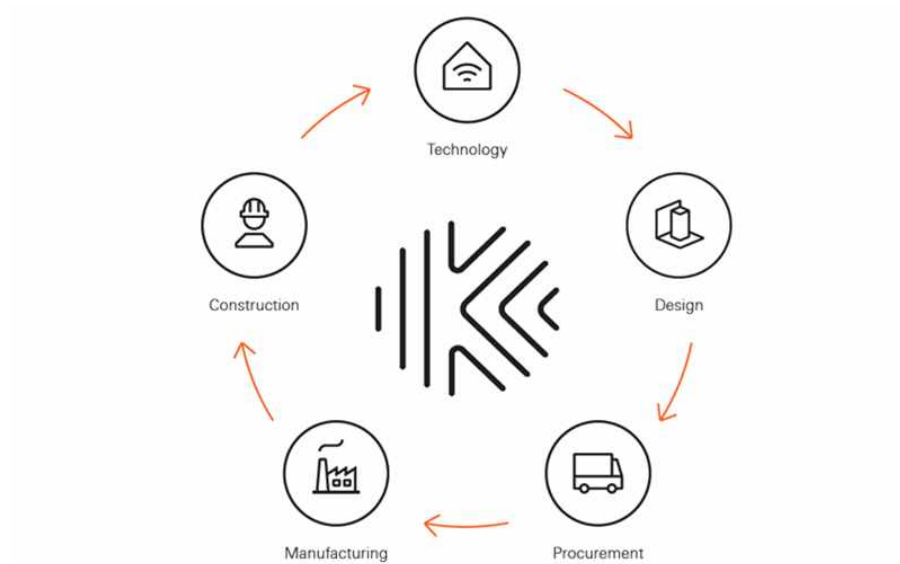
45) 카테라 홈페이지(<https://kattera.com>) 내용을 토대로 작성.

46) 유니콘(Unicon) 기업은 기업 가치가 10억 달러(1조원) 이상인 비상장 스타트업 기업을 말한다(출처: 위키백과, https://ko.wikipedia.org/wiki/유니콘_기업)

47) 밴쿠버 소재의 목조건축설계에 정통한 건축설계회사 "Michael Green Architecture"와 미국 각지에 사무소를 두고 있는 170명 이상 규모의 "Lord Aeck Sargent(LAS)".

48) CITYLAB(2018.6.25.), "Can Silicon Valley Disrupt How We Build?" (<https://www.citylab.com/design/2018/06/can-silicon-valley-disrupt-how-we-build/562334>)

다. 이와 같이 카테라는 건축주의 단일 파트너로서 원스톱의 건축서비스(end-to-end building service)를 제공한다.



[그림 3-35] Kattera의 통합 건축서비스 개념

(출처: <https://kattera.com/en/about-kattera/the-vision.html>, 2018.8.21.)

카테라의 설계 방식은 일반적인 건축 과정과 마찬가지로 고객 요구에 대응하여 맞춤화하는 것을 기본 방침으로 하나, 건축물의 구성 요소들을 효율적으로 제작할 수 있도록 보다 공기를 단축하고 저렴하며 고성능의 솔루션을 제공하는 표준 제품 세트를 설계 및 엔지니어링 하는 데 힘쓴다. 보통의 경우 건축 엔지니어링에서는 반복적인 계산 및 설계 작업을 수행하는 데 상당한 노력이 필요한데 카테라는 이러한 작업 중 상당 부분을 자동화하여 작업흐름을 간소화함으로써 건축의 효율성과 품질을 확보하고 있다.



[그림 3-36] Kattera사의 디자인 사례

(출처: <https://kattera.com>, 검색일 2018.8.21.)

카테라는 선별된 고품질 자재 및 제품의 글로벌 공급 사슬을 구축하고 중개자를 없애 비용을 절감하여 고객의 만족도를 상승시키는 데 주력한다. 이를 위해 건축 자재의 물류 및 제조 과정을 원스톱으로 제공한다. 자재는 Kattera의 첨단 제조 시설에서 설계 및 제작된 자체 제품과 함께 국내 및 세계 최고의 품질의 공급 업체 네트워크를 결합한다. 카테라의 엔드 투 엔드 빌딩 서비스의 일환으로 글로벌 공급 체인의 넓은 범위를 활용하고 여러 프로젝트에서 재료 수요를 종합하여 가격을 낮추어 전례 없는 시간과 비용 절감 효과를 고객에게 직접적으로 제공하고 있다. 또한 다양한 시장과 고객들을 대상으로 고객을 위해 맞춤형 자재, 마감재 및 인테리어 패키지를 개발하여 제공하고 있다.

제작 및 시공 단계에서는 현장 시공에 의존하는 관행에서 벗어나 공장(off-site) 제작을 통해 시간과 비용을 절감하는 한편 제품의 품질과 노동생산성을 높인다. 카테라는 미국 전역에 자체 공장을 여러 개 확보하고 있는데 작업장 내 모든 제품과 구성 요소에 대해 RFID 추적과 같은 기술 시스템을 사용하여 작업의 효율성을 높이고 보다 우수한 품질 관리를 도모하고 있다.



[그림 3-37] Kattera의 자재 공급사슬 최적화
(출처: <https://kattera.com>, 검색일 2018.8.21.)



[그림 3-38] Kattera의 부재 생산 공장(좌)과 부재 운반 모듈(우)
(출처: <https://kattera.com>, 검색일 2018.8.21.)

□ Plant Prefab⁴⁹⁾

플랜트 프리패브(Plant Prefab)는 지속가능하고 친환경적인 단독 및 다세대 조립식 주택을 건설하는 기업으로 'Better Homes'(고품질, 건강, 친환경, 낮은 비용), 'Built Better'(더 빠른, 예측가능한, 우수한 고객 서비스, 우수한 보증)를 캐치프레이즈로 내세우고 있다. 이를 위해 오프사이트(off-site) 생산과 특히 받은 빌딩 시스템을 도입하여 더 적은 비용으로 건설 폐기물이 적고 신속하게 맞춤형 주택을 건설한다. 이와 같은 건축 방식을 토대로 그들의 고객을 주택 구입자, 시행자, 건축가로 설정하고 각각에 요구에 대응하는 서비스와 협력방식을 제공하고 있다.

주택 구입자를 위한 서비스는 고객이 선택한 건축가 또는 자체의 디자인 파트너와 협업하여 맞춤형으로 주택을 설계하고, 친환경 소재로 지속가능한 주택을 건설하는 것이다. 플랜트 프리패브 주택은 현장 기초공사 진행과 동시에 공장에서 조립식 부재를 생산하여 일반적으로 주택 건설에 소요되는 시간을 절반가량으로 줄이고, 하청업체와의 문제 또는 날씨 등의 조건에 구애받지 않고 정해진 날짜 및 비용에 맞춰 주택 건설할 수 있다.

시행자에게는 해당 시행자와 계약된 건축가 또는 자체의 디자인 파트너와 협업이 가능하도록 한다. 플랜트 프리패브가 현장 공사와 함께 모듈러 방식으로 주택을 제작하여 공사시간을 50-70%를 단축하기 때문에 보다 빠르게 판매나 임대 가능한 점과 현장이 아닌 공장에서 제작되어 소음이 발생하지 않고 주변의 불편을 최소화하는 것을 장점으로 홍보하고 있다.



[그림 3-39] Plant Prefab의 공장생산 방식

(출처: <https://www.plantprefab.com/>, 검색일 2018.8.21.)

49) 플랜트 프리패브 홈페이지(<https://www.plantprefab.com/>) 내용을 토대로 작성.

건축가에게는 해당 건축가의 설계 목표에 상응하는 우수한 품질의 맞춤형 주택을 건설할 수 있으며 파트너 건축가로 협업하는 경우 표준 주택 디자인을 함께 개발 가능한 점을 그들의 장점으로 내세우고 있다. 플랜트 프리패브는 디자인 파트너 건축가들과 함께 맞춤형으로 변경이 가능한(customizable) 13개의 표준 주택 디자인을 개발하여 제공하는 한편, 고객이 이들 건축가들과 맞춤형 주택 설계를 진행할 수도 있게 기회를 마련한다.

표준 주택(Standard Homes)의 경우 13개의 디자인이 있으며 홈페이지를 통해 각각의 면적, 평면 구성 및 내·외부 모델링 이미지 뿐 아니라 개략적인 판매 가격과 추가할 수 있는 옵션도 제공된다.





Cladding

Continue →

Ray Kappe - RK1.1

Designed for urban infill, this efficient 4-5-bedroom home feels more spacious than 3100 square feet. With internal views and vistas, and generous outdoor living space, it's your private urban oasis.

What's included in my Standard Home?

Bedrooms	5
Bathrooms	3
Floor Area	3100 sq. ft.
Modules 0	\$884,000.00
Complete Estimate 0	\$1,340,500.00

See Model Photos

Plans



Architect

Ray Kappe, FAIA, is renowned for his residential architecture which has been characterized as 'the apotheosis of the California House.' His designs evince a mastery of warm, modern spaces, clearly expressed construction systems, and environmental sensitivity. "I've always sought out the edges, t..."

Read more →



[그림 3-40] Plant Prefab의 표준 디자인이 적용된 주택 RK1.1

(출처: <https://www.plantprefab.com/models/3>, 이미지 편집, 검색일 2018.8.21.)

□ Kasita⁵⁰⁾

카시타는 소형 모듈러 주택을 생산하는 회사로 라이프스타일의 변화와 복잡한 주택 건설 방식에 대응하는 하나의 해법을 제시한다. 카시타는 거주에 필요한 최소한의 공간을 디자인 한 주거 유닛에 가전기기, 가구 뿐 아니라 조명, 빌트인 스피커, 자동 온도 조절 장치 등 스마트기기를 탑재한 스마트홈을 하나의 완제품으로 제작하여 공급한다. 개별 주거 유닛은 약 30㎡ 정도로 교외 지역, 기존 건물의 뒤뜰이나 옥상과 같이 저이용 공간에 설치하여 독립적인 주거 건물로 사용될 수 있으며, 여러 유닛을 적층한 다층 형태의 건축도 추진하고 있다. 다만 평면 형태는 현재로서는 스튜디오 타입이 유일하다.

카시타는 기존 주택이 건설하는 데 수 개월이 걸리는 데 비해 카시타 주택은 주문 후 생산하는 데 수 주일이면 족하고, 하루 안에 현장 설치가 가능하다고 홍보하고 있다. 또한 일부 지역(텍사스, 캘리포니아, 네바다)에서는 카시타 주택에 대해 해당 주 차원에서 허가를 받아놓아서 준공검사 과정까지 무리 없이 일괄 처리할 수 있다. 이로 인해 건축 수요자는 주택을 기존과는 획기적으로 다르게 손쉽게 건축할 수 있다.⁵¹⁾



[그림 3-41] Kasita가 판매하는 모듈러 주택

(출처: <https://kasita.com/>, 이미지 편집, 검색일 2018.8.21.)

50) 카시타 홈페이지(<https://kasita.com/>) 내용을 토대로 작성.

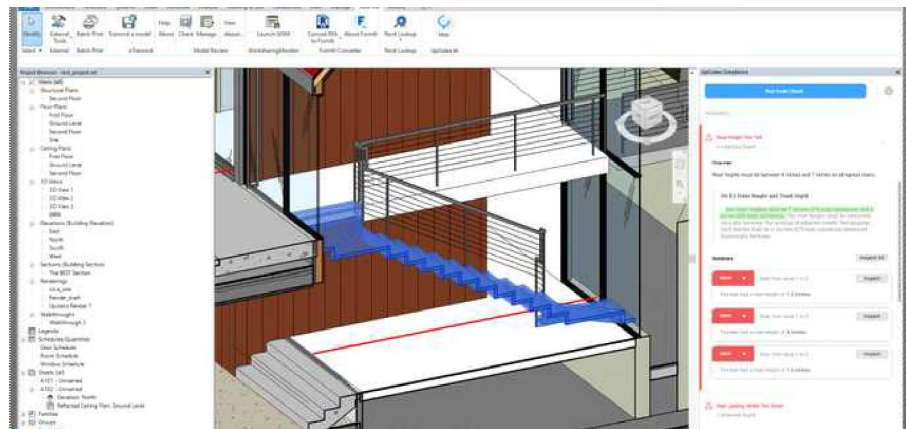
51) 카시타 주택 가격은 15만 달러(약 1억 7천만원) 가량으로 작은 면적에 비해 저렴한 주택이라 하기는 어려우나 주택공급 문제가 심각한 지역에서는 효과적인 방식이 될 수 있음.

2) 계획 및 설계 지원 소프트웨어 기업

□ UpCodes⁵²⁾

업코드는 전직 건축가들이 창업한 기업으로 건축 법규 검색 및 검토를 위한 도구를 제공하여 건축가, 엔지니어, 프로젝트 관리자 등이 건축 계획 및 설계 단계에서 법규 검토에 쓰는 시간을 줄이고 법적인 요구사항을 명확히 알 수 있도록 지원한다. 현재 미국 내 26개 주에 대한 자료를 제공하고 있다.

업코드는 Upcodes Web과 Upcodes AI 두가지 서비스가 있다. 먼저 Upcodes Web은 웹사이트 및 모바일 응용 프로그램을 통해 특정 프로젝트에 대한 법규를 라이브러리로 구축하고, 이를 건축가, 엔지니어 등 관계자들 간 공유하여 함께 검토할 수 있도록 한다. 이 서비스는 월간 또는 연간 사용료를 내게 되는데 2015년에 서비스를 개시한 시작한 이후 현재 10만명 이상의 월간 사용자를 보유하고 있다.⁵³⁾ Upcodes AI는 베타 버전으로 인공지능 기술을 사용하여 오토데스크 Revit과 같은 BIM 데이터로 생성된 3D 모델을 스캔해 법규에 부적합한 사항을 건축가에게 자동으로 알려줌으로써 법규 검토에 소요되는 시간을 획기적으로 줄이고 법규 검토 오류에 따라 발생할 수 있는 손실을 방지할 수 있도록 한다. 이 서비스는 아직 초기단계에 있지만 Y Combinator와 같은 벤처캐피탈로부터 785,000달러의 자금을 조달하였다.



[그림 3-42] Upcodes AI 시연 과정

(출처 <https://techcrunch.com/2018/06/11/by-automating-code-compliance-upcodes-ai-is-the-spellcheck-for-buildings/>, 검색일 2018.11.11.)

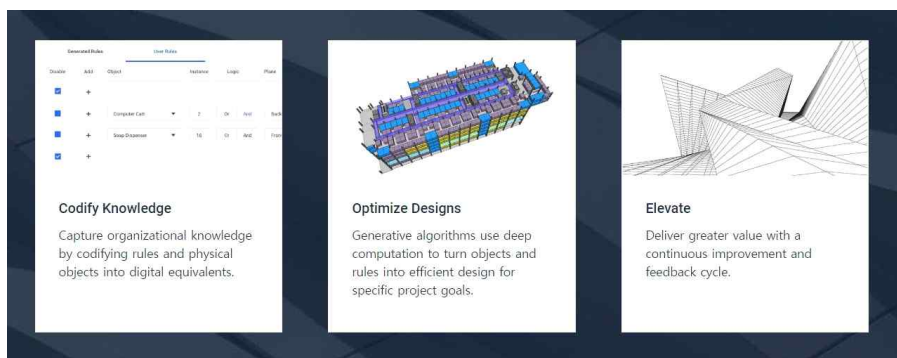
52) 업코드 홈페이지(<https://up.codes/>) 내용을 토대로 작성.

53) <https://techcrunch.com/2018/06/11/by-automating-code-compliance-upcodes-ai-is-the-spellcheck-for-buildings/> 참조

□ Aditazz⁵⁴⁾

아디타즈는 건축물 디자인을 자동화하는 데 특화된 보기 드문 기업이다. 아디타즈는 건축가의 직관에 의존하는 기존 건축 설계 프로세스에 의문을 제기하고 반도체 설계 기술을 차용하여 건축 설계 지식을 체계화하여 자동화한다.

이 플랫폼은 인공지능 기술을 적용하여 소프트웨어 알고리즘을 통해 고객의 요구사항, 제한요소, 건축 법규 및 작업 흐름과 사전에 정의된 객체(예를 들어 사무실의 표준 크기)를 입력하면, 자동적으로 입력 값을 반영한 다양한 설계안을 생성해낸다. 이렇게 생성된 수백 개의 설계안들은 시뮬레이션과 가상 운영 및 성능 테스트를 거쳐 건축주 및 건축가가 원하는 최적의 안을 만들어낸다. 마지막 결과물은 자금 및 운영 지출, 건물 재료 및 운영 성능의 요구량까지를 포함하는 BIM 모델로 제공된다. 아디타즈 플랫폼은 기존 시설의 배치와 업무 흐름을 최적화하는 데 사용될 뿐 아니라 새로운 건축 프로젝트에서 강력한 힘을 발휘할 수 있다. 이는 디자인 소프트웨어와 연결하여 바닥 패널, 벽체 및 프레임과 같은 모듈러 및 프리패브릭된 건물 구성요소를 제작할 수 있어 건설 프로세스의 효율성을 증가시킬 수도 있다. 또한 아디타즈는 설계 자동화 소프트웨어에 초점을 맞춘 회사이나 건축 전문 서비스 부서를 두고 고객을 효과적으로 지원한다. 아디타즈는 디자인 단계에서 공간과 전체적인 건물의 생애주기에 걸친 성능을 최적화하여 배치 최적화, 낮은 건설 비용, 더 적은 건물 재료 및 보다 큰 에너지 효율을 달성하여 건축물에 대한 비용을 절감할 수 있게 한다.⁵⁵⁾



[그림 3-43] Aditazz의 디지털화된 디자인 프로세스 개념

(출처: <https://www.aditazz.com/applications/building-design-automation/>, 검색일 2018.10.8)

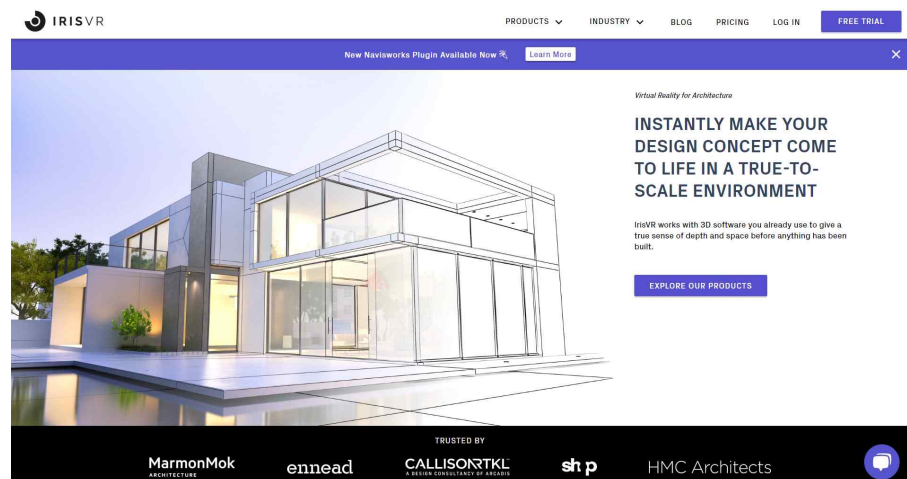
54) 아디타즈 홈페이지(<http://www.aditazz.com/>) 내용을 토대로 작성.

55) WEF(2017.2), *Shaping the Future of Construction: Inspiring innovators redefine the industry* 내 용을 참고하여 작성.

□ IrisVR⁵⁶⁾

아이리스VR은 가상현실에서 설계 검토 및 협업을 가능하게 하는 몰입형 소프트웨어를 제공하여 건축 관련 이해관계자간 소통을 원활하게 하고 실제 스케일의 공간을 검토하고 테스트할 수 있도록 지원한다.

아이리스VR의 제품은 데스크탑에서 사용할 수 있는 ‘Prospect’와 모바일 제품인 ‘Scope’로 구분되며 건축, 시공, 교육자, 학생을 위한 다양한 서비스를 제공한다.



[그림 3-44] IrisVR 건축관련 서비스 설명

(출처: <https://irisvr.com/industry/architecture>, 검색일 2018.10.23)

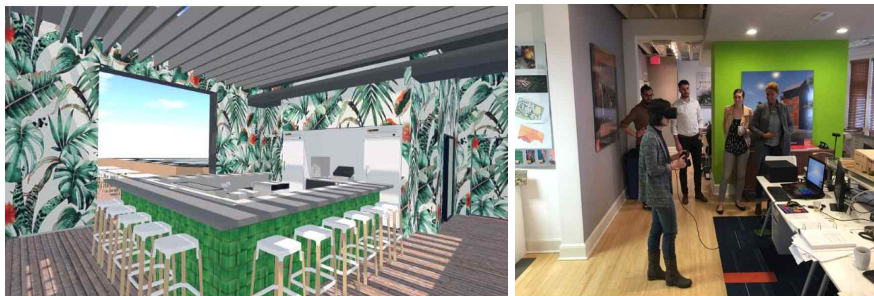
건축 부문 서비스는 도면만 이용할 경우 발생할 수 있는 고객 및 건축가간 소통의 문제를 줄이기 위해 기존에 사용하던 Sketchup, Rhino, Revit 등의 3차원 모델링 프로그램과 연동한 3차원의 가상현실을 도입하여 물리적인 모형을 만드는 시간 및 비용을 절감하고 설계안 검토 과정을 간소화하는 효과를 제공한다.

시공 부문에서는 가상현실을 통해 프로젝트를 검토하므로 비효율적인 미팅 횟수를 줄일 수 있고, 이해관계자간의 소통의 오류를 제거할 수 있다. 아이리스VR은 BIM을 가상현실로 연결하여 시공 전 시뮬레이션을 통해 조정이 필요한 사항을 체크할 수 있어 보다 손쉽게 품질관리(QA, Quality Assurance/ QC, Quality Control)를 도모할 수 있게 한다. 또한 사용자의 기술 수준 및 교육 여부와 관계없이 직관적인 조작과 1:1 스케일의 가상현실을 통해 건설현장에서의 예기치 못한 위험을 감소시키고 안전을 확보할 수 있다.

56) 아이리스VR 홈페이지(<https://irisvr.com/>) 내용을 토대로 작성.

교육 차원에서는 가상현실을 통해 학생들의 설계안을 1:1 스케일의 가상공간으로 확인할 수 있어 교육 효과를 제고할 수 있다. 아이리스VR은 건축설계에 사용되는 스케치업, 레빗, 그래스호퍼 등 다양한 프로그램과 연동되므로 손쉽게 사용이 가능하다.

아이리스VR의 고객 중 하나인 StudioMB는 워싱턴 DC 수산시장(Washington Fish Market)에 있는 Potomac Distilling Co.를 위해 새로운 바(bar)를 설계하게 되었는데, 수산시장 내 여러 건물의 설계자로서 구조물간 규모 및 공간적 관계들을 보다 잘 파악하기 위해 BIM을 이용하였고 가상현실 소프트웨어를 통해 중요한 디자인 결정들을 내릴 수 있었다고 한다. StudioMB는 바의 초기 설계안을 클라이언트와 공유하기 위해 'Prospect'를 이용하여 여러 설계대안과 렌더링을 테스트 하였으며, 이는 특히 자재 팔레트를 구성하는데 탁월한 도구로서 클라이언트에게 다양한 색상과 마감패턴 안을 선보일 수 있었고 클라이언트는 가상현실 이미지들을 투자자들과 공유하기도 하였다. 이 회사는 BIM 모델과 'Prospect' 소프트웨어의 연동이 쉽기 때문에 다른 프로젝트에서도 설계과정에서 수시로 사용하고 있으며 천장 높이, 복도 간격 등을 시현해봄으로서 설계안의 공간적 느낌을 이해하고 조정하고 있다고 한다.⁵⁷⁾



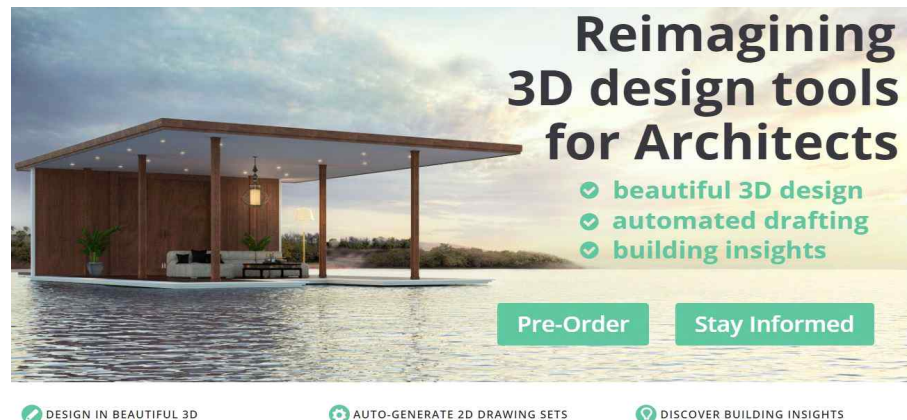
[그림 3-45] StudioMB의 바(bar) 프로젝트 이미지 및 데스크탑용 소프트웨어인 'Prospect' 이용 모습
(출처: <https://blog.irisvr.com/blog/case-study-studio-mb>, 검색일 2018.10.8)

□ Modumate, Inc.⁵⁸⁾

모듀메이트는 건축가를 위한 3차원 모델링 툴을 통해 설계과정을 지원함으로써 건축가의 업무 흐름을 효율적으로 개선하도록 지원한다. 모듀메이트가 개발한 소프트웨어는 3차원 모델링과 이를 2D 도면으로 자동 변환하는 기능, 렌더링 및 워크스루(walkthrough) 기능과 프로젝트 예산 관리 기능도 지원한다.

57) IrisVR blog(<https://blog.irisvr.com/blog/case-study-studio-mb>).

58) 모듀메이트 홈페이지(<https://www.modumate.com/>) 내용을 토대로 작성.

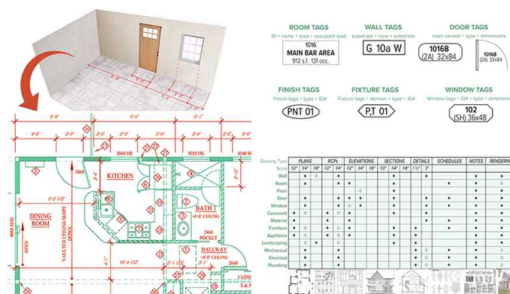


[그림 3-46] Modumate 서비스 화면
(출처: <https://www.modumate.com>, 검색일 2018.10.23)

3차원 모델링은 Unreal Engine 4를 사용하여 3차원 렌더링을 제공하고 자체적인 오브젝트 컬렉션을 갖추고 있어 직접 구성요소들을 모델링하는 데 소요되는 시간을 절감시키며 복잡한 메뉴 없이 직관적으로 오브젝트를 조정할 수 있도록 한다. 자동 도면 생성은 3차원 모델에서 자동으로 2D 도면을 생성하는 기능으로 각종 참조사항, 일정, 세부 정보 등을 설정할 수 있고 이를 통해 모든 데이터를 포함한 도면 세트를 손쉽게 완성할 수 있다. 또한, 도면 수정 시 자동으로 업데이트되어 쉽게 관리할 수 있다. 렌더링 및 워크스루(walkthrough) 기능은 사실적인 조명 및 텍스처링이 가능하며 지연이 최소화된 고품질 애니메이션 제작도 가능하다. 이외에도 프로젝트 관련 실시간 견적 및 일정관리, 에너지 및 용수량 측정을 통해 프로젝트 비용을 지속적으로 관리할 수 있게 돕는다.

AUTOMATE DRAFTING.

Spend all your time designing in 3D, and Modumate instantly sets up 2D views, sheets, references, schedules and details, while installing tags, annotations and notes. That means your drawing set is effortlessly clear, complete, correct and up-to-date every step of the way.



- A** Modumate contains procedural rules for laying out all 2D annotations based on your 3D model. You choose and compose the objects in 3D, Modumate automatically drafts your drawing set in 2D.
- B** Modumate's tags, legends and schedules easily display data from the data-complete objects in your design.
- C** With every click as you expand or revise your 3D model, Modumate expands and revises your set to match.

[그림 3-47] Modumate의 자동 도면 생성 기능 설명
(출처: <https://www.modumate.com/products/>, 검색일 2018.10.23)

□ Modelo⁵⁹⁾

모델로는 건축가와 산업 디자이너가 창업한 회사로 3차원 모델링을 이용하는 창의적인 디자인 팀들이 보다 쉽게 협력할 수 있도록 지원한다. 일반적인 가상현실, 360도 파노라마 렌더링 등과 같은 기능 뿐 아니라 3차원 모델링을 통합적으로 관리할 수 있는 디자인 솔루션 등을 제공하고 있다.

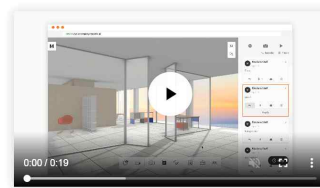
건축 및 인테리어 부문에서는 360도 파노라마 렌더링 및 가상현실 워크스루를 생성할 뿐 아니라 CAD 소프트웨어 사용자들을 위한 올인원 플랫폼인 DAM(Design Asset Management, 디자인 자산 관리) 솔루션을 제공하여 3차원 모델의 시각화, 설계 피드백 관리, 파일 저장 및 공유 등의 기능을 통합한다. 더불어 이를 이용할 때 BIM 데이터를 자동으로 불러들여 건축-엔지니어링-시공 일련의 단계들을 통합하여 공동으로 작업하여 문제를 해결할 수 있다. 이 회사에 따르면 DAM을 통해 건축가들이 평균적으로 주당 4.6 시간을 절약했다고 한다. 엔지니어링 및 시공 부문에서는 가상현실과 3차원으로 설계를 검토하여 시공 이전에 문제점을 발견하고 해결할 수 있으며, 마크업 기능을 통해 팀원들과 소통하고 오프라인이나 현장에서도 프로젝트 파일 및 메모 등을 이용할 수 있다.

Modelo: Supporting you throughout the design-to-construction process

3D Collaboration in the Cloud Keep feedback and files organized

Communicate effortlessly with colleagues, clients, and consultants to discuss ideas, markup designs and PDFs with your feedback, keep files together with your design, and prepare presentations all in one centralized platform.

Design Asset Management (DAM) from Modelo saves each architect and designer, on average, 4.6 hours per week in time and productivity improvements. Discover how DAM can make an impact in your practice.



[그림 3-48] Modelo의 건축 및 인테리어 부문 사용 안내

(출처: <https://modelo.io/architecture-interior.html>)

부동산 사업 측면에서는 고화질의 360도 파노라마 렌더링을 통해 리모델링 및 신축 이전에 고객들에게 해당 설계안을 선보일 수 있다. 모델로는 고객들에게 URL을 전송하여 설계안, 360도 투어, 가상현실 경험 등을 전달할 수 있으며, 이를 통해 상업 공간의 매장 레이아웃, 상품 진열 방식 등도 고객과 함께 검토할 수 있다. 또한 Build API라는 서비스를 통해 개별 회사의 업무환경에 따른 맞춤형 컨설팅 서비스도 제공하고 있다.

59) 모델로 홈페이지(<https://modelo.io/>) 내용을 토대로 작성.

3) 건설관리 지원 소프트웨어 기업

□ PlanGrid⁶⁰⁾

플랜그리드는 시공 생산성 제고를 위한 소프트웨어 개발 회사로서 도면, 사진, 현장 보고 등을 통합적으로 관리하여 발주처와 건설사가 모바일 및 데스크탑 상에서 협력할 수 있도록 지원한다. 시공 엔지니어들이었던 창업자들은 2010년 아이패드 출시를 계기로 시공현장에서 사용 가능한 모바일 테크놀로지의 가능성을 인지하여 2011년 플랜그리드를 창업하였다. 현재 우리나라 시장에도 진출하여 GS건설, 포스코 E&C, 대우 E&C 등 대형건설회사에서 해당 서비스를 사용하고 있는 것으로 알려져 있다.

플랜그리드가 조사한 자료에 따르면 1억 3,500만 달러 예산의 12층짜리 아동병원 리노베이션 공사에서 플랜그리드를 통해 높은 업무 효율성을 비용으로 환산하면 약 80만 달러에 이르는 것으로 분석하고 있다. 먼저 근무자들은 보고서 작성 등에 따른 플랜그리드를 통해 업무시간을 개인별로 주당 최소 5시간씩 단축하였고, 종이를 사용하지 않는 시스템으로 도면 출력비용을 줄이고, 도면을 실시간으로 조정하고 공유함으로써 재작업을 줄일 수 있었다고 한다.⁶¹⁾



[그림 3-49] 플랜그리드 주요 기능 설명

(출처: <https://www.plangrid.com/ko/>)

60) 플랜그리드 홈페이지(<https://www.plangrid.com/>) 내용을 토대로 작성.

61) <https://www.plangrid.com/projects/childrens-hospital/> 참고.

[표 3-5] 플랜그리의 주요 서비스

주요 서비스 부문	세부 서비스	내용
문서화 작업 (Documents)	스마트 시트 (Smart sheets)	도면을 스캔, 링크, 레이블링하여 즉각 업로딩, 최신의 수정본으로 항상 업데이트, 하이퍼링크를 통해 손쉽게 도면 검색
	문서 기능 (Documents)	모든 사용자가 기본적으로 최신 버전의 문서로 접근 가능, 무제한 문서 용량, 문서 메모 가능
	문서 제출 간소화 (Submittals)	하청 업체의 문서 제출을 간소화하여 결재 및 승인 과정을 보다 신속하게 처리, 향후 처리해야 할 문서 항목을 확인하여 업무 우선순위 결정, 후속 조치 및 자재 구입 등 진행
	제출문서 확인 자동화 (Automatic submittal log)	업로드된 사양서를 다운로드 가능한 시트로 변환하고 제출이 필요한 항목들을 파악하여 하청업자에게 할당
	정보 요청(RFIs(Request For Informations))	특정 도면과 관련한 정보요청을 하이퍼링크로 응답하여 팀원과 공유
	문서 동기화 (Instant sync)	수정된 문서는 자동으로 동기화되며 모바일, 이메일 등으로 수정 알림기능 활용
프로젝트 진행 상황 점검 (Progress)	마크업(Markups)	구름모양, 화살표 또는 텍스트 상자와 같은 마크업 도구를 다양한 색상으로 사용, 도면 수정 이후 팀원과 공유
	펀치리스트 (Punch lists)	모바일에서 펀치리스트 항목을 관리할 수 있으며 미해결사안에 따른 그룹을 배정하여 책임감 있게 업무 완수, 비용 및 공사 기간과 연동하여 펀치리스트를 관리하고 관련 보고서 다수와 공유
	도면비교 (Sheet compare)	본래 도면과 수정본을 화면상에서 겹쳐(overlay) 각기 다른 색으로 하이라이트 하여 비교 가능
	사진 및 비디오 (Photos & videos)	사진에 마크업 기능 이용, GPS 이용, 현장의 비디오 또는 360도 파노라마 사진 촬영
보고서 작성 (Reporting)	보고서 작성 (Field reports)	업로드된 일반적인 보고서 양식 사용 또는 필요에 따라 PDF 업로드 가능, 모바일상에서 다양한 사진 및 관련 문서를 첨부하여 작성, 문서별 접근 권한 설정
	PDF 보고서 (PDF reports)	PlanGrid 이용자가 아니어도 도면의 특정 부분을 스냅사진을 만들어 보내거나 공유
	준공도 (As-builts)	준공도를 사진 및 첨부문서와 함께 관리하며 가장 최근의 준공도를 다운로드 가능
프로젝트 운영 관련 업무 (Enterprise)	행정 관리(Admin console)	팀과 프로젝트를 중앙에서 관리
	보안(Security)	강력한 데이터 전송 보안 프로그램 이용, 프로젝트별 다양한 접근권한 설정 가능
	소프트웨어 통합(Integrations)	기존의 다양한 시공 소프트웨어와 통합 가능
	Workspaces 기능 (Workspaces)	PlanGrid Workspaces를 이용하여 프로젝트 단계별, 영역별 등 팀 작업 구분하여 관리, 개인정보 및 메모 관리, 자동 업데이트 받기

출처: 플랜그리드 홈페이지(<https://www.plangrid.com/>) 내용을 토대로 재구성

□ Rhumbix⁶²⁾

룸빅스는 2014년 창업한 기업으로 현장 데이터를 실시간으로 수집하고 관리하는 데에 더하여 노동생산성을 측정하고 이를 건설회사의 전사적 자원 관리(ERP) 및 회계 시스템과 연동되게끔 지원하는 서비스는 제공한다.



[그림 3-50] Rhumbix의 서비스 흐름도

(출처: <https://rhumbix.com/how-it-works/>)

룸빅스 모바일 앱을 통해 시공 현장에서 노트 및 사진 등을 추가하여 현장 업무 및 생산성 등에 대한 정보를 전달하면 본사의 프로젝트 관리자, 운영 관리자, 회계 및 임원 등이 룸빅스 웹 프로그램을 통해 의사결정 사항에 대해 검토 및 승인한다. 이러한 시스템 (System-to-Sytem)간 통합은 수동적인 데이터 전송에 따르는 시간 낭비와 오류를 줄이며 실시간 현장 보고 및 분석을 통해 매일의 이익, 손실, 노동 배분 및 예산 등의 모니터링을 가능하게 하고 결과적으로 노동 생산성 향상에 기여한다.

[표 3-6] 룸빅스의 주요 서비스 개요

제품명	주요 서비스 특징	내용
베이직 (Basic)	디지털화된 시간 기록 (Digital timekeeping)	시공 현장 관리자가 이용하기 쉬운 노동 시간 기록 시스템
	인건비 관리 (Digitized payroll)	모든 근로자 및 노동 시간이 하나의 플랫폼에서 입력되므로 안정적으로 인건비 관리 가능
	급여 승인 (Centralized approvals)	급여 지급 관련 행정인력이 모든 근로자의 노동 시간에 대한 데이터를 즉시 접근하여 검토 및 승인
	노동조합 기준 준수 (Compliance)	디지털 서명, 근무 시작 및 종료 시간, 휴식 및 부상 등을 확인하여 노동조합의 기준 준수
	인건비 데이터 관리 (Payroll data import/export)	근무시간 기록 뿐 아니라 현재 진행중인 프로젝트, 비용 등 다양한 데이터의 용이한 관리
	통합된 회계 (Integrations for seamless accounting)	개별 회사의 회계 소프트웨어를 Rhumbix 플랫폼과 통합하여 급여 처리 간소화

62) 룸빅스 홈페이지(<https://rhumbix.com/>) 내용을 토대로 작성.

제품명	주요 서비스 특징	내용
코어 (Core)	생산성 관리 (Production tracking)	프로젝트 책임자가 실제 근무 시간과 설치된 자재 수량을 확인하여 일일의 생산성 확인 및 제고
	현장 관리자 피드백 (Foreman feedback)	현장 관리자는 피드백 및 성과 지표 확인을 통해 생산성 제고
	일일 메모(Daily notes)	공사 지연, 장비, 인력 및 날씨 정보 등을 파악하여 프로젝트 리스크 관리
	프로젝트 라이브 피드 (Project live feed)	현장 관리자가 진행상황을 라이브 업데이트하여 문제 발생시 실시간 파악 가능
	안전한 작업환경 확보 (Safety observations)	안전관련 사항들을 지속적으로 관찰 및 기록하여 안전한 작업 환경 조성
	효과적인 보고 (Powerful & intuitive reporting)	현장 데이터의 실시간 보고를 통해 프로젝트 관련 의사결정 지원 및 생산성 제고
	일일 이익 및 손실 파악 (Daily profit & loss)	손실 발생 업무 및 원인을 파악하여 문제 해결
	예산 관리(Budget health)	실적관리표를 통해 프로젝트 진행상황의 트렌드와 문제 요인을 파악하여 대처
	정확한 비용 데이터 (Accurate historical cost data)	과거 프로젝트에 대한 정확한 데이터를 기반으로 향후 입찰과 정에서 경쟁력 향상

출처: 룸빅스 홈페이지(<https://rhumbix.com/products-overview>) 내용을 토대로 재구성

4) 3D 프린팅 등 디지털 제조 기업

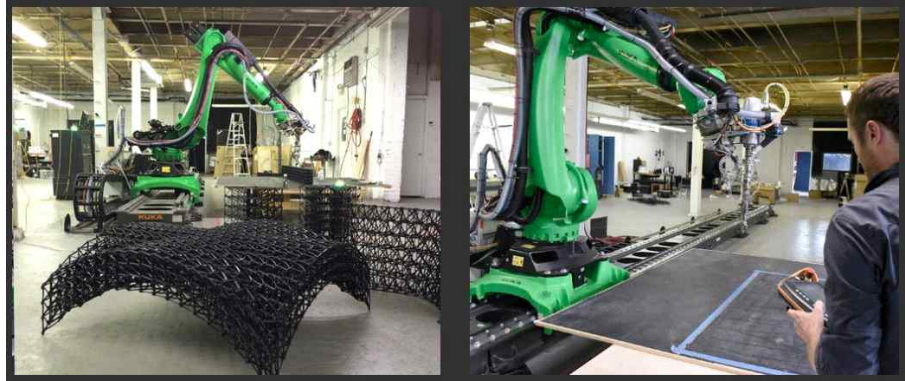
□ Branch Technology⁶³⁾

브랜치 테크놀로지는 건축물 제작에 특화된 대규모 3D 프린팅 기술 기업으로 건축가, 프로그래머, 기계 엔지니어, 수학자, 산업 디자이너 등으로 구성되어 있다. 이 회사는 지지하는 물체나 고도로 제어된 건조 환경이 없이도 기하학과 로봇 모션을 통해 복잡한 형상의 구조물을 만들 수 있는 알고리즘을 고안하고, C-FAB이라는 3D 프린팅 프로세스를 특허 출원 중에 있다.

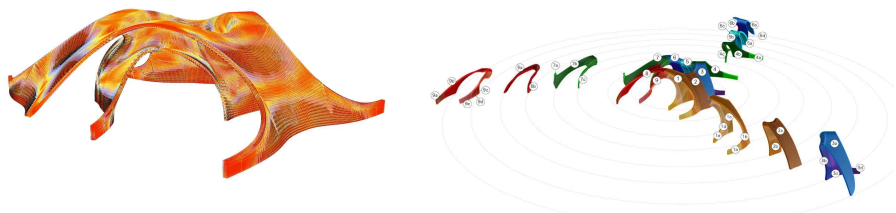
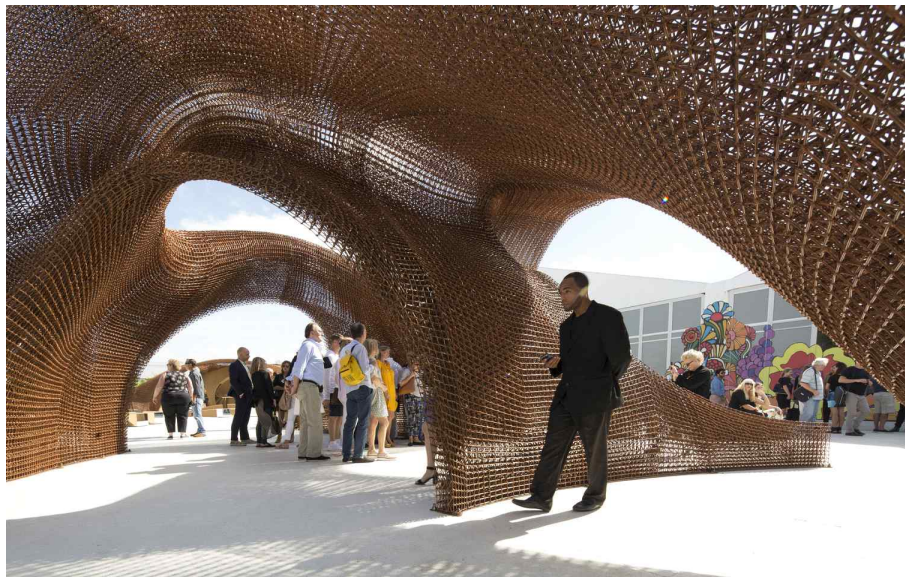
브랜치 테크놀로지는 건축가 및 디자이너의 창의적인 디자인을 3D 프린팅으로 구현할 수 있도록 지원하는 데 전체적인 프로세스는 디자인-업로드-제작으로 매우 간단하고 직관적이다. 건축가나 디자이너가 디지털 툴로 디자인 작업을 하여 해당 파일을 업로드 하면 자체 고안한 알고리즘(C-FAB)을 통해 3D 모델을 로봇과 연동될 수 있도록 변환해

63) 브랜치 테크놀로지 홈페이지(<https://www.branch.technology/>) 내용을 토대로 작성.

낸다. 이후 자체적으로 개발한 3D 프린팅 로봇을 통해 엔지니어링, 제조 및 설치(조립)한다. 보통의 경우 제조는 현장 밖에서 구조물을 모듈화하여 현장에서 조립한다.



[그림 3-51] Branch Technologies의 제작 장면
(출처: <https://www.branch.technology/>)



[그림 3-52] 건축설계사무소 SHoP와 함께 작업한 파빌리온
(출처: <https://www.branch.technology/projects-1/2017/6/9/shop> 사진 재구성)

□ Apis Cor⁶⁴⁾

아피스 코어는 러시아의 스타트업으로 현장에서 건물 전체를 완전히 인쇄할 수 있는 이동가능한 3D 프린터를 개발한 최초의 회사이다. 이 회사의 3D 프린터는 약 2톤의 무게로 적은 전력만으로 사용할 수 있고, 설치 및 설정이 용이하며 건설 폐기물을 거의 남기지 않는다. 이 프린터는 건축물이 지어질 공간 내부에 위치하게 되는데 한 지점에서 132㎡ 면적까지 인쇄할 수 있고, 이를 다른 지점으로 이동하면 더 넓은 면적에 걸쳐 건축을 할 수 있다. 이 회사에 따르면 프로젝트당 일반 콘크리트 건축물에 비해 최대 40%의 비용을 절약할 수 있고, 24시간 안에 소규모 건축물을 인쇄할 수 있다고 한다. 또한 최근에는 미국 항공우주국(NASA)에서 주최하는 “3D-Printed Habitat Centennial Challenge”⁶⁵⁾에 참여하여 우주 기지 건설기술 개발에도 박차를 가하고 있다.



[그림 3-53] Apis Cor가 개발한 이동가능한 건설용 프린터 및 프로토타입

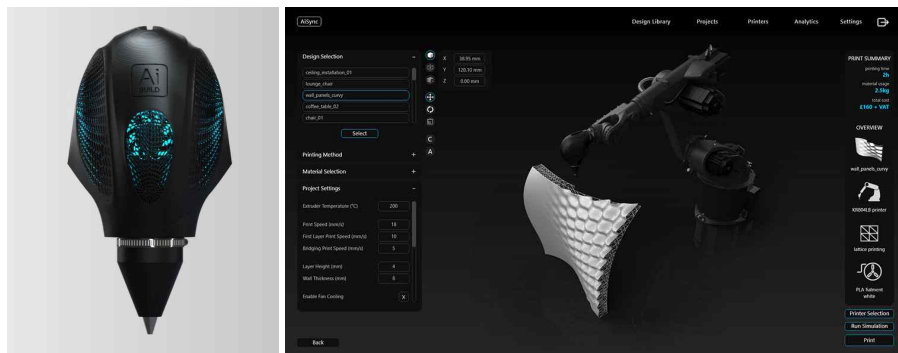
(출처: <http://apis-cor.com/en/3d-printer>)

64) 아피스 코어 홈페이지(<http://apis-cor.com/en/>) 내용을 토대로 작성.

65) NASA 홈페이지(<http://www.nasa.gov/3DPHab>) 참고.

□ Ai Build⁶⁶⁾

영국 런던에 기반을 둔 Ai 빌드는 인공지능 및 로봇기술을 개발하는 신생 기업으로 3D 프린팅, 로봇 공학, 컴퓨터 과학자, 전산 설계 및 물리 분야의 다양한 전문가들로 구성되어 있다. Ai 빌드는 자율화된 3D 프린팅 제작 기술을 실험적인 가구, 설치 예술, 인테리어 마감 및 건축 분야 등에 적용하여 혁신적인 디자인을 쉽고 지속가능하며 보다 합리적인 가격으로 제작하는 것을 목적으로 3D 프린팅 하드웨어 및 이를 조절하는 소프트웨어를 개발하였다. 이 회사는 인공지능 및 로봇공학 기술을 통해 보다 정교한 구조물을 구현해내고 있으며 건축 분야에서는 콘크리트 주조를 위한 거푸집부터 기둥, 독립형 구조물까지 다양한 가능성을 실험하고 있다.



[그림 3-54] Ai Build가 개발한 하드웨어(AiMaker)와 소프트웨어(AiSync)
(출처: <https://ai-build.com/technology.html>)



[그림 3-55] Ai Build의 벽채용 거푸집(좌)과 Arup과 작업한 파빌리온(우)
(출처: <https://ai-build.com/projects.html>)

66) AI 빌드 홈페이지(<https://ai-build.com/>) 내용을 토대로 작성.

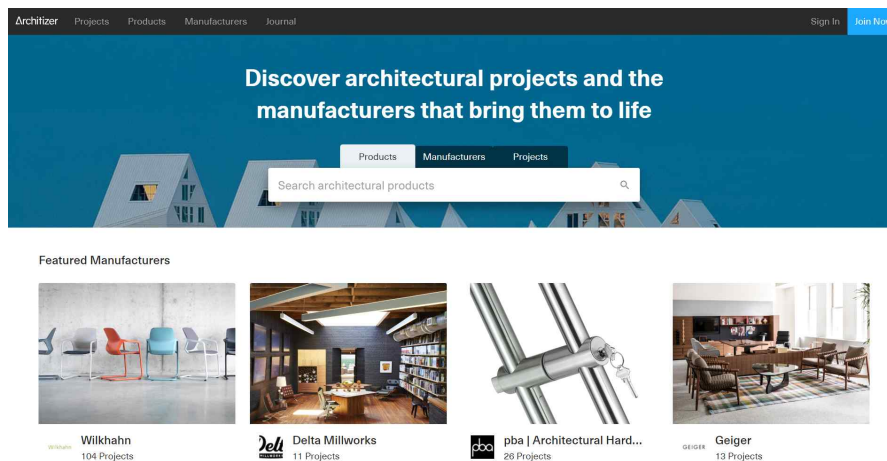
5) 건축서비스 연결 플랫폼 기업

□ Architizer⁶⁷⁾

미국 뉴욕에 소재한 아키타이저는 건축 자재 관련 상품 및 제조업체 데이터베이스를 구축하여 웹사이트로 해당 정보를 제공하는 플랫폼이다. 이를 통해 건축가, 시공자, 건축주 등은 진행하는 프로젝트에 적합한 건축 자재 및 제품을 찾는 데 들이는 시간을 줄일 수 있고, 원하는 제조업체와 빠르게 업무를 진행할 수 있다.

아키타이저에서는 건축 내·외부 자재, 가구, 조명 등의 상품을 검색하고 평가할 수 있으며 이를 생산하는 제조업체를 유형별, 지역별, 가격별로 검색하여 즉각 메시지를 보낼 수 있다. 또한 'Journal'을 통해 가장 최근에 지어지는 건축물 데이터베이스도 이용할 수 있는데 이는 세부적으로 건축 자재 및 디테일, 사례조사, 상품 가이드, 제조업체를 위한 정보 등으로 구분된다. 더불어 준공된 다양한 건축 프로젝트의 정보를 제공하고 있으며 프로젝트 유형, 준공 연도, 예산 등의 기본적인 사항 뿐 아니라 어떤 자재가 사용되었는지 등에 대한 여부도 검색할 수 있도록 되어 있다.

또한 아키타이저는 우수 건축물과 우수 제품을 선정하는 “A+Awards”를 2013년부터 매년 개최하여 우수 사례의 확산과 건축 산업 생태계의 발전에도 기여하고 있다.



[그림 3-56] Architizer 홈페이지 검색 화면

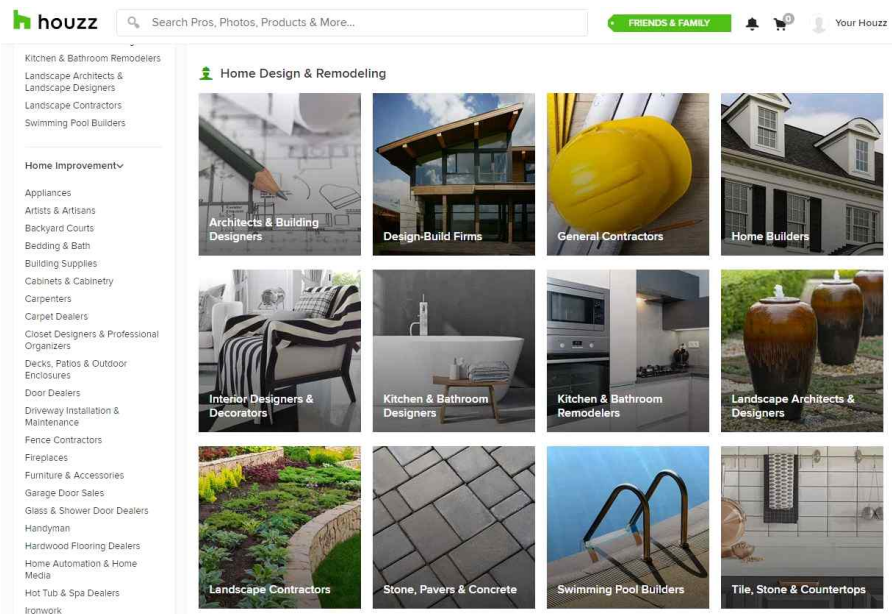
(출처: <https://architizer.com/>)

67) 아키타이저 홈페이지(<https://architizer.com/>) 내용을 토대로 작성.

□ Houzz⁶⁸⁾

하우즈는 건축 수요자로 하여금 주택과 관련한 모든 제품과 부문별 전문가를 연결하는 플랫폼이다. 홈 데코레이션 및 인테리어를 위한 조명 등 각종 제품 및 가구를 구매할 수 있도록 소개하며 욕실, 주방 등 부분별 리모델링, 인테리어 및 신축을 위한 건축가, 디자이너 및 시공사 등을 연결한다.

건축을 위한 부문별 전문가에는 건축가 및 디자이너, 디자인-빌드 회사, 종합건설회사, 홈빌더, 인테리어 디자이너, 조경가 등이 포함되어 있으며 이들 회사의 주요 작품 정보를 검색해볼 수 있고 제품에 대한 상품평과 같이 건축 전문가들의 결과물에 대한 후기 및 평점을 통해 예비 건축 수요자에게 자신의 취향에 맞는 전문가를 고를 수 있도록 돕는다.



[그림 3-57] Houzz 홈페이지 부문별 전문가 검색 화면

(출처: <https://www.houzz.com/professionals>)

□ Arcbazar⁶⁹⁾

아크바자는 건축 수요자가 계획하고 있는 건축 프로젝트에 대해 설계공모를 하여 원하는 설계안을 선택할 수 있도록 지원하는 플랫폼이다. 이는 기존에 건축 수요자가 건축가

68) 하우즈 홈페이지(<https://www.houzz.com>) 내용을 토대로 작성.

69) 아크바자 홈페이지(<https://www.arcbazar.com/>) 내용을 토대로 작성.

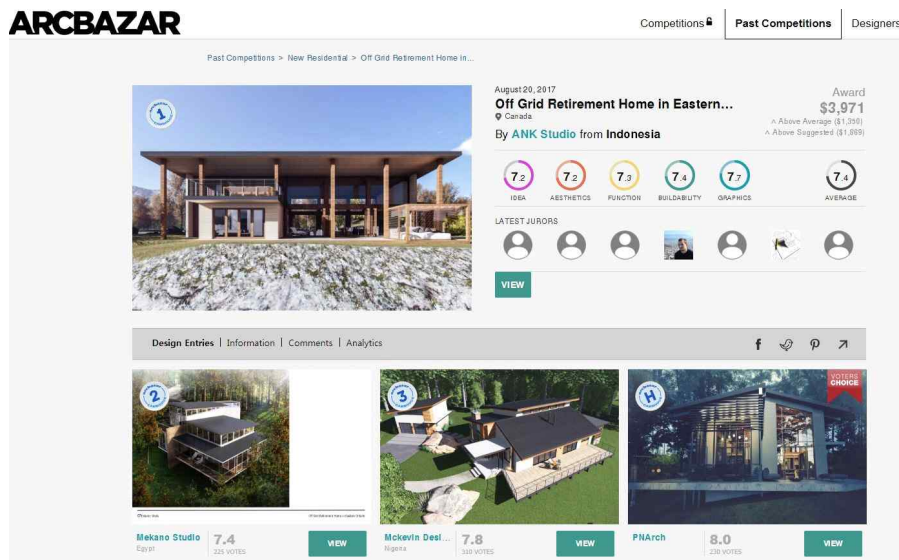
를 찾아가는 방식에서 벗어나 건축 서비스 전달과정을 획기적으로 변화시킨다.

건축 수요자는 현재 계획하고 있는 건축 프로젝트의 용도, 면적, 공모기간 등 개략적인 정보를 입력하고 스스로 상금을 책정하여 공모를 실행한다. 이때 상금 금액은 프로젝트 유형에 따라 하한선이 있으며 상금 금액이 크면 클수록 전 세계의 많은 건축가들이 참여할 가능성이 많아진다. 건축 수요자는 참여한 건축가들의 설계안에 대해 자신 뿐 아니라 가족, 친구들과 함께 심사에 참여할 수 있으며, 가장 선호하는 계획안을 제출한 건축가 3명을 선택하여 상금을 지급하고 이후 협의하여 건축 프로젝트를 진행할 수 있다.



[그림 3-58] Arcbazar 진행 방법에 관한 설명 그림

(출처: <https://www.arcbazar.com/>)



[그림 3-59] Arcbazar에서 설계공모를 진행한 사례

(출처: <https://www.arcbazar.com/single-family-homes-design/competition/off-grid-retirement-home-in-eastern-ontario-canada>)

제4장 건축서비스산업의 미래변화 전망

- 1. 건축서비스의 변화
 - 2. 건축서비스산업 생태계의 변화
 - 2. 건축서비스산업 일자리의 변화
-

1. 건축서비스의 변화

□ 건축서비스 업무 생산성 및 효율성 향상

그간의 건축서비스 업무는 전문가가 가진 지식과 아날로그적인 작업 방식으로 인해 장시간의 업무와 소모적인 반복 작업을 요하였고, 건축가, 시공자, 운영자 등 이해관계자 간에 부정확하고 신속하지 않은 의사소통으로 프로젝트 전체 비용과 품질을 담보하지 못하였다. 또한 하나의 프로젝트에서 생산된 정보와 지식은 건축가 등 건축서비스 업무를 진행한 이의 경험적 지식으로만 남아 다른 프로젝트에서 활용되기 어렵고, 디자인 등 서비스 품질 향상에는 큰 영향을 미치지 않는 소모적인 작업을 다시 반복해야만 했다.

그러나 근래 대부분의 산업 분야에서와 마찬가지로 건축서비스산업과 관련된 디지털 기술은 그 필요성에 따라 지속적으로 발전할 것이다. 그리고 건축서비스산업이 이러한 디지털 기술을 채택하는 데 성공한다는 것을 전제로 하면 건축서비스 업무의 생산성 및 효율성이 향상될 것은 자명하다. 영국 왕립건축가협회(RIBA)와 마이크로소프트의 작성한 보고서에 따르면 디지털 기술을 채택할 경우 프로젝트 효율성을 최적화하는 데 도움이 된다는 응답이 79%로 나타났다¹⁾, 미국 건축가 및 엔지니어를 대상으로 조사한 다른 보고서에는 BIM을 사용하는 것이 불필요한 재작업을 없애는 데 유용하다는 데 동의하고 있다.²⁾ 이미 BIM은 건축 실무에 많이 적용되고 있으며, 많은 건축가들이 새롭게 진화

1) RIBA·Microsoft(2018), "Digital Transformation in Architecture", pp.24~25.

한 디지털 도구가 업무 생산성 및 효율성을 높이는 데 유익하다는 인식을 가지고 있기 때문에 업무의 디지털화가 이루어지는 것은 시간문제이다.

이제 건축가들은 기 개발된 또는 스스로 개발한 디지털 도구를 활용하여 사업타당성 검토 결과를 토대로 건축주에게 건축 기획 단계에서부터 좋은 건축물을 만들기 위한 의견을 제시할 수 있고, 설계 단계에서의 지루하고 복잡한 법규 검토 시간을 줄이는 한편 건축주 프리젠테이션을 위해 날을 새우며 모형을 만드는 대신 BIM으로 작성한 도면을 즉시 가상 또는 증강 현실로 시각화하여 건축주와 보다 긴밀하게 의사소통할 수 있다. 또한 건설관리 애플리케이션을 통해 시공 상황을 실시간으로 점검하고 현장 작업자와 원격으로 의사소통하여 업무를 효율적으로 처리할 수 있다.

건축가들은 BIM에 탑재된 생성적 디자인 소프트웨어를 사용함으로써 하나의 설계안을 만들고 변경하며, 작은 변경사항에도 여러 차례 도면을 수정하는 힘겨운 작업에서 벗어나 설계 목표와 변수를 찾아내는 데 정성을 쏟고 이를 반영하여 컴퓨터가 생성해내는 수 천 개의 대안과 최적화된 몇 개의 해법들 중 하나를 선택하여 설계의 완성도를 높이는데 집중할 수 있다. 이와 같은 설계 결과는 조건이 다른 프로젝트에서 목표와 변수를 조정하여 다시 사용할 수 있으므로 설계 지식과 경험은 체계적으로 쌓여 진화한다.

설계안이 일단 만들어지면 건축가들은 시공하기에 앞서 3D 모델링 파일을 그들의 사무실에 있는 3D 프린터나 첨단 로봇으로 보내 출력하거나 전문 제작자(fabricator)에게 이를 의뢰하여 프로토타입을 제작한다. 건축가는 엔지니어 및 시공자와 프로토타입의 형태, 성능 및 시공 가능성을 함께 검토하고 문제가 없으면 부재 제작과 본격적인 시공에 들어간다. 이와 같은 과정 때문에 건축가가 구상한 설계안은 거의 오차가 없이 정확하게 조립 및 시공되고 건축주는 사전에 가상현실을 통해 체험한 바와 다를 게 없는 결과물에 만족할 수 있다.

□ 이용자 중심 서비스로의 전환

디지털 기술의 발전은 건축서비스를 보다 이용자 중심으로 변화시키고 있다. 인공지능 및 빅데이터 분석을 기반으로 한 웹서비스를 통해 건축가나 부동산 컨설턴트를 거치지 않고도 개략적인 사업타당성 및 건축 관련 법규를 검토할 수 있고, 설계 단계에서 가상 및 증강 현실을 통해 설계안이 실현할 공간을 미리 체험하고 변경할 사항을 건축가에게 요구할 수 있다. 또한 모바일 애플리케이션 등을 통해 시공자로부터 시공 과정이 제대로

2) Dodge Data & Analytics(2016), "Connecting Design and Construction", Autodesk, p.2.

이루어지는지 매일 또는 실시간으로 보고 받고 시공 단계에 따라 안심하고 공사비를 지불한다. 또한 준공 이후에도 설계 및 시공 과정의 도면, 건축 자재 등의 각종 정보가 건축주에게 자연스럽게 이관되어 건물 운영에 사용되게 된다.

이제 적어도 주택 등 소규모 건축물에 대해서는 건축주가 건축가나 시공자를 직접 찾아 나서는 시대는 지나가고 있다. 건축주는 온라인상에서 여러 건축가들의 이전 작업들을 검색하고 평점을 확인하여 취향에 맞는 건축가를 선택할 수 있으며, 때로는 전 세계 건축가 및 디자이너를 대상으로 상금을 걸고 설계 공모를 할 수도 있다. 어떤 웹사이트에서는 금액대별로 잘 디자인된 주택을 바로 선택해 구매할 수 있고, 또 다른 웹사이트에서는 건축주가 원하는 바를 입력하면 인공지능 알고리즘에 따라 설계안이 만들어지고 개략적인 건축 비용이 자동 산정된다. 이 경우에도 건축주는 설계안을 가상 또는 증강 현실로 미리 체험해보고 여러 대안 중 마음에 드는 하나를 고를 수 있다. 일단 설계안을 결정하면 수일 내로 건축 부재들이 배송되고 현장 조립과 시공이 빠르게 이루어진다. 어떤 경우에는 자동화된 3D 프린팅 로봇이 도착해 집을 인쇄해낼 것이다. 이와 같이 디지털 기술을 통해 건축서비스는 지금보다는 더 많은 사람들이 누릴 수 있고 신속한 서비스가 될 것이다. 이제 건축서비스사업자는 건축물을 디자인하는 것보다 이용자 중심의 서비스를 디자인하는 게 치중하게 될 것이다.

물론 특별한 디자인을 원하는 일부 건축주는 여전히 몇몇 유명 건축가들에게 기존과 같은 방식으로 설계를 의뢰하고 많은 보수를 지급할 것이다.

2. 건축서비스산업 생태계 변화

□ 가치사슬의 통합

BIM 소프트웨어, 디지털 패브리케이션, 클라우드 컴퓨팅을 통한 설계 및 건설관리 도구 등 디지털 기술의 발전은 건축 기획, 설계, 시공감리, 운영 및 유지관리로 이어지는 건축 서비스산업 가치사슬의 통합을 가속화하게 될 것이다. 특히 분화된 가치사슬별 종사자 간의 정보 공유와 협업을 지원하는 핵심 도구인 BIM은 우리나라를 비롯해 전 세계적으로 이의 사용을 제도화하려는 움직임이 늘어나고 있어 이를 뒷받침한다. 건축 프로젝트의 규모가 크고 복잡할수록 참여 주체별, 단계별, 공정별 유기적인 결합이 중요하며 이를 성공적으로 관리하는 것이 최종적인 결과물의 품질을 좌우하게 된다는 점에서 가치사슬의 통합은 좋은 건축물을 만들고 고객 만족을 이끌어내기 위해 필수적인 사항이라 할 수 있다. 또한 가치사슬의 통합은 이용자 중심으로의 서비스 전환과도 연관된다. 건축서비스 수요자는 건축가, 시공자 등 건축에 필요한 전문가 또는 업체를 따로 고용하고 계약하는 번거로움을 피하고 통합된 프로젝트 관리를 위한 방법을 찾길 원한다. 이는 건축 프로젝트의 규모가 크고 복잡할수록 더할 것이다.

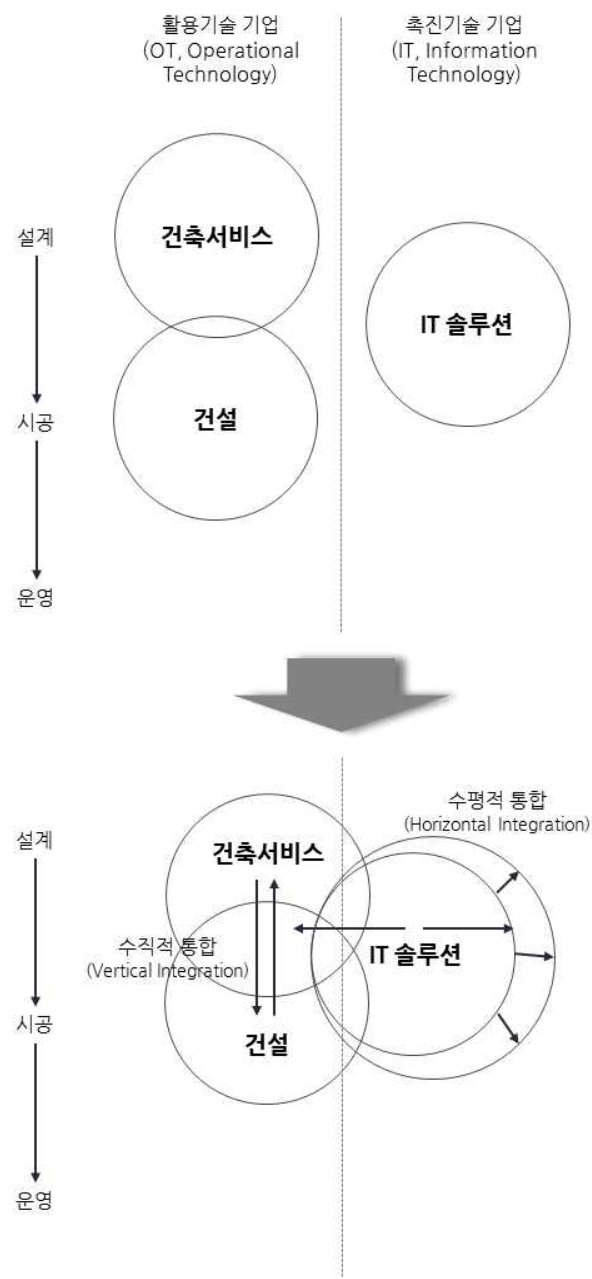
건축 산업의 가치사슬 통합은 설계, 시공, 운영관리로 이어지는 가치사슬의 여러 단계를 통합하는 수직적 통합(Vertical Integration)과 동일한 단계에서의 내부적 확장, 인수 및 합병 등을 통한 수평적 통합(horizontal Integration) 두 유형으로 나타나고 있다.

수직적 통합의 사례는 앞서 살펴본 카테라, 카시타 등과 같은 기업들로 이들은 디지털 기술을 적극적으로 도입하여 가치사슬을 통합함으로써 건축 수요자에게 빠른 서비스와 결과물을 제공하고 있다. 이들은 미국의 사례이기는 하나 이러한 디자인-빌드 건축 회사들의 성장 모델은 우리나라를 비롯해 전 세계적으로 확산될 가능성이 충분하다.

수평적 통합의 사례는 건축 산업에 IT 기술을 공급하는 기업들에서 눈에 띄게 나타나고 있다. 10년 사이에 건축과 관련한 IT 솔루션을 제공하는 기업들이 활발하게 생겨났는데 오토데스크(Autodesk)나 트림블(Trimble)과 같은 대기업은 자사의 CAD, BIM과 유사하거나 이와 연동하여 추가적인 서비스를 제공하는 신생 소프트웨어 개발 회사들을 인수하고 있다.³⁾ 이는 건축, 건설 산업의 디지털 전환이 활발히 진행됨에 따라 건축 산업

3) 오토데스크社は 2018년에만 Buildingconnected, Plangrid, Assemble Systems 등 3개 기업을 인수하였는데 이중 시공관리 소프트웨어 개발 회사인 PlandGrid의 인수 가격은 875백만달러(약 1조원) 이다(출처: https://www.crunchbase.com/organization/autodesk/acquisitions/acquisitions_list#section-acquisitions)

에서도 구글, 아마존과 같은 거대 IT 기업에 의한 승자독식 패턴이 나타날 수 있는 가능성을 시사한다.



[그림 4-1] 건축서비스산업 생태계의 가치사슬 통합 방향
(출처 연구자 직접 작성)

□ 건축 산업 생태계의 변화 시나리오

현재 건축 관련 산업 생태계의 주된 구성원은 건축사사무소로 대표되는 건축서비스사업자, 건설업자, 디지털 기술 솔루션 기업 등으로 나눌 수 있다. 기술 솔루션 기업은 BIM, 건축용 VR·AR이나 설계 및 시공 관리 소프트웨어를 제공하는 기업과 3D 프린팅 등 디지털 패브리케이션(하드웨어 및 소프트웨어) 기술을 제공하는 기업으로 구분할 수 있으며 이들은 건축서비스사업자와 건설업자에게 기술을 공급하는 역할을 한다.

디지털 기술이 견인할 건축서비스산업의 가치사슬 통합은 기존 산업 생태계에 크고 작은 변화를 가져올 수 있으며 이는 기술 수용자인 건축서비스사업자와 건설업자가 디지털 기술을 얼마나 빠르게 받아들이고 디지털 전환에 성공하느냐에 따라 몇 가지 시나리오를 예상해 볼 수 있다.

먼저 건축서비스사업자와 건설업자의 디지털 전환이 함께 진행될 경우 기존 산업 구조의 큰 변화 없이 각자의 역할을 충실하게 이행하고 긍정적인 협업 관계를 유지하면서 산업 전반의 생산성과 효율성이 차츰 높아질 것이다.

두 번째 경우는 건축서비스사업자의 디지털 전환 속도가 빠른 반면 건설업자는 느릴 경우이다. 건축서비스사업자의 디지털 역량이 강화되는데 반해 건설업자의 디지털 역량이 건축서비스사업자가 요구하는 수준에 따르지 못할 경우 건축가 등은 건축 프로젝트 전반을 주도적으로 이끌고 관리하게 될 것이며, 제도적으로 가능하다면 3D 프린팅 등 디지털 패브리케이션 기술 공급업체와 함께 건설업자가 없이도 건축물의 계획부터 완성까지 모든 프로세스를 수행할 수도 있을 것이다. 최근 건축서비스사업자는 기업 내에 디지털 기술 솔루션 전담 팀을 만들거나, 소수이기는 하나 기업 내에서 파생된 새로운 기술 기업을 창업하는 사례가 있으며, 건축가 등이 새롭게 기술 기반 창업을 시도하기도 한다는 점으로 미뤄볼 때 가능성 있는 시나리오라 할 수 있다.

세 번째 시나리오는 건설업자의 디지털 전환이 빠르게 이행되는 반면 건축서비스사업자의 변화는 더딘 경우이다. 건설업자는 생산성과 품질 혁신을 위해 건축가를 기업 내에 고용하거나 몇 개의 건축사사무소를 사들여 프로젝트를 통합적으로 실행할 것이다. 만약 제도적으로 건축사 없이 프로젝트를 진행할 수 있다면 건설업자는 설계 자동화 소프트웨어 공급자와 함께 작업을 수행할 수도 있을 것이다. 그렇게 되면 프로젝트 전 단계에 걸친 건축가의 역할은 축소되고 프로젝트의 주도권은 건설업자에게 가게 될 것이다. 일반적으로 건설업자의 자본 규모가 건축서비스사업자의 그것보다 월등히 크고, 최근 건설 기술 분야에 대한 투자가 급격히 증가⁴⁾하고 있는 것으로 미루어볼 때 이러한 가능

성은 설득력이 있다고 볼 수 있다.

마지막은 건축서비스사업자와 건설업자의 디지털 전환이 모두 지체되는 경우이다. 이 때에는 저 개발된 산업에서 기회를 찾는 IT 기반 솔루션 기업이 새로운 시장 진입자로 등장하여 파괴적으로 산업 구조를 재편할 수 있다. 이미 3D 프린팅 기업 중에는 중국의 원선社와 같이 가치사슬을 통합하여 서비스할 채비를 갖춘 기업들이 있다. 한편으로는 디자인 자동화 소프트웨어를 개발하는 오토데스크는 생성적 디자인 등의 실제 적용을 위한 연구를 하는 실험적인 스튜디오인 ‘The Living’을 운영하고 있으며, 아마존 알렉사 편드는 원스톱 서비스를 제공하는 모듈러 주택 회사인 PlantPrebab에 투자하고 있다. 또한 공유 경제를 대표하는 에어비앤비는 건물을 공유하는 서비스에서 나아가 건축을 직접 기획하는 데 나서기 시작했다. 이들이 풍부한 데이터를 무기로 건축 설계 시장에 주도적으로 나설 가능성도 배제할 수는 없다.

위와 같은 네 가지 시나리오는 정책의 변화에 따라 크게 달라질 것이며, 실제로는 업체들의 디지털 수준에 따라 복합적으로 일어나게 될 것이다.

[표 4-1] 건축 관련 산업 생태계의 변화 시나리오

구분	건축서비스사업자	건설업자	산업 구조 변화 시나리오
디지털 전환 속도	↗	↗	건축서비스산업과 건설업이 동반 성장
	↗	↘	건축서비스사업자가 프로젝트 전 단계에서 주도적 역할 담당. 또는 건설업자 없이 프로젝트 완수
	↘	↗	건설산업이 건축서비스산업을 통합 흡수
	↘	↘	IT 기술(플랫폼) 기업의 시장 진출과 장악

출처: 연구자 작성

4) McKinsey&Company(2018.10) 보고서에 따르면 2008-2018 사이 건설 기술 투자액은 2배 증가.

3. 건축서비스산업 일자리 변화

건축서비스 단계 전반에 걸쳐 자동화된 디지털 도구가 사람의 일을 보조함으로써 전통적인 업무 방식이 간소화, 최적화되어 건축서비스의 접근성, 생산성과 서비스 품질은 향상되고, 디지털 패브리케이션 기술이 보다 성숙됨에 따라 전체 건축 비용이 줄어들게 될 것이다. 이는 건축서비스에 대한 잠재적 수요 - 특히 중소규모 건축물의 신축 및 리모델링 - 를 가시화하게 될 것이다. 따라서 디지털 전환 초기 단계에서는 건축서비스의 생산과 일자리는 늘어날 것으로 전망할 수 있다.

그러나 중장기적으로 디지털 전환이 고도화되면 사람의 개입이 없이도 서비스가 가능한 부분이 점차 늘어날 것이다. 자동화된 건설관리 시스템으로 감리 부문을 주된 수입원으로 하는 소형 건축사사무소는 먼저 사라지게 될 것이고, 고도화된 건축물 디지털 트윈 기술로 건축물 유지관리 점검이 시스템에 의해 자율적으로 이루어져 건축사들이 이 업무를 할 필요가 없게 될 것이다. 건축서비스 중 비중이 크고 중요한 부분인 설계 업무는 적어도 그리 복잡하지 않은 프로젝트에 대해서는 결국 한번 설계된 컴퓨터 알고리즘이 대신하게 될 것이다. 그렇게 되면 창의적이고 유명한 몇몇 건축사사무소를 제외한 보통의 경우 일자리가 감소할 것으로 전망된다.

한편으로는 건축서비스 업무에 협업의 필요성이 증가됨으로써 건축가 등 전통적인 건축서비스산업 종사자 외에 데이터 과학자, 로봇공학자, 인문사회학자 등이 건축서비스산업에 합류하게 되어 이에 대한 고용은 소폭이나마 늘어나게 될 것으로 전망된다. 또 다른 기대적인 전망은 건축서비스 또는 건설 산업 전반의 스타트업 생태계가 활성화되어 신규 고용이 창출되는 것이다.

이와 같은 업무 자동화와 혁신은 건축서비스산업의 대표적인 전문직인 건축사의 법적 업무범위에 대한 끊임없는 물음을 제기하고 조정을 필요로 하게 될 것이다.

[표 4-2] 디지털 기술이 건축서비스산업 일자리에 미치는 영향 전망

구분	증가요인	감소요인	전망
분야 내 인력	• 잠재적 건축 수요 가시화 • 스타트업 생태계 활성화	• 고도화된 업무 자동화	현상 유지
분야 외 인력 유입	• 다학제간 협업의 필요성 증가		소폭 증가

출처: 연구자 작성

이처럼 현재 법률에 따른 건축사의 독점적·배타적 업무영역은 점차 해체될 가능성이 높다고 예상된다. 그러나 한편으로는 여러 산업부문의 디지털 전환으로 인해 건축서비스 산업의 영역은 설계·감리에 국한되지 않고 넓어져 새로운 일자리가 창출될 수 있으며 이는 보다 다학제적인 협업을 요구하는 것이 될 가능성이 많다. 예컨대 공유 오피스 서비스를 제공하는 세계적인 IT 기업인 위워크(WeWork)는 회사 내에 건축가를 고용함으로써 건축사사무소와 같이 전통적인 형태에서 벗어난 새로운 일자리를 창출하고 있다.

이와 같은 건축서비스산업의 미래 일자리 환경 변화는 앞으로의 건축 교육이 근본적으로 변화해야 할 필요가 있다는 점을 시사한다.⁵⁾

5) 김성아 교수는 한 연재글에서 앞으로의 건축사사무소는 새로운 재료와 프로세스를 다루기 위해 변신해야 할 것이며 프로토타이핑과 인터랙션을 위해서 외부 조직과의 협업이 중요해질 것이라 전망한다. 따라서 건축 교육은 “도제적이고 크리틱 중심의 환경에서 벗어나 연구가 통합된 설계프로세스(research integrated design)가 돼야 한다.”고 주장하고 있다(출처: 김성아(2017.10), “4차 산업혁명 시대의 건축설계 교육과 프로토타이핑”, 『건축사』 sno.582, pp.150~159).

제5장 건축서비스산업 미래변화에 따른 정책적 대응 전략

1. 건축서비스사업자의 디지털 기술 도입 촉진
 2. 건축 산업계 교류 촉진을 통한 혁신 생태계 조성
 3. 디지털 전환 촉진을 위한 법·제도적 전략 마련
-

1. 건축서비스사업자의 디지털 기술 도입 촉진

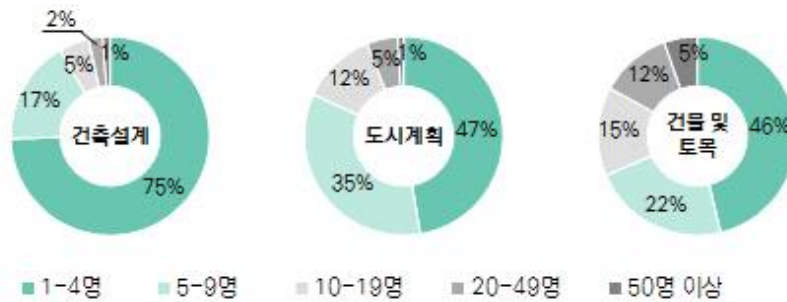
건축서비스산업이 전반적으로 낮은 생산성과 아날로그적인 업무 프로세스에서 탈피하기 위해서는 건축서비스사업자들이 디지털 도구의 유용성을 인식하고 이를 적극적으로 도입할 필요가 있다. 건축서비스산업은 별도의 장비나 시설에 의존하는 것이 아니라 소프트웨어를 핵심 도구로 활용하는 특징이 있으나 우리나라 건축서비스사업자의 전반적인 디지털 전환의 단계는 초보적인 수준에 머물고 있다고 할 수 있다.

우리나라 건축서비스사업자는 소규모 사업체가 다수로 이중에서도 건축설계 및 관련 서비스업의 경우 2015년 기준으로 5인 미만이 75%를 차지하고 있다.¹⁾ 대형 설계사무소의 경우 BIM, AR/VR 등 디지털 도구를 실무에 적용하기 위한 전담 부서 및 인력을 별도로 두는 등 디지털 전환을 위한 시도를 하고 있으나, 업계 대다수인 소규모 건축사사무소의 경우 디지털 도구의 도입에 대한 관심과 의지가 있다 하더라도 소프트웨어 비용이나 직원 교육 및 역량 강화를 위한 시간을 확보하기 어려운 실정이다.²⁾ 특히 BIM의 경우 정책적으로 도입을 권장 및 확대하고 있으나 건축사사무소는 BIM의 효율성에 대해

1) 서수정 외(2017), 「건축서비스산업이 동향 및 실태」, p.51.

2) 건축사사무소 관계자 자문회의 결과를 토대로 작성.

긍정적으로 기대하고 있음에도 불구하고 현재 여건상에서는 이를 실제 활용할 때 업무는 오히려 증가하는 역효과가 나타나는 것으로 조사되고 있다.³⁾



[그림 5-1] 2015년 건축서비스산업 전문분야의 종사자 규모별 사업체수 구성비
(출처: 서수정 외(2017), p.51 [그림 2-15] 일부 발췌)

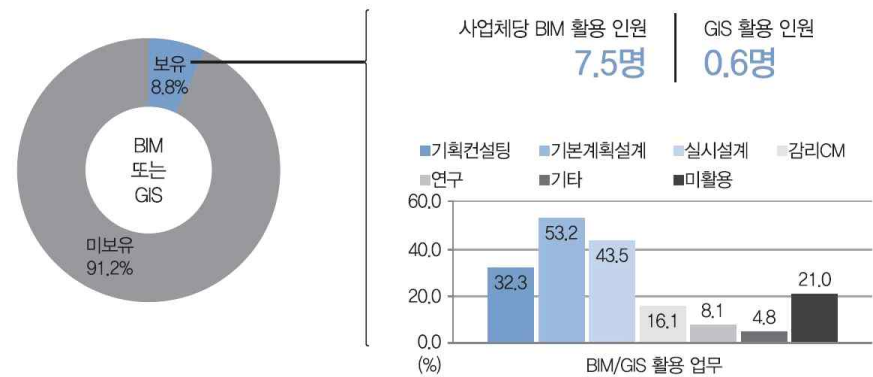
[표 5-1] BIM 도입의 주요 문제점

분야	주요 문제점
조달	■ 전환설계와 같은 기형적인 BIM 수행 시스템 ■ 대형사무소와 중소형사무소간의 인프라 격차 ■ 미흡한 BIM 설계대가기준에 따른 설계비 미지급 ■ 기존 2D설계기반의 행정시스템으로 인한 3D 설계 효율 저하 ■ BIM과 기존 설계도서 작성지침 준수로 인한 이중 업무 부담 ■ 건축설계, 설비, 전기 등 분야별 전문화에 따른 분리발주 ■ 열악한 시장상황으로 인한 BIM 도입비용에 대한 부담 증가 ■ 기존 법규 또는 시행령으로 인한 BIM 적용의 한계 ■ 발주방식의 한계로 인한 설계프로세스 효율성 저하 ■ 불합리한 BIM 발주지침으로 인한 과잉설계 유도 ■ 현실적이고 효과적인 발주지침, 평가, 관리 가이드라인 부재
교육	■ 설계능력과 BIM 운용능력을 겸비한 BIM 전문인력 부족 ■ 관리자(공무원)의 BIM에 대한 인식 부족 ■ 건축주 및 설계자의 BIM에 대한 인식 부족 ■ BIM 교육 프로그램 부족 ■ 대형 사무소 위주의 BIM 전담조직 구성과 교육 진행
유통	■ BIM 데이터 유통체계 준비 미약 ■ BIM 콘텐츠 유통 및 저작에 대한 제도 부재 ■ 저작권에 대한 인식 부족 ■ BIM 데이터 공유에 대한 거부감 ■ 협업과정에서 원활한 데이터 이동 불가 ■ 국내실정에 맞는 라이브러리 부재

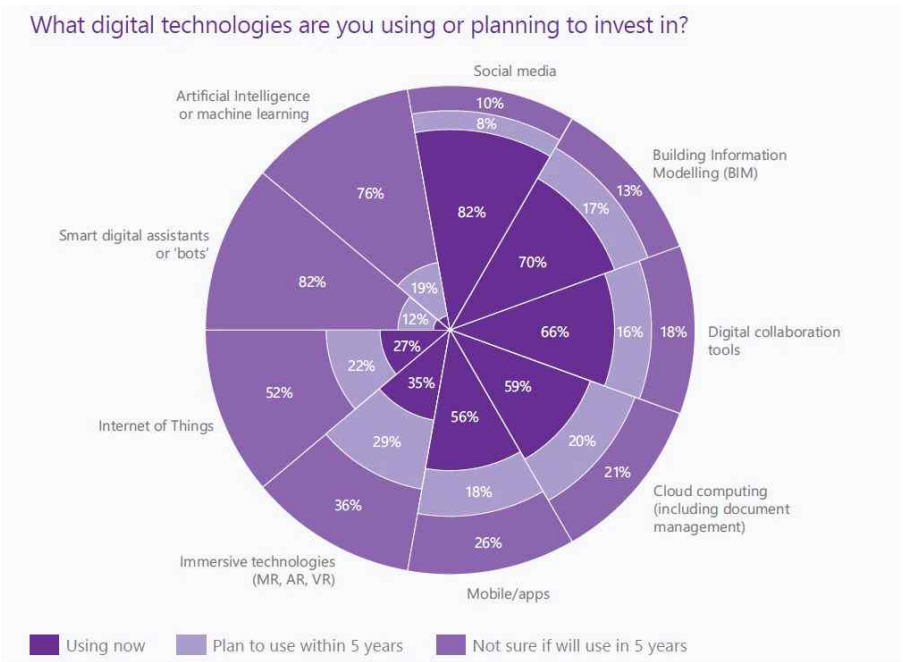
출처: 김용준 외(2016), "건축서비스산업 BIM 도입 및 활용을 위한 중장기 정책제안", 한국CDE학회 논문집 21(4), p.369

3) 김용준 외(2016), "건축서비스산업 BIM 도입 및 활용을 위한 중장기 정책제안", 한국CDE학회 논문집 21(4), p.368.

반면 영국과 같은 건축 선진국의 경우 건축가들이 BIM 뿐 아니라 최근의 AR/VR이나 디지털 협업 도구들을 비교적 적극적으로 받아들이고 있어 국제적인 디지털 격차는 심화될 가능성이 많다. 따라서 건축서비스사업자, 특히 대다수를 차지하고 있는 소규모 건축서비스사업자의 디지털 전환을 위한 전략을 별도로 마련할 필요가 있다.



[그림 5-2] 건축설계 및 관련 서비스업 사업체의 BIM 또는 GIS 활용 여부
(출처: 서수정 외(2018.5.15.), “건축설계산업 동향 및 실태”, 「auri brief」 No.172, p.12)



[그림 5-3] 영국 건축가의 디지털 기술 사용 및 투자 계획 현황
(출처: RIBA·Microsoft, 「Digital Transformation in Architecture」, p.20 Figure 4)

싱가포르 건설부(Building and Construction Authority, BCA)의 경우 건설 생산성 및 역량 강화의 일환으로 BIM 협업을 지원하기 위한 BIM 기금(Building Information Model Fund)을 운영하고 있다. BIM 기금은 설계 단계의 BIM의 도입 촉진과 이를 통한 협업 증진을 위해 교육 훈련, 컨설팅, 소프트웨어 또는 하드웨어에 따른 비용을 지원하며 이를 통해 설계 시 오류와 비용이 많이 소요되는 재작업 등을 줄이는 것을 목적으로 한다. 이 기금은 (Accounting and Corporate Regulatory Authority Singapore, ACRA), 싱가포르 엔지니어협회(Professional Engineers Board Singapore, PEB), 건축사협회(Board of Architects), 또는 건설부에 등록되어 있는 기업으로 현재 또는 향후 BIM을 이용한 프로젝트를 수행하거나 수행할 계획이 있는 기업을 대상으로 한다.⁴⁾

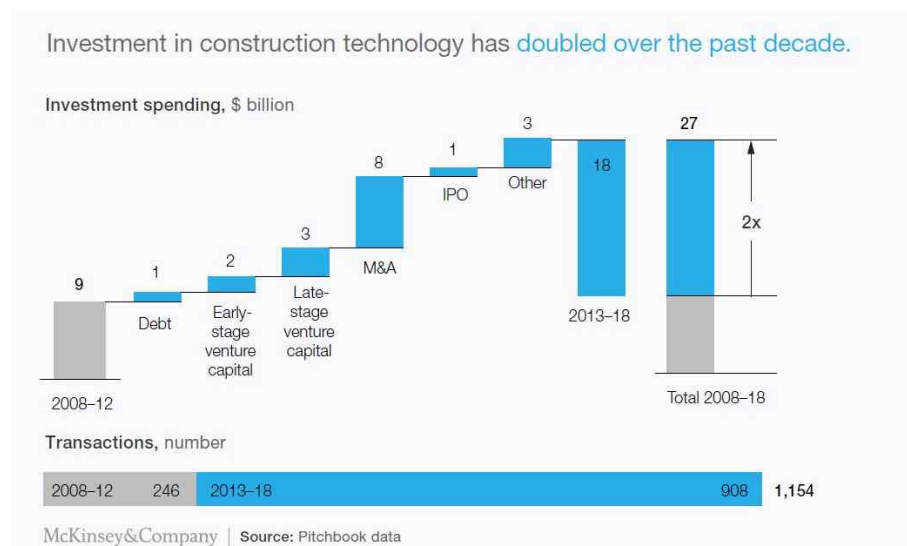
우리나라에서도 BIM 설계 의무대상을 확대하는 정책을 추진하고 있는 만큼 건축서비스 사업자의 디지털 도구 활용 촉진을 위한 지원 기금을 만들어 운영하고 그 효과를 모니터링 해 볼 필요가 있다. 지원 대상으로는 싱가포르의 사례를 참고하여 BIM을 적용하는 프로젝트 추진 시 관련 사업자에게 직원 교육 또는 소프트웨어 사용에 소요되는 비용 일부를 지원하거나, 소규모 초기 창업 기업에게 한시적으로 BIM 또는 AR·VR 등의 소프트웨어 비용을 지원하는 방안을 검토해볼 수 있다.

4) 싱가포르 건설부 홈페이지(<https://www.bca.gov.sg/bim/bimfund.html>, 검색일 2018.12.20) 참고.

2. 건축 산업계 교류 촉진을 통한 혁신 생태계 조성

건축 산업 전반의 생산성 향상의 필요성과 디지털 기술의 발달로 인해 건축 산업의 가치 사슬은 통합되는 추세이며 ICT 산업의 중요성도 점차 커지고 있다. 따라서 무엇보다 건축서비스산업, 건설산업, ICT 산업이 융합된 혁신 생태계 조성이 필요한 시점이다.

앞서 살펴본 바와 같이 미국을 중심으로 건축 및 건설 산업 관련 기술기업은 증가 추세에 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한 선진국에서는 건축·건설 산업이 디지털 고도화가 이루어지지 않은 기회의 영역으로 인식되기 시작한 만큼 건축 기술(Building Tech) 기업 및 스타트업에 대한 투자 생태계도 활성화되고 있는 것으로 보인다. 반면 우리나라의 경우 ICT에 기반을 둔 건축 기술 혁신은 활발하지 않은 것으로 보인다. 일부 건축가 출신의 창업가가 디지털 기술 기업을 창업하는 사례가 생겨나고 있으나 세계적인 추세에 비하면 아직 미약한 수준이며, 건축 산업 내외부의 디지털 전환 필요성에 대한 인식 수준으로 미루어 볼 때 이와 같은 소수 사례의 지속가능성을 담보하기 어렵다. 우리나라의 건축 기술 혁신은 정부 주도의 R&D로 추진되는 경향이 강하나 이를 통해서도 산업 현장으로 디지털 기술이 빠르게 도입되는 어려우며, 건강한 기술 혁신 생태계가 조성되지 않는다면 건축 산업에서 선진국과의 디지털 격차는 더욱 벌어질 수밖에 없을 것이다.

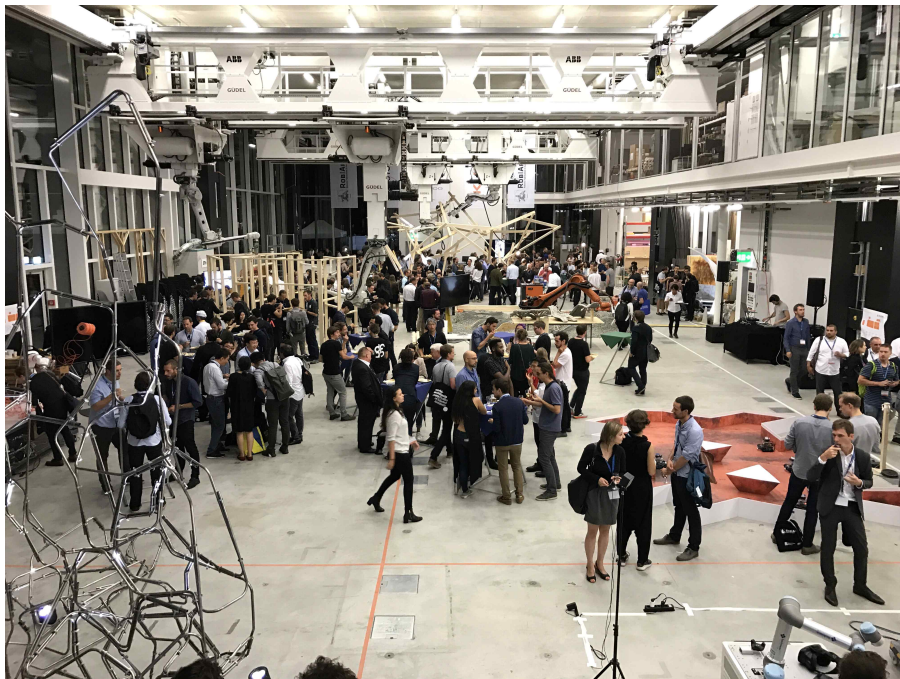


[그림 5-4] 2008년~2018년 사이 건설 기술 투자금액 변화

(출처: McKinsey&Company(2018.10), p.6 Exhibit 2)

건축 산업 혁신 생태계의 선순환 구조를 정착시키기 위해서는 연구·교육, 실무 협업, 투자가 함께 이루어지는 열린 플랫폼이 필요하다.

스위스 국가과학재단은 과학, 비즈니스 및 사회의 미래를 위해 전략적으로 중요한 분야의 연구를 지원하는 NCCR(the National Centres of Competence in Research) 프로그램을 운영하고 있는데, 건축 산업에서의 디지털 제조(Digital Fabrication)를 이 중 하나로 선정하여 취리히 공과대학에 기반을 둔 NCCR Digital Fabrication을 설립·지원하고 있다. NCCR Digital Fabrication은 건축 설계 및 구조, 재료 과학, 컴퓨터 과학, 제어 시스템 공학, 로봇 공학 등 다학제간 융합 연구를 추진 중이며, 대학에 기반을 두고 있는 만큼 이 분야의 연구자들을 지속적으로 배출하고 있다. 또한 국제 컨퍼런스 등을 통해 전 세계의 건축, 로봇공학 등 다분야 연구자 및 산업체 관계자들이 모이는 열린 플랫폼으로서의 역할도 도모하고 있다. 우리나라도 이를 참고하여 건축 교육과 연구가 자연스럽게 연계될 수 있도록 R&D 사업의 형태를 개선해나갈 필요가 있다.



[그림 5-5] 스위스 NCCR Digital Fabrication에서 개최된 국제 컨퍼런스
(출처: 연구자 직접 촬영, 2018.9.13)

실무 차원에서 산업 간 협력을 위해서는 건축사사무소 등 건축서비스사업자와 빅데이터, 인공지능, 3D 프린팅, 로봇 등 ICT 기업이 함께 교류하여 시너지를 낼 수 있는 공간을 마련할 필요가 있다. 「건축서비스산업 진흥법」에 ‘건축서비스산업 진흥시설’ 지정 및 지원에 관한 근거가 마련⁵⁾되어 있으나 현재까지 지정된 사례가 없는 실정이며, 지정 요건도 5인 이상의 건축서비스사업자가 입주하는 것으로 되어 있어 협업 생태계를 구축하는 데에는 효과적이지 않다. 건축서비스산업의 디지털 전환을 촉진하기 위해서는 건축서비스사업자가 집중적으로 모여 있기보다는 건축서비스사업자와 디지털 기술 기업이 함께 모이도록 전략을 바꿀 필요가 있다.

이러한 진흥 시설은 건축 기술에 대한 투자가 연계되는 플랫폼으로 확대될 수 있으며, 정부 차원에서는 디지털 기술 기반의 건축 기술에 투자하는 펀드를 조성하여 운영하는 방안도 검토할 수 있다.

5) 「건축서비스산업 진흥법」 제16조(건축서비스산업 진흥시설의 지정 등).

3. 디지털 전환 촉진을 위한 규제 개선 및 기준 정립

건축 산업 전반의 생산성 향상과 디지털 전환을 촉진하기 위해 정부는 규제 개선이 필요한 사항을 빠르게 파악하고 개선해야 한다.

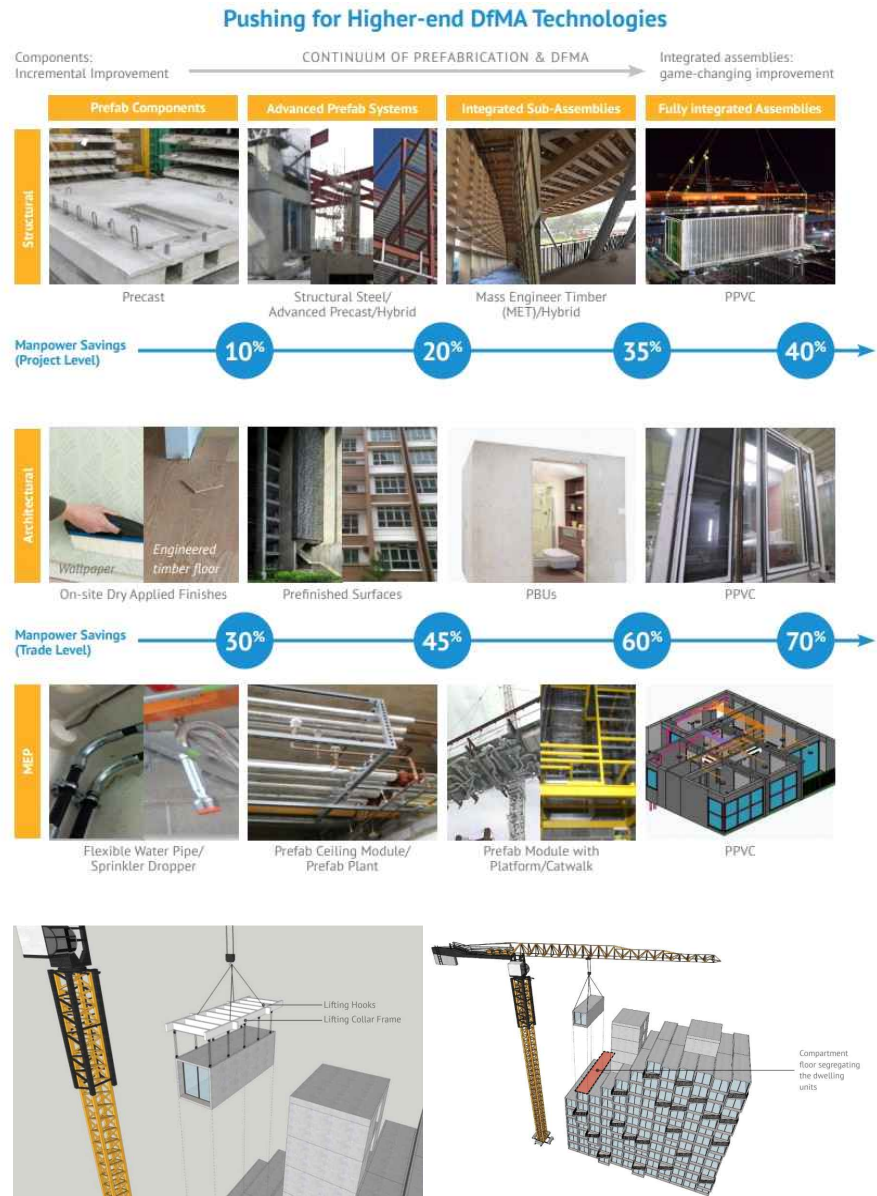
최근 디지털 제조 기술의 발달로 프리패드, 모듈러 건축 방식이 이전과는 달리 부가가치를 높일 수 있는 가능성을 갖게 되었고, 이에 적합한 건축 재료의 도입도 활발해지고 있다. 따라서 건축 허가와 관련된 규제는 새로운 건축 재료 및 공법을 수용할 수 있도록 여지를 두거나 그렇지 못한 경우에는 신속하게 개선해야 한다.

싱가포르는 선진화된 건축 기술 도입에 가장 앞서 있는 나라로 평가받고 있다. 예컨대 습식 콘크리트 공법에 비해 공장 제작을 통해 빠른 시공이 가능한 크로스 라미네이팅 목재(Cross-Laminated Timber, CLT)는 그 유용성에도 불구하고 우리나라를 비롯하여 많은 나라에서 화재 위험의 이유로 고층 건축물에 적용할 수 없도록 되어 있다. 싱가포르의 경우 본래 12미터 이상의 구조물에 목재 사용을 금지하는 규제를 재고하여, 그 기준을 먼저 24미터 이상으로 높였고, 지금은 결과 또는 성능 기반 규제((Outcome/Performance based regulation)로 바꾸어 강 구조물과 같은 성능을 충족하는 경우 높이 제한을 두지 않고 있다.⁶⁾

이에 더하여 싱가포르는 건축물 설계에 있어도 프리패브리케이션 방식과 같이 건설이 용이한 디자인을 채택하도록 빌더블 디자인(Buildable Design)에 관한 원칙과 제도적인 기준을 마련하고 있다. 빌더블 디자인은 건설이 용이한 설계를 도모하고 숙련 기술자에 의존성을 줄여 시공 품질을 개선하는 것을 목표로 한다. 빌더블 디자인의 원칙은 표준화(Standardisation), 단순성(Simplicity), 단일 통합 요소(Single integrated elements) 3가지이다. 표준화는 제조 과정과 시공 단계를 신속하게 진행할 수 있고, 단순성은 복잡하지 않은 빌딩 시스템 및 설치를 의미하는 것으로 DfMA(Design for Manufacturing and Assembly Technologies) 기술 또는 조립식 구조를 사용해 현장에서의 생산성을 높이는 데 기여한다. 단일 통합 요소는 서로 연결된 요소들을 하나로 통합하여 공장에서 사전 제작하고 사이트에 설치하는 방식이다. 싱가포르에서는 신축, 리노베이션 및 증·개축 공사의 경우 바닥면적이 2,000제곱미터 이상인 건물은 모두 최소한의 빌더블 디자인 점수를 충족시켜야 한다. 빌더블 디자인 점수는 기본적으로 인력

6) McKinsey&Company(2017.2), *Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity* p.67 내용을 참고하여 작성.

소요 정도를 기반으로 산정이 되는데 첫째 구조 시스템, 둘째 벽체 시스템, 셋째 DfMA 기술 등으로 구분되며 건축물 용도에 따라 그 기준을 달리 정하고 있다.⁷⁾



[그림 5-6] DfMA 기술 개요 및 예시

(출처: Singapore Building and Construction Authority(?), 『Design for Manufacturing and Assembly』, p.7, p.27, p.37 그림 편집)

7) Singapore Building and Construction Authority(2017), *Code of practice on buildability, 2017 edition*, p.8.

[표 5-2] 모든 건축물 신축 시 적용되는 빌더블 디자인 최소 점수

구분	빌더블 디자인 최소점수		
	상부구조물		하부구조물
	2,000㎡ ≤ GFA(총 바닥면적) < 5,000㎡	5,000㎡ ≤ GFA < 25,000㎡	GFA ≥ 25,000㎡ GFA ≥ 2,000㎡
주택(사유)	73	78	81
주택(공동주택)	80	85	88
상업	82	87	90
산업	82	87	90
학교	77	82	85
공공기관 및 기타	73	79	82

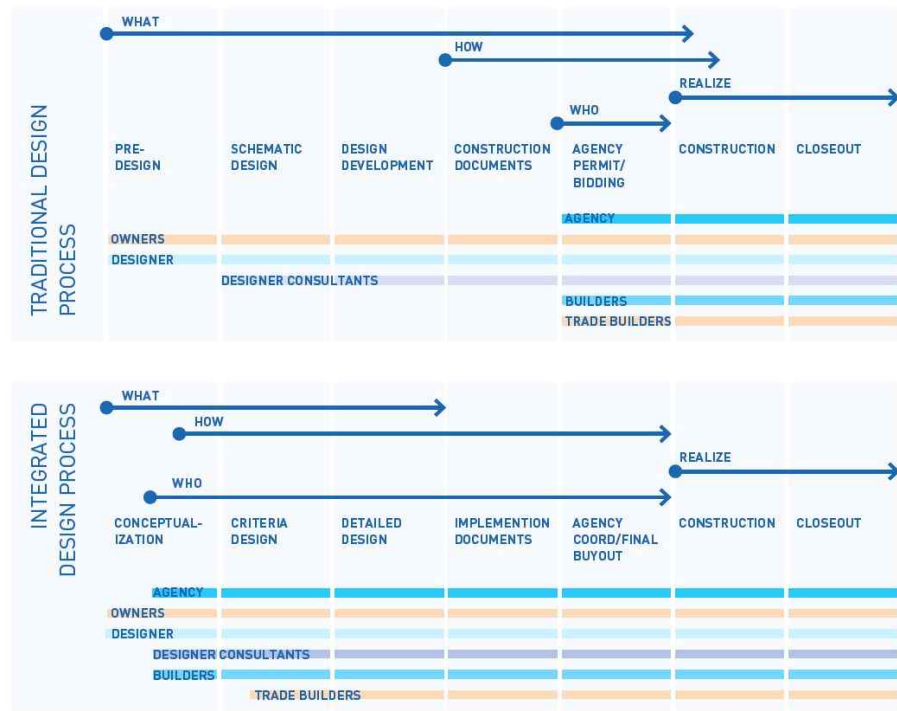
출처: Singapore Building and Construction Authority(2017), Code of practice on buildability, 2017 edition, p.8.
Table B, C 재구성

한편 디지털 기술의 발달로 건축 산업의 계획-설계-시공-운영관리에 걸친 가치사슬이 통합되는 추세가 이어질 것으로 예상되나 우리나라의 경우 설계·시공 겸업이 엄격하게 제한되어 있다. 이와 같은 제도의 타당성에 대해서는 보다 면밀한 검토가 필요하나 건축 공사에 참여하는 설계자, 시공자 간 협력을 도모하기 위한 발주방식의 개선은 적극적으로 강구할 필요가 있다.

“Integrated Project Delivery(IPD)”⁸⁾는 이러한 가치사슬 통합을 실행하기 위한 발주 방식으로 미국을 중심으로 자리잡아가고 있다. IPD는 사람, 시스템, 비즈니스 구조 및 실행을 하나의 프로세스로 통합하는 프로젝트 수행방법으로 모든 참여자의 재능과 통찰력을 활용하여 설계, 제조, 건설 등 모든 단계에 걸쳐 프로젝트 결과를 최적화하고, 소유주의 가치를 높이며, 낭비를 줄이고, 효율성을 극대화하는 방식이다.⁹⁾ 전통적인 건설 사업 수행체계는 각각의 단계별로 서로 다른 참여자가 업무를 수행하던 방식인데 반해, IPD는 사업 초기단계에서부터 프로젝트 이해관계자가 참여하여 함께 문제를 해결하는 방식이다. 이와 같이 프로젝트 초기 설계 단계에서부터 다양한 전문가가 참여하게 되면 초기 설계기간은 길어지나 이후의 작업들은 단축되고 시공 단계에서의 설계 변경 등에 따른 리스크도 줄어들게 된다. 발주자, 설계자, 시공자 등 참여자들은 특수목적회사를 설립하여 업무에 따른 수익과 리스크를 분담한다.¹⁰⁾

8) IPD는 기존 문헌에서 통합프로젝트발주방식, 프로젝트 통합발주체계 등으로 번역되고 있어 혼돈은 피하기 위해 따로 번역하지 않음.

9) AIA California Council(2014.7.15), *Integrated Project Delivery*(Version 3).



[그림 5-7] 전통적인 디자인 프로세스와 통합디자인 프로세스(IPD) 비교
(출처: AIA California Council(2014.7.15), *Integrated Project Delivery*(Version 3))

이처럼 건축 산업에서 디지털 전환과 혁신을 위해서는 디지털 기술의 도입·활용으로 인한 건축 프로세스의 실질적인 변화가 나타나야 하며, 건축 초기 단계에서부터 건축, 건설, IT, 설비 등의 기업들이 보다 협력적으로 프로젝트를 진행하도록 담보할 수 있는 발주방식에 대한 고려와 개선이 필요하다.

10) 김예상(2011.6), “‘프로젝트 통합발주체계(Integrated Project Delivery)’의 개념과 실제”, 「건설관리」 제 12권 제3호 참고.

-
- 국가건축정책위원회(2016), 「건축산업의 미래이슈와 대응전략 연구」.
- 국가법령정보센터(<http://www.law.go.kr/>), 「건축서비스산업 진흥법」.
- 국토교통부(2010), 「건축분야 BIM 적용 가이드」.
- 국토교통부·국토교통과학기술진흥원(2013), 「2040 국토교통 미래기술예측조사」.
- 관계부처 합동(2017.11), “혁신성장을 위한 사람 중심의 4차 산업혁명 대응계획”.
- 관계부처 합동(2018.6.28.), “건설산업 혁신방안”.
- 건축도시공간연구소(2015), 「건축서비스산업의 가치」.
- 김상호 외(2016), 「건축사 사업모델개발 및 지원방안에 관한 연구」, 대한건축사협회.
- 김상훈(2017.5), “4차 산업혁명 - 주요 개념과 사례 -”, 「산업경제」, 산업연구원.
- 김성아(2017), “제4차 산업혁명과 건축서비스산업의 진화”, 「건축과 도시공간」 Vol.28, 건축도시공간연구소.
- 김성아(2017.10), “4차 산업혁명 시대의 건축설계 교육과 프로토타이핑”, 「건축사」 sno.582, pp.150~159.
- 김석관 외(2017), 「4차 산업혁명의 기술 동인과 산업 파급 전망」, 과학기술정책연구원.
- 김승현·김만진(2016), 「차세대 생산혁명에 대비한 제조업 혁신정책과 도전과제」, 과학기술정책연구원.
- 김용준 외(2016), “건축서비스산업 BIM 도입 및 활용을 위한 중장기 정책제안”, 한국CDE학회 논문집 21(4).
- 김예상(2011.6), “‘프로젝트 통합발주체계(Integrated Project Delivery)’의 개념과 실제”, 「건설관리」 제12권 제3호.
- 김인한(2010), ‘BIM의 개념과 역사’, 「건축」 제54권 제1호. 대한건축학회.
- 딜로이트(2017.2), “인더스트리 4.0과 디지털 트윈”.

랜드북 홈페이지, <https://www.landbook.net>.

리처드 서스킨드·대니얼 서스킨드(2015), 「4차 산업혁명 시대 전문직의 미래」, 위대선 옮김, 와이즈베리.

머니투데이 기사(2016.8.20.), “‘집 지으면 10년 늙는다?’...완공 앞두고 닥친 난관“.

박정수(2015), “건축서비스산업의 산업적 역할과 향후 과제”, 「건축과 도시공간」, Vol.19, 건축도시공간연구소, p.016~019.

송성수(2017.2.), “역사에서 배우는 산업혁명론: 제4차 산업혁명과 관련하여”, STEPI Insight Vol.207, 과학기술정책연구원.

서수정 외(2017), 「건축서비스산업의 동향 및 실태」, 건축도시공간연구소.

서수정 외(2018.5.15), “건축설계산업 동향 및 실태”, 「auri brief」 No.172, 건축도시공간연구소.

아시아경제(2018.4.5.), “건설업 저생산성, 낙후된 발주시스템이 원인...발주방식 개선해야”.

은용순 외(2013), “사이버물리시스템 연구 동향”, 「정보과학회지」 31(12), 한국정보과학회, pp.8~15.

유광흠 외(2014), 「건축서비스산업 통계 구축 및 실태조사 연구」, 국토교통부.

윌리엄 홀스타인(?), “버추얼 싱가포르 주민, 기업, 정부의 경험 향상을 위해 인텔리전트 3D 모델 제작”, COMPASS(다쏘시스템즈 매거진).

이강민 외(2015), 「건축사의 호칭과 업무의 제도적 형성에 관한 연구」, 건축도시공간연구소.

이상현(2002), 「철 건축과 근대건축이론의 발전」, 발언.

이주성 외(2018), “해외 BIM 트렌드 및 국내 비전 전망”, 한국건축시공학회지, 제18권 제2호.

장윤종 외(2017), 「4차 산업혁명의 글로벌 동향과 한국산업의 대응전략」, 산업연구원.

장윤종·김석관 외(2017), 「제4차 산업혁명의 경제사회적 충격과 대응 방안: 기술과 사회의 동반 성장을 위한 정책 과제」, 제1권, 경제·인문사회연구회.

조재용(2017), 「4차 산업혁명에 따른 일본건설산업의 대응 전략 및 시사점」, 대한건설정책연구원, 건설정책리뷰.

조지 웨스터먼 외(2014), 「디지털 트랜스포메이션」, 최경은 옮김, e비즈북스.

최병삼 외(2017.6.30), “제4차 산업혁명의 도전과 국가전략의 주요 의제”, STEPI Insight Vol.215, 과학기술정책연구원.

클라우드 슈밥(2016), 「4차 산업혁명」, 새로운현재, 송경진 역.

클라우드 슈밥 외 26인(2016), 「4차 산업혁명의 충격」, 포린 어페어스 엮음, 김진희 외 옮김, 흐름출판.

한국국토정보공사(2016), 「대한민국 2050 미래 향해」.

현대경제연구원(2014.04.14.), 「서비스업 노동생산성 현황과 시사점」.

4차산업혁명위원회(2017.10), “4차 산업혁명 대응을 위한 기본 정책방향”.

4차산업혁명위원회(2018.1), “스마트시티 추진전략”.

Aditazz, <http://www.aditazz.com>.

Ai-Build, <https://ai-build.com>.

AIA California Council(2014.7.15), *Integrated Project Delivery*(Version 3).

Apis Cor, <http://apis-cor.com/en>.

Archbazar, <https://www.archbazar.com>.

Archdaily, <https://www.archdaily.com>.

Architizer, <https://architizer.com>.

Arup Foresight(2013), *It's Alive: Can you imagine the urban building of the future?*

Arup Foresight(?), *Cities Alive: 100 issues shaping future cities*.

Autodesk, <https://www.autodesk.com>.

Autodesk research, <https://autodeskresearch.com>.

Boston Consulting Group(2016.3), *Digital in Engineering and Construction: The Transformative Power of Building Information Modeling*.

Boston Consulting Group(2017.2), *The BIM Revolution Comes to Building Materials*.

Boston Consulting Group(2018), *Will 3D Printing Remodel the Construction Industry*.

BMBF(Federal Ministry of Education and Research)(2013), *Recommendations for implementing the strategic initiative INDISTRIE 4.0*.

Branch Technology, <https://www.branch.technology>.

BUILDING DESIGN+CONSTRUCTION(2017.8.28.), "3D scanning solution brought in to beat the heat on challenging fuel pipe demolition and replacement project".

CITYLAB(2018.6.25.), "Can Silicon Valley Disrupt How We Build?".

Connect&Construct(2018.4.13.), "Reality Capture Technologies Construction Managers need to Know".

Cover, <https://www.cover.build>.

Crunchbase, www.crunchbase.com

Danil Nagy et al.(2017), "Project Discover : An Application of Generative Design for Architectural Space Planning", autodeskresearch.

Dassault System(2017.6.29.), "AEC Industry Trends: Driving Toward Connection, Digitization, Transformation".

David Celanto(2007), "Innovate or Perish: New Technologies and Architecture's Future", 「Harvard Design Magazine」, No.26.

DesignBlendz Blog(2018.8.17.), "6 IMPORTANT AEC INDUSTRY TRENDS IN TECHNOLOGY"

Dodge Data & Analytics(2016), "Connecting Design and Construction", Autodesk.

Encyclopaedia Britannica, <https://www.britannica.com>.
 Gartner IT Glossary, <https://www.gartner.com/it-glossary>.
 Gleb B.(?), “VR vs AR vs MR: Differences and Real-Life Applications”.
 Houzz, <https://www.houzz.com>.
<https://archpaper.com/2017/05/envelope-startup-zoning/>.
<https://atlasofthefuture.org/project/flux-google/>.
<https://daqri.com/worksense>.
http://dfabhouse.ch/in_situ_fabricator.
<http://digital-grotesque.com/images.html>.
<https://futurebuildings.labworks.org>.
<https://searcherp.techtarget.com/definition/digital-modeling-and-fabrication>.
<https://techcrunch.com/2018/06/11/by-automating-code-compliance-upcodes-ai-is-the-spellcheck-for-buildings>.
<https://web.archive.org/web/20141016190503/http://www.nationalbimstandard.org/faq.php#faq1>.
<https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-architectural-services-market>.
<https://www.iconbuild.com/new-story>.
<https://www.technavio.com/report/global-architectural-services-market-analysis-share-2018>.
 Industrial Cyber-Physical Systems Center (iCyPhy), <https://ptolemy.berkeley.edu>.
 Institute for Computational Design and Construction, University of Stuttgart, <https://icd.uni-stuttgart.de>.
 IrisVR, <https://irisvr.com>.
 IrisVR blog, <https://blog.irisvr.com/blog/case-study-studio-mb>.
 Kasita, <https://kasita.com/>
 Katerra, <https://katerra.com>
 Klaus Schwab(2016.1), “The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond”, World Economic Forum.
 LG CNS, IT Insight(2017.4.19.), “Digital Transformation, 어떻게 시작할까?”
 Modelo, <https://modelo.io>.
 Modumate, <https://www.modumate.com>.
 NASA, <http://www.nasa.gov/3DPHab>

OECD(2016), "ENABLING THE NEXT PRODUCTION REVOLUTION: THE FUTURE OF MANUFACTURING AND SERVICES – INTERIM REPORT".

Olivia Jia(2018.10.23.), "Can Future Cities be Timber Cities? Google's Sidewalk Labs Asks the Experts", ArchDaily.

Olivia Solon(2013.3.13.), "Digital fabrication is so much more than 3D printing", WIRED.

Plangrid, <https://www.plangrid.com>.

Plant prefab, <https://www.plantprefab.com>.

Maree Conway(2014), *Foresight: an introduction, Thinking Futures*.

Matt Alderton(2018.1.16.), "5 Technology Innovations Can Help Your Architecture Practice Work Smarter".

McKinsey&Company(2016.6), *Imagining construction's digital future*.

McKinsey&Company(2017.2), *Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity*.

McKinsey&Company(2018.10), *Seizing opportunity in today's construction technology ecosystem*.

Microdesk(2018), "The Top 3 Technologies That Will Impact AEC in 2018".

NCCR digital fabrication, <http://www.dfab.ch>.

Rhumbix, <https://rhumbix.com>

Sidewalk Labs(2017.10.17.), *Vision Sections of RFP Submission(RFP No. 2017-13)*.

Siemens 유튜브 동영상(2010.10.22.), "Smart buildings – the future of building technology".

Siemens Switzerland(2016), "Building information modeling(BIM): The holistic view by Siemens".

Siemens(2018), "The Future of Smart Buildings".

Singapore Building and Construction Authority(2017), *Code of practice on buildability, 2017 edition*.

UpCodes, <https://up.codes>.

Webuildhomes, <https://www.webuildhomes.nl>.

World Economic Forum(WEF), <http://weforum.org>.

WEF(2016.5), Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology.

WEF(2017.2), Shaping the Future of Construction: Inspiring innovators redefine the industry.

WEF(2016), The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the

Fourth Industrial Revolution.

WEF(2018), The Future of Jobs Report 2018.

WikiHouse Foundation(2018), "Build x"(Version 0.5).

WikiHouse Foundation, <https://wikihouse.cc>.

Wikipedia, <https://en.wikipedia.org>.

Prospects of Future Changes in the Architectural Service Industry according to the Fourth Industrial Revolution

SUMMARY

Jin, Teseung
Kim, Shinsung

This study was designed to present a policy response strategy for the promotion of the architectural service industry based on the comprehensive analysis of how the phenomenon called the 4th Industrial Revolution will affect the architectural service industry.

The 4th Industrial Revolution is not a complete discussion of it or a clear vision of the future, it is an ongoing process. Therefore, this research focused on the digital transformation of the architectural service industry as a process of implementation, focusing on the usefulness and influence of the 4th Industrial Revolution, as outlined in the preceding study, rather than discussing the differences or exploring the ideal orientation in a straightforward manner.

The architectural industry has chronic problems such as the opacity and risk of the business process due to the inaccuracies of the initial plan, low labor productivity, analog knowledge transfer systems, and inaccessible services. The architectural service industry can generate productivity and higher value added through the process of digital switching, while it needs to respond to social, economic, and environmental future

changes such as urban population growth, housing price increase, low growth economy, climate change, and depletion of natural resources.

The architectural service industry technology trends can be summarized in five categories, 'Automation of Planning and Design' by architectural service level, 'development of immersive experience technology as a communication tool, 'transfer to digital manufacturing method', 'Operation Management through Digital Twin' and 'extension of BIM as a system integration tool for the entire construction process'. At the architectural planning and design stage, attempts are being made to dramatically reduce the time and effort required to automate or autonomous the legal review and design process through digital technology into data-driven. As an efficient communication tool at the architectural design and construction stage, immersive experience technologies such as VR/AR are replaced by drawings and models and are utilized and newly developed for architectural presentation, review of design plans and construction monitoring within the work team. Research and implementation of digital manufacturing, such as 3D printing, continues at the construction stage, and is expected to be a driving force for the growth of the building industry in many ways, including implementation of innovative architectural designs, advanced custom production, environmental benefits through saving time through saving building materials, and securing accuracy due to autonomous construction. Although the digital twin is relevant and can be implemented at all stages, it is likely to be used in particular in order to optimize energy use and to determine the maintenance and remodeling of older facilities during the operational management phase. BIM is an integrated tool for collecting and communicating data generated throughout the construction process, and its concept and scope are gradually expanding.

On the other hand, based on a survey of technology companies' trends in architectural services through the CrunchBase, which provides the latest technology firm database, the technology firms involved in architectural services can typically be divided into five categories, depending on the scope of their activities: 'Prefabricated design-builds', 'plan and design support software', 'construction management support software' and '3D printing' and 'architectural service connectivity platforms'. This is the case for a 'prefabricated' firm, which is based on the pre-fabrication and modular construction method, seven out of 35 companies surveyed in a package of design-to-construction. Among them, Katterra is an overwhelmingly large company with both investment

inducement and annual profits, and its business model continues to thrive, integrating the value chain of design, material logistics, and construction based on digital technology. In the 'Planning and Design Supporting Software' category, companies that review legal and real estate values through big data and AI technologies or support 3D modeling or immersive technology (VR, AR, MR) are included. In order to improve the efficiency of construction management at the construction stage, companies in the "Software for Construction Management" sector support digital tools for managing and collaborating various information produced at the overall project stage or recording of drawings, photographs, site records, etc. These companies are already recognized for their wide range of activities and growth potential in the market. A "architecture service connection platform" is a platform that provides materials and products for design and construction, and a service that connects designers or products from consumers, but it is meaningful to facilitate the delivery of architectural services – architectural customers and architectural service providers. Although 'Digital Manufacturing such as 3D Printing' is realizing a radically different design than before, it has yet to prove its success in the market.

Based on these technology trends, the productivity and efficiency of architectural services will continue to improve and transform into more user-centric services. In addition, the integration of the value chain of the architectural service industry, driven by digital technology, can bring major and minor changes to the existing industrial ecology, which can be predicted by several scenarios depending on how quickly the technology-employee and builders accept digital technology and succeed in switching to digital. If the digital transformation of construction service providers and construction companies is carried out together, the productivity and efficiency of the entire industry will gradually increase without significant changes in the existing industrial structure and while maintaining positive cooperation. In the second case, construction service providers have a faster digital conversion rate while builders are slow. While the digital capabilities of the construction service provider are strengthened, if the digital capabilities of the construction service provider fail to meet the requirements of the architectural service provider, architects and others will lead and manage the overall construction project, and if possible, they will be able to carry out all processes from planning to completion of the building without the contractor, along with digital application technology suppliers such as 3D printing. Building service

providers have recently created a team dedicated to digital technology solutions within a firm, or, even a minority, start a new technology company derived from a company, and architects are trying to start a technology-based business. The third scenario is when the digital transformation of the contractor is rapid, while the change in the architectural service provider is slow. The contractor will employ architects within the firm for productivity and quality innovation, or buy several architectural firm offices to carry out the project in an integrated manner. If the project can be carried out without an architect under the system, the contractor may be able to work with the design automation software provider. That would reduce the role of architects across all phases of the project and take the initiative in the project to constructors. In general, construction service operators' capital size is significantly larger than that of architectural service providers, and recent investments in construction technology have increased dramatically, according to McKinsey & Company (2018.10) report, spending on construction technology has doubled between 2008 and 2012.

Judging from what you are doing, this possibility is compelling. Finally, both the construction service provider and the construction company's digital switchover is delayed. At this point, IT-based solution companies looking for opportunities in underdeveloped industries can emerge as new entrants, potentially transforming their industry structures. The possibility that they will lead the architectural design market with abundant data is not ruled out.

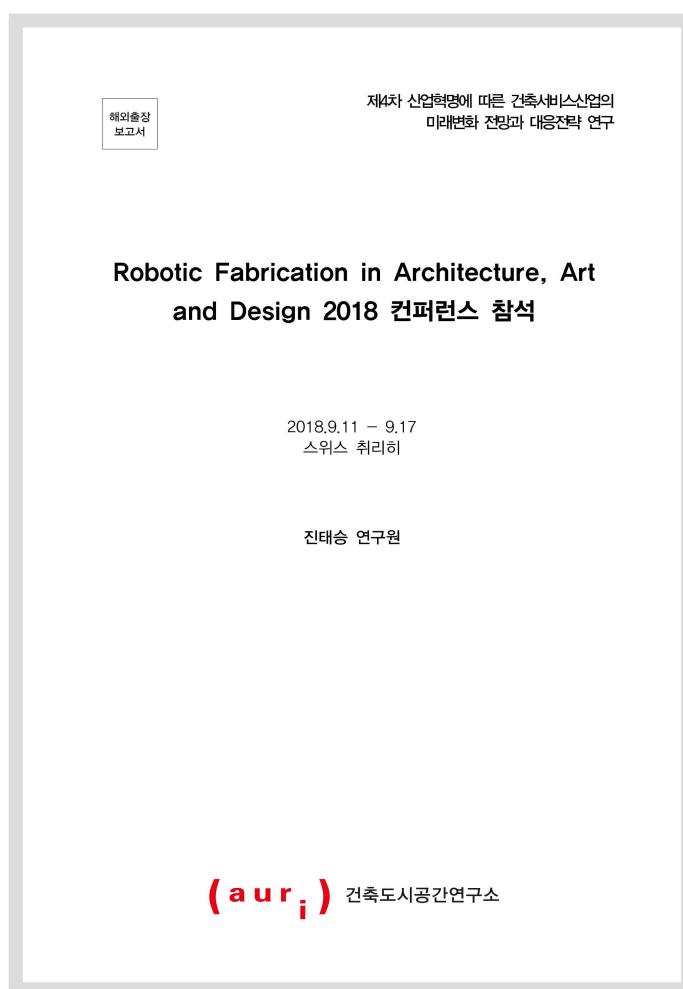
To counter this change, the government first needs to support the adoption of digital technology by architectural service providers, as in Singapore. In addition, innovative ecosystems for digital switching should be created by facilitating exchange between related industries so that research, education, practice and investment can be made together. Finally, as the architectural industry is digitized, it is necessary to allow room to accommodate new building materials and construction methods or to quickly identify and take action to improve regulations.

Keywords :

the Fourth Industrial Revolution, Architectural Service Industry, Prospects of Future Change

부록. 국외출장 보고서

(Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design 2018 컨퍼런스 참석)



차 례

1. 출장 개요	1
2. 출장 결과	3
1) NCCR Digital Fabrication 관계자 면담	3
2) ROB ARCH 2018 컨퍼런스	8
3) NEST 건축물 답사	13
3. 출장 성과 및 시사점	16
 [부록] 취득자료	 1

1. 출장 개요

1) 출장 목적

- ROB | ARCH(Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design) 2018 컨퍼런스 참석 및 스위스 NCCR(the National Centre of Competence in Research) Digital Fabrication 방문을 통해 디지털 건축 동향 조사
- 세계 각국의 대학, 국제 건축로봇협회(the Association for Robots in Architecture), 관련 산업체가 공동으로 주최하는 컨퍼런스로 건축 산업에서 가속화되고 있는 로봇을 활용한 디지털 건축 최신 동향 파악
- 이번 컨퍼런스 주관기관인 스위스 the National Centre of Competence in Research(NCCR) Digital Fabrication 관계자 면담을 통해 건축 분야의 디지털 제작 기술에 관한 연구 동향 조사

2) 주요 업무수행

- ① NCCR(the National Centre of Competence in Research) Digital Fabrication 관계자 면담(9.11, 9.15)
 - NCCR Digital Fabrication은 스위스 국가과학재단(the Swiss National Science Foundation)의 지원으로 설립된 건축 전문 연구기관으로 건축 분야의 디지털 제작(Digital Fabrication) 증진을 위한 융합 연구 추진
 - 위 기관의 중점 연구분야 및 정부 지원사항, 건축 분야에서 로봇 기술을 활용한 디지털 제작(Digital Fabrication) 관련 연구 동향, 연구성과 확산 방안 등에 관한 조사 및 자문
- ② ROB | ARCH 2018 컨퍼런스 참석(9.12~9.14)
 - 「Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design 2018」 컨퍼런스 논문 및 주제 발표에 참석하여 건축 분야의 로봇 공학 및 디지털 기술 적용에 관한 최신 동향 조사

- ▶ 「Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design」 컨퍼런스
- 세계 각국 대학, 산업계, 국제 건축로봇협회(the Association for Robots in Architecture)가 공동으로 주최
 - 건축 산업 및 디자인 등 창의적 분야에서 로봇 공학과 디지털 기술을 통한 발전 가능성을 탐구하고 이와 관련 연구자 및 기업 간 국제 네트워크를 증진하는 것을 목적으로 함
 - 2012년을 시작으로 2년마다 개최되고 있으며, 올해는 스위스 NCCR Digital Fabrication과 ETH Zurich(스위스 연방 공과대학)이 주관하여 진행
 - * 2012년 개최: 유럽(오스트리아, 네덜란드 등)/ TU Graz, TU Vienna, TU delft
 - * 2014년 개최: 미국/ University of Michigan's Taubman College
 - * 2016년 개최: 호주/ University of Sydney
 - * 2018년 개최: 스위스/ NCCR dfab, ETH Zürich
 - * 2020년 개최(예정): 중국/ Tsinghua University
 - 올해 컨퍼런스 주제는 "RADICAL CROSS-DISCIPLINARITY"(서로 다른 학문간 근본적인 연결과 조합)로 건축 분야에서 물리학 기술과 디지털 기술의 융합과 관련한 연구 논문과 영상 제작물을 발표

③ NEST(Next Evolution in Sustainable Building Technologies) 건축물 답사(9.15)

- 스위스 연방 재료 과학 및 기술 연구소(Empa) 내에 디지털 제작(digital fabrication), 모듈라프리패브 건설 기술 등 최신 연구결과를 적용 및 실험하기 위해 제작된 건축물인 NEST Building 답사

3) 주요 일정

일 자	현지시간	출발지	도착지	일 정
9.11(화)	10:20~18:15	인천	취리히	출국
9.12(수)	10:00~13:00	취리히		[기관 면담] NCCR Digital Fabrication 관계자 면담
	16:00~19:00			
9.13(목)	09:00~19:30			[컨퍼런스 참석] ROB ARCH 2018 컨퍼런스 참석
9.14(금)	09:00~18:00			
9.15(토)	09:00~15:00	취리히 ↔ 뉘른도르프		[답사] NEST 실증 건축물 답사
9.16(일) ~ 9.17(월)	10:55~08:20	취리히	인천	귀국

2. 출장 결과

1) NCCR Digital Fabrication 관계자 면담

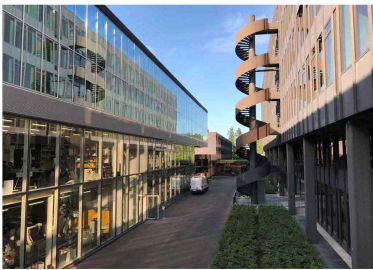
□ 면담 개요

- 일 시 : 2018.9.12(수), 10:00 ~ 12:00/ 9.15(토) 19:00 ~ 20:00
- 장 소 : 취리히 연방 공과대학(ETH Hönggerberg) 내 HIB Building
- 내 용 : 기관의 중점 연구 분야 및 정부 지원사항, 건축 분야의 디지털 기술 활용 및 연구 동향, 연구결과의 확산 방안 등에 관한 조사 및 자문
- 참석자 : 권현철 박사 연구원(PhD researcher), 진태승 연구원

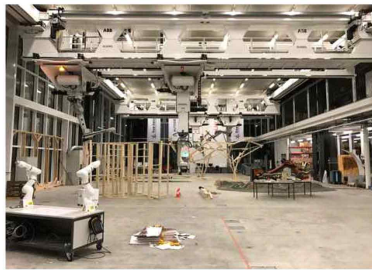
□ NCCR Digital Fabrication(이하 NCCR dfab) 개요

- NCCR dfab은 건축 분야에서 디지털 기술과 물리적 건축 프로세스의 통합을 선도하기 위해 2014년 6월부터 스위스 국가과학재단 지원 하에 취리히 연방 공과대학(ETH Zürich)에 기반을 두고 추진 중인 연구 프로그램
- 스위스 국가과학재단(SNSF, the Swiss National Science Foundation)의 NCCR(National Centre of Competence in Research) 프로그램은 과학, 비즈니스와 사회의 미래를 위해 전략적으로 중요한 분야의 연구를 지원
- NCCR 프로그램은 한 개 이상의 고등교육 기관에 기반을 두고 스위스 내 또는 국제 협력 네트워크를 구성하여 추진
- NCCR dfab은 주관기관(Home Institute)인 취리히 연방 공과대학(ETH Zürich)과 로잔 공대(EPF Lausanne) 등 여러 파트너 기관으로 구성
- 스위스 국립과학재단은 NCCR dfab 1단계(2014~2018) 연구에 1,340만 스위스 프랑(한화로 약 154억)을 지원하였고, 현재 2단계 연구(2018~2022)를 준비 중(연구기간은 최대 2026년까지 연장 예정)
- NCCR dfab은 건축 분야에서 디지털 제작(Digital Fabrication)의 도입을 증진하기 위해 설계, 구조 디자인, 재료 과학, 컴퓨터 과학, 제어 시스템 공학, 로봇 공학 등 다학제간 융합 연구를 지향하며 건축 뿐 아니라 다양한 분야의 연구자 및 기술자가 참여하는 것이 특징('18년 현재 60여명)

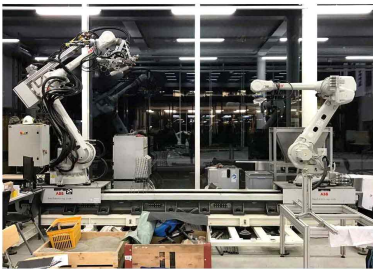
- 건축 분야의 디지털 제작에 관한 전문적인 연구를 위해 2015년 취리히 공과대학 내 연구동을 신축하고 맞춤형으로 제작된 대형 로봇 등 고가의 연구 장비들을 구비한 연구실(Robotic Fabrication Laboratory)을 마련
- 이곳에서 다양한 국제 워크숍과 교류 행사가 진행되며, 전 세계 여러 연구 기관, 업체 등에서 이를 참고하기 위해 방문하고 있음
- 해당 연구동은 NCCR dfab의 주요 구성원이 소속되어 있는 취리히 공과대학 건축기술연구소(Institute of Technology in Architecture)로 함께 쓰이고 있음



NCCR dfab 연구시설 전경(좌측 건물)



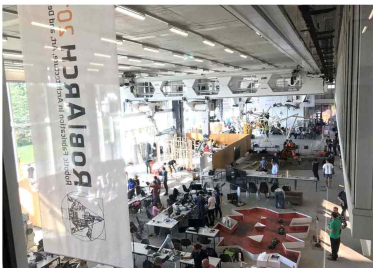
연구시설에 맞게 주문 제작된 대형 로봇 장비



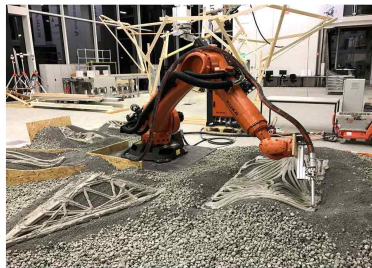
연구시설 내 중형 로봇 장비



연구시설 내 3D 프린터실



NCCR dfab에서 개최된 ROB | ARCH 2018 워크숍 전경

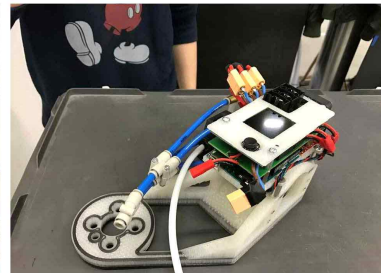


□ NCCR dfab 중점 연구분야

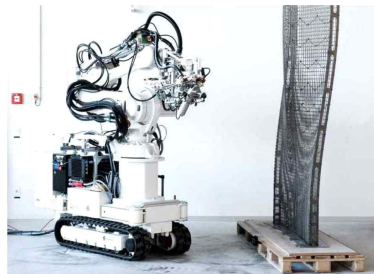
- NCCR dfab의 중점 연구분야는 크게 On Site Digital Fabrication(현장 디지털 제작), Bespoke Digital Prefabrication(맞춤식 디지털 사전 제작), Sustainability Assessment(지속가능성 평가)로 구분
- On Site Digital Fabrication(현장 디지털 제작)
 - 건축 현장에서 바로 로봇을 통한 디지털 제작이 가능하도록 관련 기술을 개발하고, 이로 인한 로봇과 로봇, 로봇과 작업자 간 협력방식 등 건축 방식의 새로운 표준을 마련하는 연구 분야
 - 이는 단순한 건설 자동화가 아니라 컴퓨터 디자인(computational design)과 건설 현장 프로세스의 통합을 통해 건축 자체의 혁신을 추구
 - 다양한 현장 제작(이동 가능한) 로봇 기술 개발(In Situ Fabricator), 거푸집 폐기물이 없고 저비용으로 자유로운(비표준) 형태의 콘크리트 구조를 가능하게 하는 메쉬 몰드(Mesh Mould) 개발 등을 추진 중



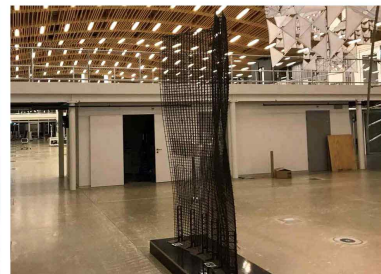
로봇을 통한 제작 실험



로봇에 장착하기 위해 실험 제작한 패브리카이터



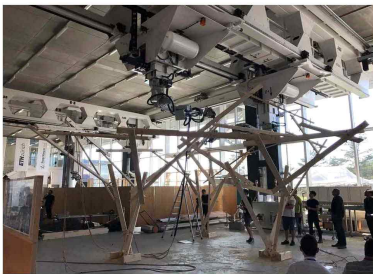
현장 제작 로봇으로 만든 콘크리트 벽체용 메쉬 몰드
(출처: http://dfabhouse.ch/in_situ_fabricator/)



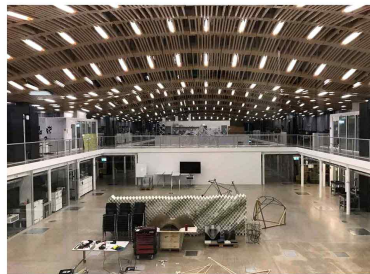
NCCR dfab 연구시설 내 메쉬 몰드(목업)

○ Bespoke Digital Prefabrication(맞춤식 디지털 사전제작)

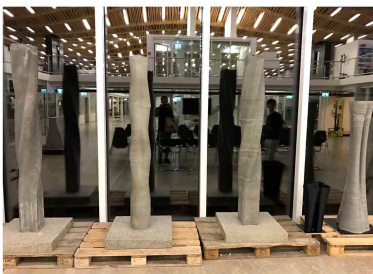
- 차세대 건축 산업에서 중요하게 대두될 대량 맞춤형(mass customization) 건축 트렌드를 선도하기 위해 기둥, 지붕, 벽체 등 건물 구성 요소를 고도로 맞춤화 디지털화 된 프리패브리케이션 방식으로 제작조립하는 기술을 개발하는 분야
- 건축 산업에서 프리패브리케이션 방식이 전혀 새로운 것은 아니나 디지털 제조(digital fabrication) 기술을 적용하는 것은 미개척 분야로, 본 연구는 프리패브 설계 및 건설 프로세스를 디지털 방식으로 통합하는 것을 목표로 함
- 이는 스마트팩토리와 같이 보다 체계화된 맞춤형 사전제작 인프라를 통해 건축 품질 및 효율성을 높이고 건설 폐기물을 줄이는 데에도 효과적임
- 여러 대의 로봇, 3D 프린터 등을 통해 건물 구성 요소를 맞춤형으로 디지털화하여 제작할 수 있도록 다양한 건설 재료 및 접합 시스템을 개발할 뿐 아니라 이러한 기술 진보에 따른 건축 디자인의 새로운 가능성을 실험 중



여러 대의 로봇을 통한 목구조 구축 실험
(ROB | ARCH 2018 워크숍)



프리패브 방식으로 제작된 지붕
(NCCR dfab 연구시설)



3D 프린팅으로 제작된 비정형 콘크리트 기둥(목업)
(NEST 빌딩에 실제 적용)



3D 프린팅으로 제작된 콘크리트 슬래브와 벽체(목업)
(NEST 빌딩에 실제 적용)

- Sustainability Assessment(지속가능성 평가)
 - 건축 분야의 디지털 제작 기술이 환경에 미치는 기회 및 위험 요소를 파악하는 것으로 최근 연구의 필요성이 제기되어 새로 추가된 분야
 - 지속가능성 측면에서 디지털 방식으로 진행한 건축 프로젝트와 기존 건축 방식의 프로젝트를 비교·평가하여 지속가능성 확보를 위한 건축 과정의 최적화 기준을 마련하는 것을 목적으로 함
 - NCCR dfab이 참여한 “DFAB HOUSE”(NEST 빌딩의 일부 유닛)와 같은 실제 프로젝트를 대상으로 생애주기평가(LCA, Life Cycle Assessment) 등을 추진 중

□ 연구 성과의 확산 방안과 향후 전망

- 일반적으로 다른 대학에서 디지털 기술에 대한 개념적이고 실험적인 연구를 진행하는 데 비해 NCCR dfab은 가까운 미래에 건축 현장에서 실제 적용이 가능한 기술을 개발하는 데 중점을 두고 있음
- 본 분야의 연구는 기술적으로는 상당한 진척이 있으나 건설의 정확성 확보, 건설비용 절감 등 산업계에 보편적으로 적용되기 위한 선결과제가 남아있어 연구 성과가 널리 확산되기 데는 일정 시일이 걸릴 것으로 예상
- NCCR dfab에서는 연구 성과 확산을 도모하기 위해 스위스 내 타 연구기관 및 관련 산업체와 협력하여 실제 시범 프로젝트(e.g. NEST 빌딩)에 참여함으로써 연구 성과를 실증하고 산업으로의 확산 가능성을 검토 중
- NCCR dfab은 증강기적으로 첨단 설계 및 건축 프로세스와 관련된 복잡한 과제를 해결하기 위한 플랫폼을 지향하고 있으며 최첨단 연구시설을 기반으로 타 연구기관과의 협력, 산업체의 지원 및 협력, 각종 워크숍 및 세미나, 교육(석사과정 등 전문가 양성 과정) 등을 통해 연구 성과 확산을 지속적으로 도모



NCCR dfab 방문 사진

2) ROB | ARCH(Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design) 2018 컨퍼런스

□ 컨퍼런스 개요

- 일 시 : 2018.9.12(수), 17:00 ~ 9.14(금) 19:00 ~ 20:00
- 장 소 : 취리히 연방 공과대학(ETH Hönggerberg) 내 HPH Building
- 주 관 : NCCR Digital Fabrication, ETH Zürich
- 후 원 : Autodesk, Kuka, Arup, Boston Consulting Group, Sika, ERNE AG Holzbau, Moog, Bachmann Engineering
- 내 용 : 건축, 예술 및 디자인 분야에서 로봇 및 디지털 기술 융합에 관한 주제 강연, 전문가 토론, 연구 논문 및 영상 제작물 발표

※ 컨퍼런스에 앞서 전문가와 학생이 참여하는 워크숍(9.9~9.12) 개최

- 참석자 : 건축, 엔지니어링, 컴퓨터 과학, 로봇 공학 및 재료 과학 분야의 연구자 및 실무자 400여명

○ 주요 일정

날짜	시간	주제	비고
9.12 (수)	17:00~19:30	• 등록, 기조 강연 및 패널 토론 - 강연자 : Chris Luebke (Arup Foresight)	
9.13 (목)	09:00~10:00	• 강연 : Mette Ramsgaard Thomsen (Cita, KADK)	
	10:15~17:45	• 컨퍼런스 세션 1 - 재료와 프로세스 (Material and Processes) • 컨퍼런스 세션 2 - 건설과 구조 (Construction and Structure) • 컨퍼런스 세션 3 - 적용과 실행 (Application and Practice)	
	17:45~18:15	• 강연 : Philip Yuan (Archi-Union/ Tongji Univ.)	
9.14 (금)	09:00~10:00	• 강연 : Jonas Buchli (Deepmind)	
	10:15~12:00	• 컨퍼런스 세션 4 - 디자인과 시뮬레이션 (Design and Simulation)	
	13:30~15:15	• 컨퍼런스 시상식 및 패널 토론	
	10:00~16:45	• 컨퍼런스 세션 5 - 제어와 제작 (Control and Fabrication)	
	16:45~17:30	• 폐회	

□ 주제 강연 및 패널 토론 주요내용

- Arup Foresight 디렉터인 Chris Luebke만은 기조 강연(“Towards Digital Building Culture”)에서 건축(건설) 산업의 발전이 더딘 점을 지적하며 불편한 것은 모두 바꿀 수 있다(“Everything inconvenient can be changed”)라는 생각으로 건축(건설) 산업에서 디지털 문화의 확산을 위한 공동의 노력을 강조
- 덴마크 왕립예술대학 IT 건축 센터(CITA) Mette Ramsgaard Thomsen 교수는 정보 기반의 건축 프로세스 모델과 새로운 재료 시스템에 관한 작업을 소개하며 이러한 것이 건축의 새로운 프로토타입을 창조하는 과정으로서 의미가 있다고 설명
- 중국 통지 대학 건축과 교수이자 Archi-Union의 창립자인 Phillip Yuan은 자신이 참여한 다수의 실제 건축 프로젝트 소개를 통해 건축 디자인, 구조·성능·시공 시뮬레이션 및 최적화, 부재 제작 및 조립 과정에 이르는 디지털 제작(digital fabrication) 실행의 상세한 프로세스를 설명
- 마지막 강연을 맡은 Deepmind 연구원(前 취리히 공과대학 기계공학과 교수) Jonas Buchli는 로봇공학을 통해 건축 분야의 당면 과제(숙련된 기술자 부족, 열악한 노동 조건, 제한된 생산성, 부정확한 시공 품질 및 프로세스 등)를 해결할 수 있으며 이를 위해서는 NCCR dfab에서의 작업과 같이 여러 분야 전문가들의 협업이 중요함을 강조
- 두 차례에 걸친 패널 토론에서는 이 분야의 실험적인 연구와 실무 프로젝트가 어떻게 산업계로 확산될 수 있을 것인지에 관해 여러 의견이 제시되었음
 - 인간의 노동을 대체하는 것으로서 로봇의 활용을 경계하는 이들이 있으나 로봇과 인간은 대척점에 있지 않고 인간이 할 수 없는 작업을 컴퓨터(로봇)는 할 수 있을 거라 생각하는 것이 중요
 - Chris Luebke만은 디지털 건축 문화 확산을 위해 3T(Tool, Team, Time)가 필요함을 강조. 건축(건설) 분야 종사자들이 건축 도구(Tool)의 변화를 보다 적극적으로 받아들이고 다분야 전문가들로 팀(Team)을 변화시키도록 노력해야 하며 이를 위해서는 아직 시간(Time)이 필요할 것이라는 의견
 - 건축(건설) 산업의 디지털 전환을 도모하기 위해서는 신기술 적용 건축물에 대한 정부의 인센티브(e.g. 싱가포르의 프리패브 건축물에 대한 용적률 보너스 제도 운영)도 하나의 방안이 될 수 있음

- 첨단 기술을 적용하는 것이 시장(비용, 디자인 등의 측면)에서 유리하다는 것을 입증할 수 있는 실증적인 연구와 프로젝트가 계속되어야 할 것
- 본 연구 분야의 빠른 발전과 산업으로의 확산을 도모하기 위해서는 관련 지식과 오픈소스 등을 공유할 수 있는 플랫폼 구축이 필요



주제 강연 및 패널 토론

□ 컨퍼런스 발표 주요내용

- 컨퍼런스에서 발표된 총 35개의 연구는 디지털 기술과 로봇 공학을 접목하여 독창적인 건축적 표현, 재료 및 공정의 효율성 제고, 새로운 건축재료 등의 측면에서 새로운 건축 기법의 가능성을 제시
- 본 연구들은 대부분이 이론적인 연구가 아니라 실제 디지털 제작(digital fabrication) 실험을 통한 물리적 결과물을 토대로 하고 있음
- 이와 같은 연구의 특성상 건축을 위한 로봇 제작, 제어 및 시공 기술과 함께 새로운 건축 재료 또는 콘크리트 등 기존 건축 재료를 다루는 방식에 관한 실험이 활발히 이루어지고 있음

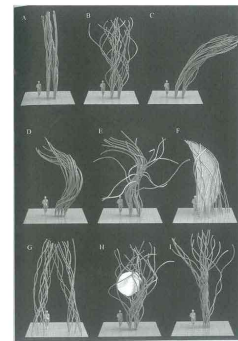
○ 이번 컨퍼런스에 제출된 논문 중 독창적인 시도로서 디지털 제작의 새로운 가능성을 제시한 3편을 우수 논문(Young Potential Best Paper)으로 선정

- “FIBERBOTS: Design and Digital Fabrication of Tubular Structures Using Robot Swarms”, Markus Kayser 외(The Mediated Matter Group, MIT)

: FIBERBOTS는 섬유유리 필라멘트를 감아 높은 강도의 튜브 구조를 만들도록 제작 설계된 로봇 무리(Robot Swarms)로 이는 개별적인 로봇에 장착된 센서와 설계 매개변수를 통해 여러 대의 로봇은 각자 결정된 경로를 따라 설계자의 지속적인 명령 없이도 튜브의 길이 및 곡률을 스스로 제어할 수 있음. 매개변수에 따라 다양한 형태의 구조가 생성될 수 있으며 미래의 협력적인 로봇 시스템의 가능성을 보여주고 있음



개별 FIBERBOT의 구성 요소



매개변수에 따른 생성(generative) 구조

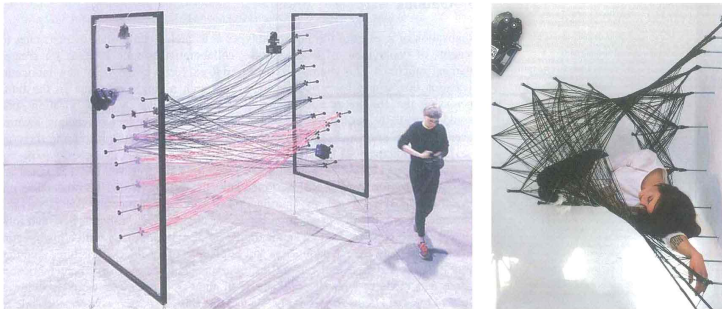


FIBERBOTS을 통한 구조 생성과정

(출처: Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design 2018 논문집, pp.286~296)

- “Towards the Development of Fabrication Machine Species for Filament Materials”, Maria Yablonina and Achim Menges(Institute for Computational Design and Construction, Univ. of Stuttgart)

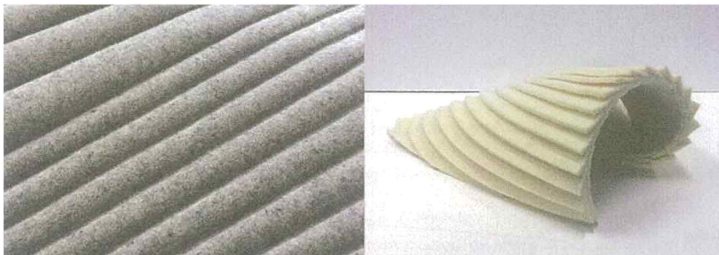
: 독일 슈트트가르트 대학 ICD 연구소에서는 로봇을 통해 필라멘트 재료에 특화된 구조 제작 시스템을 지속적으로 연구 중. 이번 논문에서는 수직과 수평 방향으로 움직이는 이형 로봇간의 협력 시스템을 통해 필라멘트 재료를 새롭게 구성하는 실험을 소개하였음. 이는 하나의 프로젝트에서 서로 다른 목적으로 제작된 로봇이 협력할 수 있는 가능성을 제시



이형 로봇간 협력 시스템을 통한 시범 제작 과정
(출처: Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design 2018 논문집, pp.152~166)

- “Hard + Soft: Robotic Needle Felting for Nonwoven Textiles”, Wes McGee, Tsz Yan Ng, Asa Peller, Univ. of Michigan, Ann Arbor

: 기존의 시간노동 집약적인 펠트(부직포와 같은 직물) 가공 방식을 로봇을 활용한 디지털 방식으로 전환함으로써 펠트를 다양한 재료적 특성을 가진 맞춤형된 기하학적 형상으로 가공하는 데 초점을 맞춘 연구



펠트 기법을 발전시킨 3차원 형태
(출처: Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design 2018 논문집, pp.192~204)

□ 시상식 및 부대행사

- 컨퍼런스에서는 Robotic(Digital) Fabrication 분야의 발전에 공헌한 기관 및 관계자에게 시상을 하여 국제적인 네트워크 구축과 공동의 발전을 도모
 - Community Contribution Award: 유럽의 로봇공학자 및 비즈니스 네트워크인 euRobotics의 Bernd Liepert 박사
 - Pioneering Industry Award: 미국 소재의 건축(건설)부문 3D 프린팅 기업 Branch Technology 창업자 Platt Boyd
 - Pioneering Achievement Award: 노르웨이의 세계적인 건축설계사무소 Snøhetta의 Carsten Løddesøl and Kjetil Traedal Thorsen
 - Technology Transfer Award: 중국 칭화대 Xu Wieguo 교수
 - Pioneering Research Award: Deepmind의 로봇공학자 Jonas Buchli (前 ETH Zürich 교수)
- 컨퍼런스 논문 및 워크숍 우수팀에게는 시상과 함께 후원기관이 제공하는 상금이 수여되어 본 분야의 지속적인 연구가 촉진되도록 격려
- 이 외에도 컨퍼런스 기간 동안 만찬 등을 통해 전 세계 관련 연구자 및 실무자간 네트워킹의 기회를 제공



Robotic Fabrication Lab에서 진행된 만찬

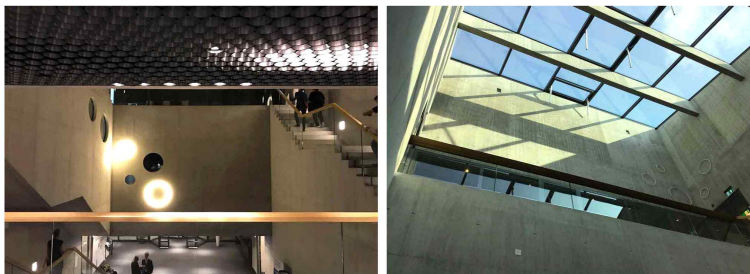
3) NEST(Next Evolution in Sustainable Building Technologies) 건축물 답사

□ NEST 개요

- NEST는 새로운 건축 기술, 재료 및 시스템 등을 현실적인 조건에서 실험, 연구 및 검증함으로써 혁신적인 건축 프로세스를 시장으로 확산시키기 위해 만들어진 실험 건축물
- 본 건축물은 스위스 연방 재료 과학 및 기술 연구기관(Empa, the Swiss federal laboratories for material science and technology)을 중심으로 NCCR dfab 및 취리히 연방 공과대학, 관련 산업체 등이 협력하여 구축
- NEST는 디지털 건설 제작, 에너지 기술, 재활용 자재 등이 적용된 주거, 업무, 운동시설, 연구 공간 등 여러 유닛으로 구성된 모듈러 건축방식으로 현재에도 새로운 모듈 유닛이 추가적으로 계획되고 있음



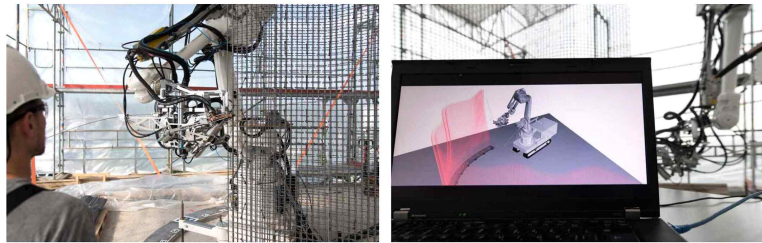
NEST 외부 전경(현재 시공 중인 부분이 DFAB HOUSE 유닛)
(출처: (좌)empa 홈페이지(<https://www.empa.ch/web/nest/downloads>), (우)직접 촬영)



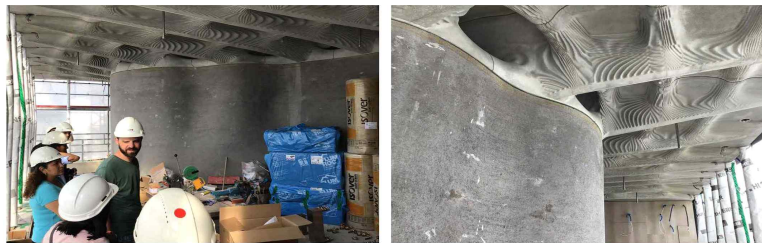
NEST 내부 전경

□ DFAB HOUSE 유닛

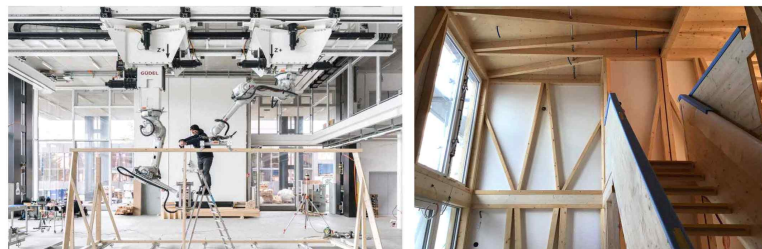
- NEST 건축물의 일부인 DFAB HOUSE는 NCCR dfab의 디지털 제작 기술(digital fabrication) 연구 성과를 적용해 건축 중인 유닛
- 이 유닛에는 현장 제작 로봇(In situ Fabricator)을 통해 제작한 콘크리트 벽체 시공용 메쉬 몰드(Mesh Mould), 3D 프린터로 만든 가볍고 기하학적 형상의 슬래브(Smart Slab), 로봇으로 사전 제작된 목재 프레임(Spatial Timber Assemblies) 등이 적용



현장 제작 로봇을 통한 메쉬 몰드 제작 과정
(출처: http://dfabhouse.ch/in_situ_fabricator)



메쉬 몰드에 콘크리트 시공이 완료된 벽체와 3D 프린팅한 장식적인 디자인의 슬래브



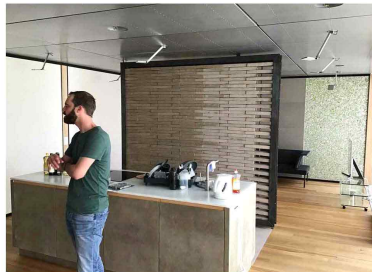
NCCR dfab 연구시설에서 사전 제작된 목재 프레임(좌)과 시공 완료된 모습
(출처: (좌)http://dfabhouse.ch/spatial_timber_assemblies/, (우)직접 촬영)

□ 기타 유닛과 기술 요소

- Solar Fitness & Wellness : 피트니스 기구에서 발생하는 운동에너지, 지붕 및 파사드를 통해 생산되는 태양 에너지, CO2 히트펌프 등을 활용하여 화석 연료를 사용하지 않고 운영되는 운동시설
- Urban Mining & Recycling : 건축하는 데 필요한 모든 자재가 재활용 또는 재사용이 가능하거나 썩어 없어지는 재료만을 사용해 만든 유닛으로 향후 게스트하우스로 운영될 계획
- SolAce : 전기 및 온수 생산이 가능하도록 건물 파사드에 태양광 모듈 및 태양열 수집기가 장착된 유리판, 빛과 열을 조절하는 다양한 에너지 기술이 적용된 유닛
- ehub : 건물 전체의 에너지 및 물 관리 시스템으로 건물의 에너지 및 물 사용 패턴을 분석하여 에너지 효율을 높이고 이산화탄소 발생을 줄일 수 있도록 최적화하는 기술



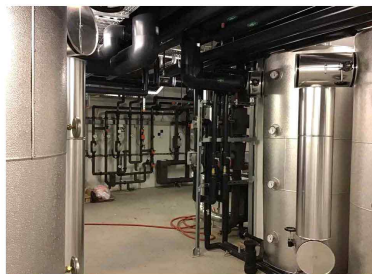
태양 에너지 등을 이용하는 운동시설



모든 건축 자재를 재활용 소재로 만든 유닛



파사드(파란색 부분)를 통해 태양 에너지를 모으는 유닛



건물 지하에 위치한 ehub 설비

3. 출장 성과 및 시사점

□ 미래 건축 산업 트렌드인 Digital Fabrication에 관한 최신 동향 파악

- 건축 분야에서 디지털 제작 기술의 도입은 고도화된 맞춤형 생산이 가능하게 하고, 건설 과정에서 재료 및 공정의 낭비를 줄일 수 있을 뿐 아니라 혁신적인 건축 디자인을 시도하기 용이하다는 점에서 건축(서비스) 산업의 성장 동력으로 작용할 수 있음
- 건축에서 디지털 제작에 관한 연구 및 실무는 단지 자동화된 건설방식의 도입이 아니라 설계, 엔지니어링, 시공, 운영관리에 이르는 전체 건축 프로세스의 효과적인 통합을 지향하고 있음
- 현재 건축 분야의 디지털 제작 기술은 아직 현장에 널리 적용되기에는 어려운 단계이나 디지털 기술과 물리학 기술의 발전이 가속화됨에 따라 가까운 시일 내에 보편화될 가능성이 높다고 할 수 있음

□ 건축(서비스)산업 혁신을 위해 Digital Fabrication에 대한 관심과 투자가 필요

- 디지털 제작 기술은 건설 산업 뿐 아니라 건축서비스산업의 근본적인 변화와 혁신을 이끄는 핵심동인으로 작용할 것으로 예상됨
- 스위스 정부는 건축 산업에서의 디지털 제작 기술개발을 미래 산업 발전을 위한 대응과제 중 하나로 인식하고 NCCR dfab을 통해 선도적인 연구 지원 프로그램을 진행 중
- 또한 미국을 위시한 전 세계의 연구기관과 일부 혁신 기업이 디지털 제작에 관한 실험적인 연구와 프로젝트를 다년간 진행하고 있으며, 특히 이번 컨퍼런스에서 확인한 바와 같이 이 분야에서 중국의 발전이 매우 두드러짐
- 반면 우리나라의 경우 전반적으로 이 분야에 대한 이해가 부족하여 교육 및 연구 여건이 열악하며 국제적인 학술 교류도 매우 부족한 상황
- 건축(서비스)산업의 혁신을 위해서는 건축 분야 내에서 대응방안을 모색하기 보다 디지털 제작 연구를 위해 다분야(컴퓨터, 로봇, 재료 과학 등) 연구자 및 실무자가 협업할 수 있는 플랫폼 구축에 민관이 함께 투자할 필요

[부록] 취득자료

- Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design 2018 컨퍼런스 논문집

