

미래 건설산업의 디지털 건설기술 활용 전략

2019. 5

손태홍·이광표

■ 문제 제기	4
■ 4차 산업혁명과 디지털 전환의 이해	6
■ 디지털 건설기술의 개념과 활용 방향	10
■ 디지털 건설기술 스타트업과 적용 사례	17
■ 결론 및 제언	31

- 4차 산업혁명 시대의 새로운 기술 도입 및 확산에 따른 변화에서 건설산업도 예외일 수 없음. 건설기업들은 생산성 제고 등을 목표로 새로운 기술의 활용에 관심을 나타내고 있으나 기술 활용을 위한 인프라의 미비와 전략의 부재가 한계점으로 작용하고 있음.
- 본 연구는 새로운 기술의 활용 주체가 기업임을 인식하고, 4차 산업혁명 시대의 기술 특성, 디지털 전환 등에 대한 이해와 건설 스타트업 및 글로벌 건설기업들의 동향 분석을 통해 건설기업 및 산업 차원의 전략 방향을 제시함.
- 4차 산업혁명은 디지털 기술 기반의 기술 주도 혁명으로 이해할 수 있으며, 디지털 전환은 새로운 비즈니스 모델, 제품 또는 서비스를 창출하기 위해 디지털 기술과 물리적 요소를 통합하는 기업의 혁신 전략임.
- 건설기업의 디지털 전환은 디지털 건설기술의 도입과 활용을 통해 달성될 수 있음. 주요 기술로는 BIM, 클라우드, 사물인터넷, 데이터 고급 분석(인공지능 등), 증강현실, 가상현실, 모듈러, 3D 프린팅, 로봇틱스, 지능형 건설장비, 무인 항공기 등이 제시되고 있음.
 - 이러한 디지털 건설기술을 활용한 단계별 목표로 ‘(설계) 데이터 기반 3D 통합 모델의 개발’, ‘(시공) 공사비 절감, 공사 기간 단축, 안전성 확보’, ‘(유지관리) 건축물 수명 증대, 유지관리 비용 절감’이 세부 방안과 함께 제시되고 있음.
- 디지털 건설기술의 실질적 적용 가능성을 파악하기 위해 스타트업과 글로벌 건설기업의 적용 사례를 분석한 결과 디지털 건설기술은 적용성을 확보하고 있으며, 건설기업은 스타트업 투자, M&A 등을 통해 기술을 확보하고 사업에 적용하기 시작함.
 - 스타트업은 디지털 건설기술을 건설사업 내 적용하기 위한 대부분의 기능을 제공하고 있음. 예를 들어 무인 항공기를 기반으로 솔루션을 제공하는 스카이크etch는 ‘물리적 구조의 가상화’, ‘시공 자동화’, ‘시공 모니터링’ 기능을 제공하고 있음.
 - 글로벌 건설기업은 디지털 건설기술의 확보 방안으로 내부 기술 개발, M&A, 스타트업 투자, 대학 및 연구소와의 협업을 수행 중이며, 빅데이터, 드론, 가상현실 등의 기술을 사업 내 적용한 바 있음.
- 이처럼 디지털 건설기술의 도입 및 확산을 통한 디지털 전환은 현재 진행 중이며, 향후 생산 방식 통합의 가속화, 상품의 스마트화, 제도·정책 및 인력 양성 방식의 변화 등 산업 혁신을 유도할 것임. 이에 대응하기 위한 건설기업과 산업 차원의 전략은 다음과 같음.
 - 건설기업은 디지털 전환을 위한 비전과 목표, 세부 전략을 수립하고 디지털 건설기술의 확보를 위한 기술 솔루션 기업과의 전략적 협력을 확대해야 함. 또한 산업 혁신 방향을 고려한 새로운 비즈니스 모델과 기존 인력의 역할 및 기능 전환을 위한 인력관리 시스템 등을 구축해야 함.
 - 산업 차원에서는 전후방 연관산업 간 융합을 촉진하기 위한 관련 규제 개선과 제도적 지원이 필요함. 또한 변화하는 기술인력의 역량 수요에 대응하기 위한 교육훈련 방식의 변화가 요구됨.
 - 건설시장의 최대 발주자이면서 수요자인 정부는 건설기업이 다양한 디지털 건설기술을 활용할 수 있도록 높은 품질과 기능이 요구되는 상품을 제시하는 등 조력자 역할에 집중해야 함.

I 문제 제기

- 산업 간 경계의 붕괴로 정의되는 4차 산업혁명 시대에 새롭게 등장하는 융복합 기술들은 각 산업 분야의 서비스, 제품, 일자리 등에 혁신적인 변화를 유인하고 있음. 산업별로 혁신의 방향은 상이할 수 있지만, 기존 생산 체계와 업무 수행 방식의 변화는 불가피할 것임.
 - 소프트웨어 중심의 새로운 기술을 활용하여 디지털 세계, 물리적 영역, 생물학적 공간의 경계가 희석되는 융합은 산업 차원의 변화를 넘어 사회 구조의 변화에까지 영향을 미칠 것임.
- 이러한 변화의 흐름에서 건설산업도 예외일 수 없음. 특히, 공사 기간 단축과 공사비 절감 등이 가능한 다양한 기술 적용을 통해 궁극적으로는 건설산업이 직면한 낮은 생산성을 해결하려는 노력이 절실한 상황임.
 - 하나의 사업에 다양한 니즈(needs)와 기대 목표(expected goals)를 가진 이해관계자가 존재하는 건설산업은 여러 기업의 참여를 통해 최종 결과물을 생산하는 분절된 프로세스를 기반으로 함. 이는 제조업 등과 같은 타 산업과 건설산업을 구분 짓는 가장 큰 특징 중 하나임.
- 건설산업은 제조업 등 타 산업 대비 생산성이 낮을 뿐만 아니라 사업 수행 과정에서 설계변경 등과 같은 계획과 실행의 불일치, 공사 기간 지연, 사업비 증가 등의 이유로 수익성도 낮음.¹⁾
 - 맥킨지(2017)²⁾에 따르면 지난 20년간(1995~2014)의 건설산업 생산성은 시간당 가치로는 25달러, 연평균 증가율은 1.0% 수준임. 시간당 가치가 39달러, 3.6% 수준의 연평균 증가율을 보이는 제조업과 비교하면 건설산업의 시간당 가치는 약 64% 수준, 연평균 증가율은 약 28% 수준에 그침(표 1) 참조).

〈표 1〉 건설산업의 시간당 가치와 연평균 성장률 비교

구분	건설산업	제조업	전체 산업	비고
시간당 가치(\$)	25	39	37	<ul style="list-style-type: none"> • 제조업 대비 약 64% 수준 • 전체 산업 대비 약 68% 수준
연평균 성장률(%)	1.0	3.6	2.7	<ul style="list-style-type: none"> • 제조업 대비 약 28% 수준 • 전체 산업 대비 약 37% 수준

자료 : 맥킨지(2017).

1) EY(2018), 「How can technology improve challenges faced within the E&C industry?」.

2) McKinsey & Company(2017), 「Reinventing construction : A route to higher productivity」.

- 건설산업의 평균 이윤은 세후 영업이익 기준 약 4.4% 수준으로 제약 및 의료기기(19.8%), IT 및 비즈니스 서비스(11.7%), 호텔 서비스(8.5%), 기계(6.8%) 등과 비교해보면 상대적으로 낮은 수준임.

■ 건설기업들은 생산성 제고와 수익성 개선 등을 가능케 하는 새로운 기술의 활용에 높은 관심을 나타내고 있음. 하지만 현재 건설산업 내 기술 활용 범위와 수준은 상당히 낮을 뿐만 아니라 기술 기반의 솔루션을 사업에 적용한 사례는 매우 제한적임.

- JBKnowledge³⁾의 설문 결과⁴⁾에 따르면 총 2,690명의 응답자 중 46.4%가 연간 매출의 1% 이하의 금액을 정보통신 기술(IT) 분야에 투자하고 있으며, 투자 규모를 알 수 없다고 응답한 비율도 12.8%로 나타남. IT 분야를 전담하는 조직을 보유한 기업은 전체의 49.6%이며, 이 중 61.3%의 기업은 1~5명 사이의 인력으로 구성된 조직을 보유하고 있는 것으로 파악됨.
- 소프트웨어 솔루션의 활용 측면에서도 건설사업 수행 중 평균적으로 활용하는 소프트웨어는 3개 이하가 42.5%를 차지하고 있었으며 대부분 엑셀을 활용하는 수준임. 또한 이 중 48.7%는 통합된 플랫폼의 부재로 여전히 매뉴얼 방식을 통해 데이터를 교환하고 있음.

■ 건설산업의 혁신을 유인할 수 있는 새로운 기술의 활용 주체가 기업임에도 불구하고 활용하고 있는 현재 기술과 제시되는 미래 기술 간에는 격차가 존재함. 이는 새로운 기술을 활용하기 위한 환경의 미비와 전략의 부재가 원인으로 작용하고 있기 때문임.

- 전략의 부재는 새로운 기술의 활용을 위한 중장기적 방향성이 정립되어 있지 않고 세부적인 계획이 없거나 미흡하다는 의미이며, 이는 향후 지속적으로 성장할 건설시장에 효과적으로 대비할 수 없다는 의미임.

■ 본 연구는 상술한 문제 제기를 바탕으로 4차 산업혁명 시대에 등장하는 새로운 기술에 대한 이해 수준의 제고와 활용 촉진을 위해 필요한 전략 방향을 제시하고자 함.

- 우선 4차 산업혁명과 디지털 전환 및 디지털 기술에 대한 개념적 이해의 토대를 제공하고, 이를 바탕으로 건설산업에 적용될 수 있는 기술들을 '디지털 건설기술'로 정의하고자 함.
- 다음으로, 주요 디지털 건설기술의 종류와 활용 방향, 기술 공급자(Tech provider)로서 스타트업(Startup company)이 제공하고 있는 솔루션 서비스의 종류와 사례를 분석하고자 함. 아울러 기술 또는 서비스를 활용하기 위한 글로벌 건설기업들의 현황을 분석함.
- 마지막으로, 디지털 건설기술에 대한 종합 분석을 통해 향후 건설기업 차원에서 준비해야 할 전략의 방향을 제언하고, 정부와 기업 등 산업을 구성하는 주체들의 역할과 책임(Role and Responsibility)을 재정의(redefinition)하고자 함.

3) JBKnowledge는 2012년부터 건축 및 토목, 플랜트(오일, 가스, 발전 등), 부동산, 환경 등 다양한 분야에서 근무하고 있는 전문가를 대상으로 관련 분야의 기술 활용 동향을 조사해 발표하고 있음.

4) JBKnowledge(2017), 「2017 The 6th Annual Construction Technology Report」.

Ⅱ 4차 산업혁명과 디지털 전환의 이해

- 본 장에서는 혼용되어 사용되고 있는 다양한 4차 산업혁명 관련 용어들에 대한 개념적 차이를 파악하고, 건설산업의 혁신을 위한 전략으로서 디지털 전환이 갖는 의미와 효과 등을 이해하고자 함.

- 4차 산업혁명의 개념이 등장한 이후 ‘4차 산업혁명 기술’, ‘디지털 기술’, ‘디지털 전환’, ‘디지털화’ 등 다양한 용어가 혼재되어 사용되고 있음. 4차 산업혁명 시대의 새로운 기술 활용이 필요한 건설기업은 다양한 개념을 사전에 정립하고 4차 산업혁명의 의미와 새롭게 등장하는 기술의 역할과 효과 등에 대해 이해할 필요가 있음.

1. 4차 산업혁명과 디지털 전환에 대한 이해

- 4차 산업혁명이 무엇인지에 대한 논의는 다양한 연구에서 제시되고 있으나 ‘모든 것이 연결된 지능적인 사회로의 진화’⁵⁾라는 포괄적 개념에서 크게 벗어나지 않음.

- 클라우드 슈밥은 4차 산업혁명의 개념과 함께 4차 산업혁명 시대를 기술 간 융합을 통해 물리적 공간, 디지털 공간, 생물학적 공간의 경계가 희석되는 융합 시대로 정의하였음.
- 국내의 경우 기획재정부⁶⁾는 4차 산업혁명을 기존 산업 영역에 물리, 생명과학, 인공지능 등을 융합하여 생산부터 관리, 경영까지 전반적인 변화를 유발하는 차세대 혁명으로 정의하였음.

- 4차 산업혁명의 조작적 개념을 구성하는 공통적인 키워드는 크게 ‘융합’, ‘연결’, ‘지능화’로 요약할 수 있으며 각각의 키워드는 다음과 같은 의미로 해석될 수 있음.

- ‘융합’은 ‘기술 간 융합을 통한 기술 혁신 또는 새로운 기술의 등장’을 뜻하고 ‘연결’은 ‘3차 산업혁명 시대의 정보통신 기술(Information & Communication Technology, ICT)과 기술 간 융합을 통한 새로운 기술을 활용해 사람, 장소, 사물, 제품 등을 연결하는 것’을 의미함.
- ‘지능화’는 ‘새로운 기술을 활용하여 현실을 가상공간 내 구현하고 가상공간에서 현실을 시뮬레이션(simulation)하여 피드백(feedback)하는 것’을 의미함.

- 기존 기술의 융합과 새롭게 등장하는 기술에 기반한 기술 주도형 4차 산업혁명을 촉진·주도하는 주요 기술로 사물인터넷, 증강현실, 가상현실, 로봇공학, 빅데이터, 인공지능 등이 있음.

5) 클라우드 슈밥(2016), 「제4차 산업혁명」.

6) 기획재정부, 시사경제용어사전(<http://www.moef.go.kr/mi/socecowd/TbCurEcnyWordList.do>), 2019.3.26.

- 4차 산업혁명 시대를 이끄는 주요 기술은 물리학 기술, 디지털 기술, 생물학 기술로 구분할 수 있지만, 산업 내 영향력이 높을 것으로 예상되는 기술 대부분이 ICT 기반의 디지털 기술이라는 용어로 정의할 수 있음.⁷⁾

❖ 디지털 기술에 대한 명확한 이해를 위해서는 디지털 전환(Digital Transformation)의 개념에 대한 이해가 동반되어야 함. <표 2>에서 보듯이 조작적 개념 간의 차이는 있으나 디지털 전환을 새로운 비즈니스 모델, 제품 또는 서비스를 창출하기 위해 디지털 기술과 물리적 요소를 통합하는 전략으로 이해할 수 있음.

〈표 2〉 디지털 전환의 개념

구분	개념
WEF	디지털 기술 및 성과를 향상할 수 있는 비즈니스 모델을 활용하여 조직을 변화시키는 것
Bain & Company	산업을 디지털 기반으로 재정의하고 게임의 법칙을 근본적으로 뒤집음으로써 변화를 일으키는 것
AT Kearney	모바일, 클라우드, 인공지능, 사물인터넷 등 디지털 기술로 촉발되는 경영 환경상의 변화에 대응하고, 비즈니스의 경쟁력을 획기적으로 높이거나 새로운 비즈니스를 통한 성장을 추구하는 기업 활동
PWC	기업 경영에서 디지털 소비자 및 에코시스템이 기대하는 것들을 비즈니스 모델 및 운영에 적용시키는 일련의 과정
Microsoft	고객을 위한 새로운 가치를 창출하기 위해 지능형 시스템을 통한 기존의 비즈니스 모델을 새롭게 구상하고 사람과 데이터, 프로세스를 결합한 새로운 방안을 수용하는 것
IBM	기업이 디지털과 물리적인 요소들을 통합하여 비즈니스 모델을 변화시키고 산업에 새로운 방향을 정립하는 것

자료 : 한국정보산업연합회(2017) 재인용.

❖ 일부에서는 디지털화(Digitalization)를 디지털 전환을 위한 필수적인 요인으로 인식하고 있지만, 4차 산업혁명 시대의 디지털화는 컴퓨팅 환경 조성이라는 결과물보다는 관련 기술을 활용해 전환을 달성하는 과정으로 이해하는 것이 바람직함.

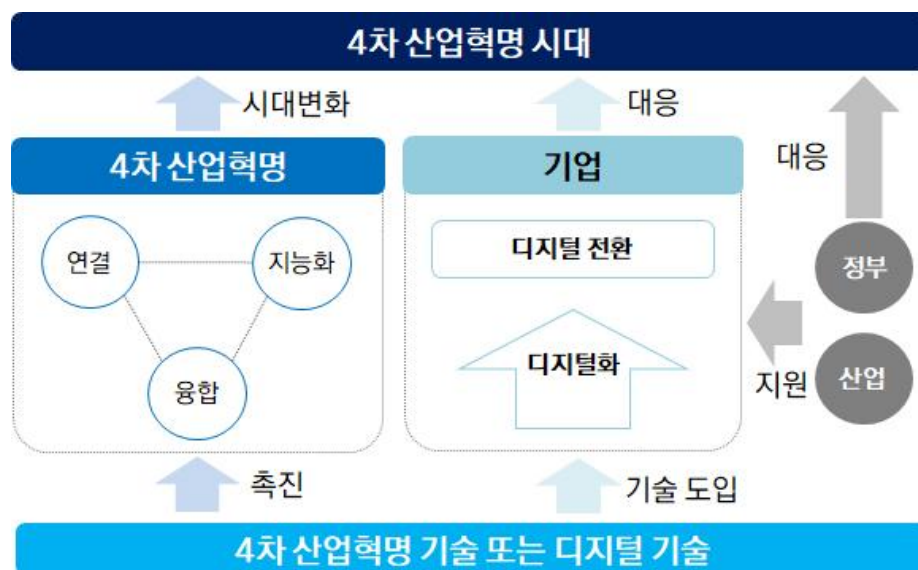
❖ 상술한 4차 산업혁명과 관련 주요 기술, 디지털 기술, 디지털 전환, 디지털화의 개념을 중심으로 정부와 산업 및 기업과의 연관성을 도식화해 보면 <그림 1>과 같음.

- 4차 산업혁명은 디지털 기술 기반의 기술 주도 혁명으로 연결과 지능화 및 융합이라는 세 가지 요인들이 반복적으로 발생하는 전도체와 같음. 기업은 4차 산업혁명으로 촉발되는 다양한 기술들을 도입하고 이를 통해 디지털 전환이라는 혁신을 추구하게 됨. 여기서 디지털 전환은 디지털 기술을 도입 및 적용하는 디지털화라는 과정을 거치게 됨.

7) 임베디드소프트웨어·시스템산업협회는 사물인터넷, 클라우드, 빅데이터, 모바일, 소셜미디어를 ICT 기반 기술로, 그리고 인공지능, 로봇, 가상현실, 증강현실, 3D 프린터, 바이오 기술, 양자컴퓨터 등을 첨단 디지털 기술로 제시한 바 있음.

- 이러한 과정에서 정부와 산업은 기업의 디지털 전환을 지원해야 함. 동시에 정부는 산업의 환경을 결정하는 정책과 제도를 마련하는 등의 방식을 통해 4차 산업혁명에 따른 시대 변화에 대응해야 함.

〈그림 1〉 4차 산업혁명과 디지털 전환의 개념



2. 4차 산업혁명과 디지털 전환의 영향

- ❖ 과거 산업혁명과는 달리 4차 산업혁명이 몰고 올 변화의 속도와 범위는 기업 및 사회, 그리고 국가에 이르기까지 정확히 예측하기 어려운 수준이 될 것임. 기업의 경우 4차 산업혁명에 성공적으로 대응한다면 생산성 향상과 성장성을 동시에 확보할 수 있지만 반대의 경우 생존을 위협받게 될 것임.⁸⁾

- 산업 간 융합으로 기존 가치사슬 단계에서의 고용구조 변화가 불가피해지는 상황에서 관련 노동력의 확보 여부는 기업의 경쟁력을 좌우하는 핵심 요인이 될 것임.

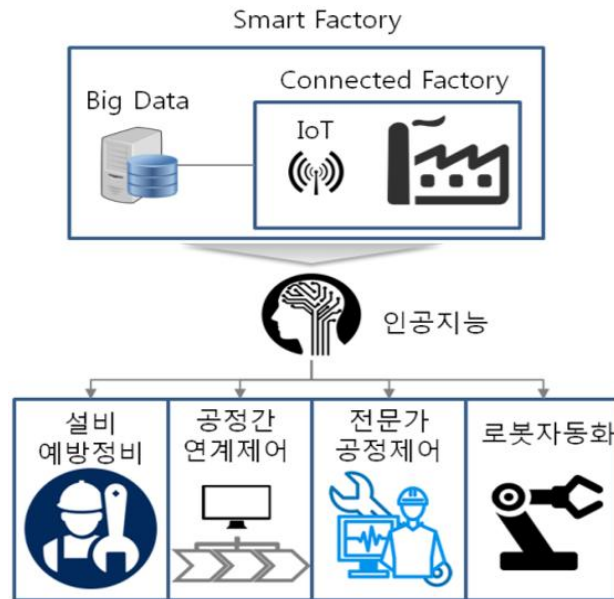
- ❖ 4차 산업혁명 대응을 시작한 대표적인 분야는 제조업으로, 전통적인 생산 프로세스의 개념을 다양한 기술과 접목한 스마트 팩토리(smart factory)가 대표적임.

- 스마트 팩토리는 사물인터넷, 각종 센서(Sensor), 인공지능 및 빅데이터 기술 등을 활용하여 다양한 장비 및 공장 운영 과정에서 발생하는 데이터를 수집하고 이를 기반으로 의사결정을 지원할 수 있는 운영 체계를 가진 공장을 의미함.

8) 산업연구원(2018), 「제4차 산업혁명이 주력산업에 미치는 영향과 주요 과제」.

- 제조업 분야는 스마트 팩토리를 통해 기획, 설계, 생산, 유통, 판매 등 제조업 전 생산 과정에서 발생하는 비용과 시간을 최소화하고 고객 맞춤형 제품을 생산하고 있으며, 장기적으로는 제조 공정의 디지털화를 확대하고 있음(그림 2) 참조).

〈그림 2〉 스마트 팩토리 개념



자료 : 포스코경영연구소.

- 향후 건설산업도 디지털 기술을 확보하고 이를 생산 프로세스에 적용함으로써 성공적인 디지털 전환을 달성한다면 생산성 제고를 넘어 ‘예측 및 지속가능성’, ‘탄력성’, ‘민첩성’, ‘협력 가능성’ 측면에서 다음과 같은 결과를 기대할 수 있음.

- 예측 및 지속가능성 : 사업 수행 전 예측 및 지속가능한 일정 수준의 이익률을 확보할 수 있음.
- 탄력성 : 사업의 복잡성, 난이도 증가, 분절된 생산 체계로 인해 내재된 불확실성을 극복할 수 있는 탄력성을 확보할 수 있음.
- 민첩성 : 산업 간 경계의 붕괴로 등장할 수 있는 새로운 형태의 비즈니스 모델을 보유한 경쟁자에 대응할 수 있는 민첩성을 확보할 수 있음.
- 협력 가능성 : 성과 창출을 위한 이해관계자 간의 협조 또는 협력을 증진하고 지속가능한 협력 체계를 구축할 수 있음.

Ⅲ 디지털 건설기술의 개념과 활용 방향

- ❖ 건설기업의 디지털 전환 첫 단계는 디지털 기술에 대한 개념을 명확히 정립하는 데서 출발해야 함. 본 장에서는 현재까지 제시되고 있는 디지털 기술에 대한 이해를 바탕으로 디지털 ‘건설’기술을 선별하고 각 디지털 건설기술의 활용 가능성을 분석함.
 - 디지털 건설기술을 정의하기 위해 우선 4차 산업혁명 시대의 디지털 기술과 기존의 3차 산업혁명 시대의 기술 간 차이를 분석함.
 - 그리고 다양한 디지털 기술 중 건설산업 내 적용성이 높은 기술을 디지털 건설기술로 분류하고 해당 기술들의 건설산업 내 적용 방향과 분야를 제시하였음.
 - 또한, 디지털 건설기술 분야의 스타트업(startup) 기업들이 제공하는 솔루션과 비교하여 현재 활용할 수 있는 디지털 건설기술의 종류와 각 기술의 상용화 수준을 파악함.

1. 디지털 건설기술의 개념

- ❖ <표 3>에서 보듯이 다양한 기관에서 제시되는 공통적인 4차 산업혁명의 주요 기술에는 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능, 증강 및 가상 현실, 3D 프린팅, 로봇틱스, 무인 항공기 등이 포함됨.
 - 세계경제포럼(WEF)에서는⁹⁾ 4차 산업혁명을 주도하는 새로운 기술로 자율주행차, 로봇, 인공지능, 빅데이터, 사물인터넷, 모바일, 블록체인, 3D 프린팅 등이 제시된 바 있음.
 - 가트너그룹¹⁰⁾은 2019년을 선도한 기술 트렌드로 자율사물(Autonomous Things : AT), 증강분석(Augmented analytics), 인공지능 주도 개발(Artificial Intelligence-driven development), 디지털 트윈, 블록체인, 스마트 공간, 양자 컴퓨팅 등을 제시함.
 - 닐 거슨펠드 교수¹¹⁾는 4차 산업혁명 시대의 주요한 기술로 자율주행차, 로봇, 빅데이터, 사물인터넷, 모바일, 핀테크, 3D 프린팅 등을 제안함.
 - 국내의 경우 통계청¹²⁾은 4차 산업혁명 관련 주요 기술로서 자율주행차, 로봇, 인공지능, 빅데이터, 사물인터넷, 모바일, 가상현실, 블록체인, 핀테크, 드론, 3D 프린팅 기술을 선정함.

9) 클라우스 슈밥(2016), 「제4차 산업혁명」.

10) Gartner, Inc(2018), <<https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-10-15-gartner-identifies-the-top-10-strategic-technology-trends-for-2019>>.

11) 닐 거슨펠드(2016), 「4차 산업혁명의 충격」.

12) 통계청(2017), 「4차 산업혁명 주요 테마 분석 : 관련 산업을 중심으로」.

〈표 3〉 4차 산업혁명의 주요 기술과 디지털 건설기술 현황

기술 구분	4차 산업혁명의 주요 기술				건설산업에 적용 가능한 디지털 기술			
	WEF	가트너 그룹	닐 거윈펠드 외	국내	WEF	BCG	PWC	EY
BIM					√	√		√
클라우드					√	√	√	
사물인터넷(IoT)	√		√	√	√	√	√	
데이터 고급분석 (빅데이터, 인공지능 등)	√	√	√	√	√	√	√	
증강현실(VR)		√			√	√	√	√
가상현실(AR)		√	√	√	√	√		√
모듈러					√	√		√
3D 프린팅	√		√	√	√	√	√	√
로보틱스	√		√	√		√		√
지능형 건설 장비					√	√		
무인 항공기			√	√	√	√		
3D 스캐닝					√	√		
모바일 애플리케이션	√		√	√		√	√	
센싱 기술							√	
시뮬레이션						√		
기타 기술	자율주행차, 블록체인, 핀테크, 바이오헬스, 신소재 및 에너지, 공유경제, 자율권을 가진 엣지, 몰입 경험, 스마트 공간, 디지털 윤리와 개인정보 보호, 양자 컴퓨팅				새로운 건축 재료, 위치 감지 기술, 진보한 HMI, 인증 및 이상 감지, 다양한 고객과의 소통 및 프로파일링, 블록체인, 매니지드 서비스			

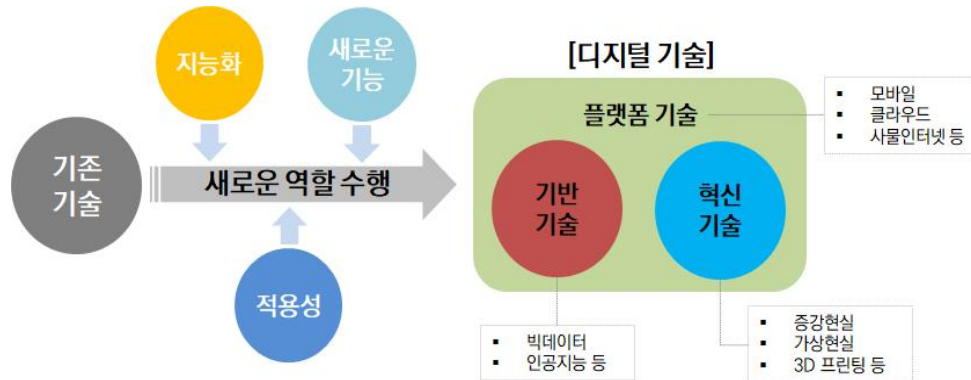
자료 : EY(2018), 가트너그룹(2018), WEF(2018), 통계청(2017), 클라우드 슈밥(2016), 닐 거윈펠드(2016), BCG(2016), PWC(2016) 재구성.

❖ 〈표 3〉에서 제시된 디지털 기술 중에는 정보화 기반의 3차 산업혁명 시대의 기존 기술들도 포함되어 있음. 이는 4차 산업혁명의 주요 기술에는 지능화 기반의 혁신 기술과 함께 새로운 기능이 추가된 기존 기술들도 포함되고 있음을 의미함(〈표 3〉 참조).

- 예를 들어 모바일, 클라우드, 사물인터넷 기술은 새로운 기술이라기보다는 새롭게 등장하고 있는 기술들이 활용될 수 있는 환경을 제공하는 플랫폼 기술이고, 빅데이터와 인공지능의 경우 지능화를 가능하게 하는 기반 기술임(〈그림 3〉 참조).

- 이 외에도 증강현실, 가상현실, 3D 프린팅 기술 등은 플랫폼 환경에서 지능화를 기반으로 새로운 기능이 추가됨으로써 4차 산업혁명을 주도할 혁신 기술로 인식되고 있음. 이와 같이 4차 산업혁명 시대의 주요 기술들은 기술의 발전과 융·복합, 기술 적용 환경의 변화 등으로 최근 적용성을 확보함 (〈그림 3〉 참조).

〈그림 3〉 디지털 기술의 개념



■ **상술한 디지털 기술에 관한 관심 증가의 원인은 해당 기술 활용이 생산성 혁신을 가능케 하기 때문이다.** 이러한 측면에서 건설산업은 생산성 혁신이 필요하고 가능한 산업으로 평가받고 있으며, 이와 관련된 디지털 ‘건설’기술이 제시되고 있음(〈표 3〉 참조).

- WEF¹³⁾는 디지털 건설기술로 프리패브리케이션 및 모듈러 건축, 새로운 건축 재료, 3D 프린팅 및 적층제조, 자율 건설, 증강현실(Virtual Reality, VR) 및 가상화, 빅데이터 및 예측 분석, 무선 모니터링 및 연결 장비, 클라우드 및 실시간 협업, 3D 스캐닝 및 사진 측량, BIM을 제시함.
- BCG¹⁴⁾는 건설산업 내 적용성이 높은 디지털 기술로 빅데이터 및 분석, 시뮬레이션과 가상현실, 모바일 인터페이스 및 증강현실, BIM과 클라우드, 유비쿼터스 연결성 및 추적, 적층제조, 3D 스캐닝, 지능형 건설장비 및 로봇틱스, 무인 항공기, 내장형 센서를 제시함.
- PWC¹⁵⁾는 디지털 건설기술로 클라우드 컴퓨팅, 모바일 디바이스, IoT 플랫폼, 위치 감지 기술, 인증 및 이상 감지(Authentication & fraud detection), 3D 프린팅, 스마트 센서, 빅데이터 분석 및 알고리즘, 증강현실 및 웨어러블, 고객과의 소통 및 프로파일링(Multilevel customer interaction and customer profiling) 등을 제안함.
- 이 외 EY¹⁶⁾는 3D 프린팅, 모듈화, 가상현실(Augmented Reality, AR), 로봇틱스, 블록체인, BIM, 증강현실, 매니지드 서비스(Managed services)를 4차 산업혁명 시대의 주요 건설기술로 정의함.

13) WEF(2018), 「An Action Plan to Accelerate Building Information Modeling(BIM) Adoption」.

14) BCG(2016), 「Digital in Engineering and Construction」.

15) PWC(2016), 「Industry 4.0: Building the digital enterprise」.

16) EY(2018), 「How can technology improve challenges faced within the E&C industry?」.

- 주요 디지털 건설기술들은 BIM, 클라우드, 사물인터넷, 데이터 고급 분석(인공지능, 빅데이터 등), 증강현실, 가상현실, 모듈러, 3D 프린팅, 로봇틱스, 지능형 건설장비, 무인 항공기(드론 등) 등임.

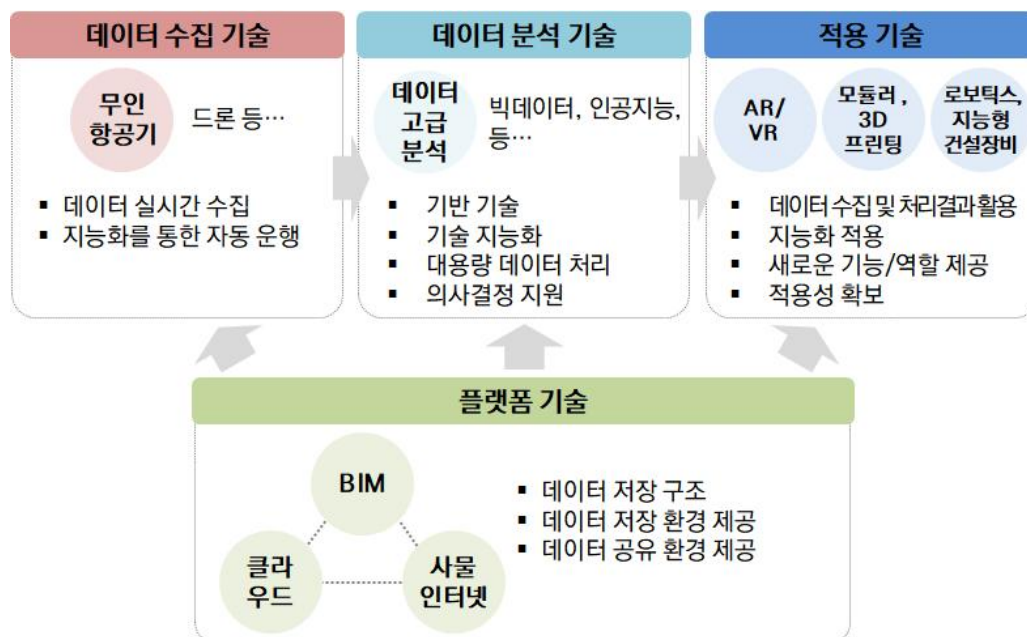
- 이러한 기술들을 플랫폼 기술, 기반 기술, 혁신 기술로 분류하면 <표 4>와 같음. BIM 및 클라우드, 사물인터넷은 기술 구현 환경을 제공하는 플랫폼 기술로 이해할 수 있으며, 인공지능, 빅데이터 등을 포함하는 데이터 고급 분석은 지능화를 지원하는 기반 기술임. 혁신 기술에는 가상현실, 증강현실, 모듈러, 3D 프린팅, 로봇틱스, 지능형 건설장비가 해당함.

〈표 4〉 주요 디지털 건설기술

구분	주요 디지털 건설기술
플랫폼 기술	BIM, 클라우드, 사물인터넷
기반 기술	데이터 고급 분석(빅데이터, 인공지능 등 포함)
혁신 기술	무인 항공기(드론 등), 가상현실, 증강현실, 모듈러, 3D 프린팅, 로봇틱스, 지능형 건설장비

- 상술한 기술들을 건설산업 내 도입 및 활용 측면에서 고려할 때 사업 수행 프로세스 안에서 어떤 역할을 하는지에 따라 ‘플랫폼 기술’, ‘데이터 수집 기술’, ‘데이터 분석 기술’, ‘적용 기술’로 구분할 수 있음(<그림 4> 참조).

〈그림 4〉 디지털 건설기술 구분과 역할



- 플랫폼 기술들은 데이터를 저장 및 공유함으로써 데이터의 입력, 처리, 출력 과정 전반을 통합적으로 지원하기 위한 기술을 의미하며 BIM, 클라우드, 사물인터넷 기술 등이 해당함.
- 데이터 수집 기술은 지능화의 개념을 포함해 새로운 방식으로 데이터 수집을 가능하게 하는 기술을 의미하며 드론 등의 무인 항공기가 이에 해당함.
- 데이터 분석 기술은 지능화를 가능하게 하는 기반 기술로 빅데이터나 인공지능 기술 등이 이에 해당함. 예를 들어 빅데이터 기술은 기존과는 다른 데이터 분석 방식을 통해 목적에 적합한 처리 결과를 제공하여 의사결정을 지원함.
- 적용 기술은 수집한 데이터와 데이터 분석 결과를 활용하여 특정 목적에 적합하도록 구현된 기술을 의미함. 세부 기술로는 가상현실, 증강현실, 모듈러, 3D 프린팅, 로봇틱스, 지능형 건설장비 기술 등이 있음. 적용 기술의 경우 이미 알려진 기술들이기도 하나 지능화의 개념이 새롭게 포함되면서 새롭게 적응성을 확보한 기술이 대부분임.

■ 데이터의 수집 및 분석, 적용 기술은 플랫폼 기술을 기반으로 융·복합 방식으로 적용할 수 있으며, 각 기술은 실제로 특정 목적을 달성하기 위한 요소 기술로 활용됨.

- 예를 들어 건설 현장에서는 측량의 자동화를 위하여 드론 등의 무인 항공기 적용을 확대하고자 함. 이 경우 BIM, 클라우드 기술은 플랫폼 기술로 수집한 데이터의 저장 환경을 제공하며, 드론을 통해 수집한 데이터는 빅데이터 기술을 통해 처리되어 시각화됨.

1. 디지털 건설기술의 활용 방향

■ 설계¹⁷⁾ 단계에서 디지털 건설기술 활용의 목적은 ‘데이터 기반의 3D 통합 설계 모델’ 구축임. ‘디지털 협업’, ‘데이터 기반 설계’, ‘시뮬레이션 및 프로토타입 제작’, ‘물리적 구조의 가상화’, ‘데이터 분석 및 설계 최적화’ 등이 구체적인 활용 방향으로 제시됨 (<그림 5> 참조).

- 디지털 협업은 BIM, 클라우드 환경에서 사업 참여자들이 효율적인 3D 통합 설계 모델을 구축하는데 목적이 있음. 예를 들어 가상현실 기술과 연계하여 반복적 설계 과정에서 발생하는 간섭 및 충돌 사항 등을 (반)자동으로 체크하여 설계 오류를 최소화함.
- 데이터 기반 설계는 사업 주변 환경, 이용자의 행동, 교통 현황 등에 대한 데이터 분석 결과를 활용하여 의사결정을 지원하고 최적 설계안을 도출함. 이 과정에서 인공지능, 빅데이터 등의 데이터 고급 분석 기술이 적용됨.

17) BCG(2016), 「Digital in Engineering and Construction」 재구성.

- 시뮬레이션 및 프로토타입의 제작은 가상현실, 3D 프린팅 기술을 적용하여 설계안을 시각화하고 이를 통해 복잡한 구성 요소를 포함하는 건축물에 대한 반복적인 설계 과정을 최소화함.
- 물리적 구조의 가상화는 자동 측량 개념으로 드론 등의 무인 항공기를 활용하여 수집한 항공 정보와 데이터를 지도화(Mapping)하여 사업 주변 환경을 3D 모델로 변환함.
- 데이터 분석 및 설계 최적화는 디지털 협업을 통해 도출한 클라우드 환경의 3D 통합 모델을 활용하여 가치공학(Value Engineering, VE), 비용, 에너지 등을 반복적으로 분석하고 최적의 설계안을 도출함.

〈그림 5〉 디지털 건설기술의 적용 방향



■ 시공 단계¹⁸⁾에서는 공사비 절감과 공사 기간 단축 및 안전성 확보가 디지털 건설기술 활용의 목적이 됨. 구체적인 활용 방향에는 ‘실시간 데이터 공유 및 조정’, ‘데이터 기반 계획 수립 및 적용’, ‘새로운 제작 방식의 적용’, ‘시공 자동화’, ‘시공 모니터링’이 포함됨(〈그림 5〉 참조).

- 실시간 데이터 공유 및 조정은 클라우드상의 3D BIM 모델을 활용하여 시공 중 발생하는 데이터를 통합·관리하는 것을 의미함. 예를 들어 사업 참여자는 증강현실이나 가상현실 기술을 통해 실시간으로 데이터 및 시공 정보를 확인할 수 있으며 문제 발생시 빠르게 대응할 수 있음.

18) BCG(2016), 「Digital in Engineering and Construction」 재구성.

- 데이터 기반 계획 수립 및 적용은 인공지능, 빅데이터 등의 데이터 고급분석 기술을 통해 과거 사업의 데이터를 분석하고 이를 신규 사업에 반영하는 것을 의미함. 이는 시공 수행시 장비, 자원, 작업자 등에 대한 위치 데이터와 연계하여 자원 운용과 업무의 효율성을 증진함.
- 새로운 제작 방식의 적용은 3D BIM 모델에 저장된 데이터를 활용하여 모듈러, 3D 프린팅 등의 새로운 공법 또는 제작 방식을 적용하는 것을 의미함. 이를 통해 시공 프로세스 개선, 날씨 등 요인으로 인한 공사 기간 지연 축소, 안전한 작업 환경 제공, 자재 및 장비 운용 최적화 등을 추구함.
- 시공 자동화는 3D BIM 모델과 인공지능 기반의 원격 제어 시스템을 활용하여 로봇틱스, 지능형 건설장비, 무인 항공기 등을 건설 현장 내 적용하고 이를 통해 생산성, 정확성, 안정성을 확보함.
- 시공 모니터링은 무인 항공기를 통해 수집한 데이터와 증강현실 기술, 3D BIM 모델을 연계하여 진도를 추적·관리하고 오류를 정정함. 이 외에도 사물인터넷 기술을 통해 장비의 상태 정보를 실시간으로 파악하여 장비 운용을 최적화함.

■ 운영 및 유지관리¹⁹⁾ 단계에서는 건축물의 생애주기 수명 증진과 유지관리 비용 절감이 디지털 건설기술 활용의 목적임. 구체적인 적용 방향에는 ‘BIM 및 데이터 기반 유지관리’, ‘가상 핸드오버 및 시운전’, ‘스마트 유지관리’, ‘성능 모니터링 및 선제적 유지관리’, ‘유지보수 및 리모델링 효율화’가 포함됨(〈그림 5〉 참조).

- BIM 및 데이터 기반 유지관리는 선행 단계의 데이터를 저장하고 있는 3D BIM 모델과 시설물 유지관리 시스템 또는 자산관리 시스템을 연계하여 유지관리 비용을 절감하는 것을 의미함.
- 가상 핸드오버 및 시운전은 시설물의 준공검사이시 BIM 소프트웨어를 활용하여 결과를 3D BIM 모델에 저장하고, 이를 기반으로 유지관리 시뮬레이션을 수행함으로써 핸드오버 및 시운전 과정을 간소화하고 효율화하는 것을 의미함.
- 스마트 유지관리는 3D BIM 모델과 증강현실 기술을 활용하여 시설물의 기계, 전기, 배관(MEP) 등 보이지 않는 구성 요소에 대한 유지관리를 수행하는 것을 의미함. 또한 필요시 MEP에 대한 유지관리 매뉴얼, 재고 수준 등에 대한 정보를 지원함.
- 성능 모니터링 및 선제적 유지관리는 센서, 사물인터넷 기술을 활용하여 시설물의 성능 데이터를 실시간으로 모니터링하고, 이를 통해 선제적 유지관리 활동을 수행하는 것을 의미함. 이러한 활동은 기존의 매뉴얼 기반의 반복적인 성능 검사를 지양하고, 예상치 못한 결함을 최소화하여 비용을 절감함.
- 건축물 유지보수 및 리모델링 효율화는 3D BIM 모델 내 저장된 데이터를 활용한 고급분석을 통해 생애주기 수명을 예측하고 적시에 유지보수 및 리모델링 활동을 수행함으로써 운영 및 유지관리 비용을 최소화함.

19) BCG(2016), 「Digital in Engineering and Construction」 재구성.

IV 디지털 건설기술 스타트업과 적용 사례

■ 본 장에서는 제시된 디지털 건설기술의 실질적 적용 가능성을 파악하기 위해 디지털 건설기술 기반의 솔루션을 제공하는 스타트업(startup) 기업을 분석함.

- 디지털 건설기술별 분석 대상은 '2017년 CB Insights'²⁰⁾에서 제시한 건설기술 시장 지도(Construction Tech Market Map)²¹⁾ 등을 참고해 건설업 내 기술 공급자(technology provider)로서 두각을 나타내고 있는 기업을 선정함(표 5) 참조).

■ 더불어 디지털 건설기술을 적극적으로 도입 및 적용하고 있는 기업과 실제 적용 사례를 분석해 제시된 디지털 건설기술의 활용 가능성을 이해하고자 하였음.

〈표 5〉 디지털 건설기술 스타트업 기업

기술 구분		분석 대상 스타트업	비고
플랫폼 기술	BIM 및 클라우드	온셰이프	
	사물인터넷	레이븐	
데이터 수집 기술	무인 항공기	스카이캐치	
데이터 분석 기술	데이터 고급 분석 (빅데이터, 인공지능 등)	업테이크	
적용 기술	증강현실	홀로빌더	
	가상현실	아이리스VR	
	모듈러	카테라	
	3D 프린팅	MX3D	
	로보틱스	컨스트럭션 로보틱스	
	지능형 건설장비	코마츠	

20) CB Insights, <<https://www.cbinsights.com/research/construction-tech-startup-market-map/>>, 2019.3.4.

21) '2017 CB Insights'는 디지털 건설기술을 제공하는 100대 스타트업 기업을 조사·분석해 '건설기술 시장 지도(Construction Tech Market Map)'를 제시한 바 있음. '건설기술 시장 지도'는 스타트업 기업들이 제공하고 있는 주요 기능을 크게 '협업 지원 소프트웨어', '시장 분석', '첨단기술 및 로보틱스', '설계 기술', '제조 및 공급망관리', '리스크관리', '데이터 분석', '재무관리'로 분류하고 있음.

1. 디지털 건설기술 스타트업 기업 분석

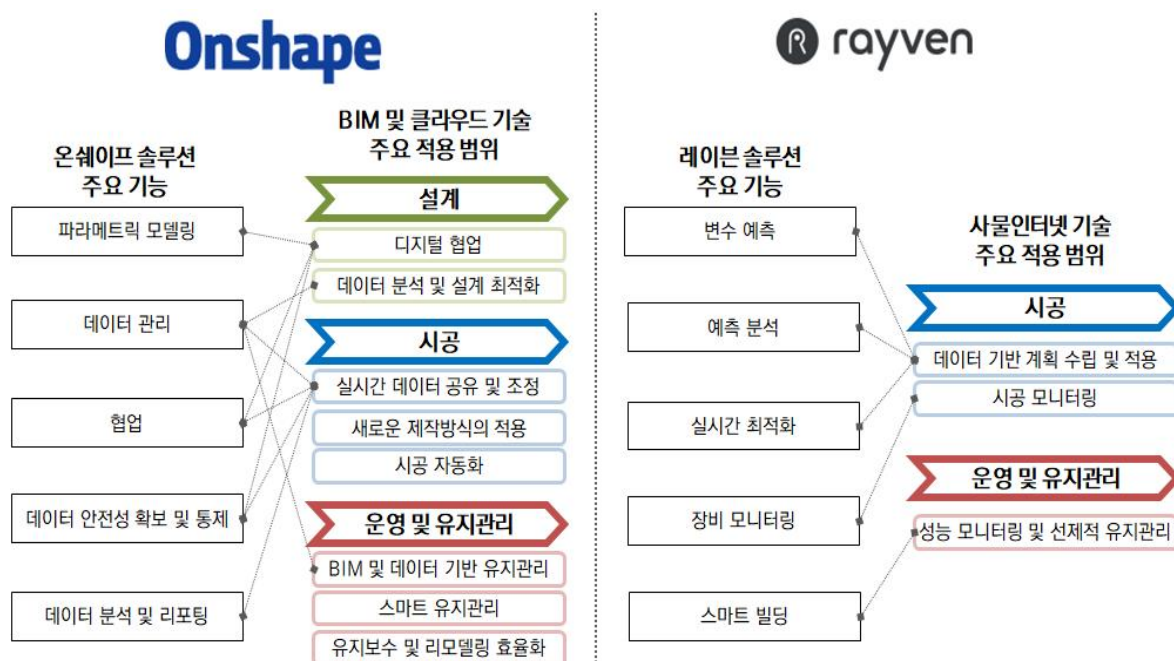
(1) 플랫폼 기술 - 온셰이프(Onshape)와 레이븐(Rayven)

■ BIM, 클라우드, 사물인터넷 등 플랫폼 기술 기반으로 솔루션을 제공하고 있는 대표적인 스타트업 기업으로는 온셰이프와 레이븐을 꼽을 수 있음.

- 온셰이프²²⁾는 BIM과 클라우드 기술을 기반으로 제품 설계를 지원하는 솔루션을 제공하고 있으며, 레이븐²³⁾은 사물인터넷 기술을 활용하여 다양한 산업계에 적용 가능한 맞춤형 통합 솔루션을 제공하는 기업임.

■ <그림 6>에서 보듯이 온셰이프의 솔루션은 ‘파라메트릭 모델링’, ‘데이터관리’, ‘협업’, ‘안전성 확보와 제어’, ‘데이터 분석과 리포팅’ 등의 기능을 제공함.

〈그림 6〉 온셰이프와 레이븐의 플랫폼 기술 기반 솔루션



- 파라메트릭 모델링 기능은 사업 참여자들이 담당하는 각 부분을 동시에 작업할 수 있도록 지원하고, 데이터관리는 클라우드 공간을 데이터베이스로 활용하여 발생하는 데이터를 통합·관리하는 기능임.

22) Onshape 홈페이지, <<https://www.onshape.com/>>, 2019.4.2.

23) Raven 홈페이지, <<https://www.rayven.io/>>, 2019.4.2.

- 협업 기능은 설계안에 대한 실시간 검토, 이력관리, 동시 수정, 의사소통 등의 세부 기능을 제공하고, 안전성 확보와 제어는 클라우드 공간의 안전성을 확보하기 위해 참여자별 권한 설정 기능, 인증 등의 세부 기능을 제공함.
- 데이터 분석과 리포팅은 사업, 사용자, 문서별 분석을 통한 대시보드 기능을 제공하며, 이 외에도 다양한 상용화 애플리케이션과 통합 가능한 확장성을 지닌 것으로 파악됨.

■ 온쉐이프에서 제공하는 솔루션의 주요 기능은 BIM 및 클라우드 기술의 적용 범위와 비교하면 (설계) ‘디지털 협업’, ‘데이터 분석 및 설계 최적화’, (시공) ‘실시간 데이터 공유 및 조정’, (유지관리) ‘BIM 및 데이터 기반 유지관리’와 높은 연관성이 있음.

- 온쉐이프에서 제공하는 파라메트릭 모델링, 협업, 데이터관리 기능은 설계 단계의 디지털 협업, 데이터 분석 및 설계 최적화를 지원함. 데이터관리, 협업, 데이터 안전성 확보 및 통제 기능은 시공 단계의 실시간 데이터 공유 및 조정을 가능하게 함. 또한, 데이터관리 기능은 유지관리 단계의 BIM 및 데이터 기반 유지관리에도 적용이 가능할 것임.

■ 레이븐은 제조, 농업, 인프라, 의료, 에너지, 장비, 물류 등의 분야에 적용 가능한 사물인터넷 기반의 다양한 솔루션을 제공하고 있음. 건설 분야의 경우 ‘스마트 건설 솔루션’과 ‘스마트 사업 솔루션’을 통해 ‘변수 예측’, ‘예측 분석’, ‘실시간 최적화’, ‘장비 모니터링’, ‘스마트 빌딩’ 기능 등을 제공하고 있음(〈그림 6〉 참조).

- 변수 예측 기능은 날씨, 자재 지연 등을 사전에 예측함으로써 사업 수행의 정확도를 높이고 예측 분석 기능은 사업 수행 과정을 사전에 예측하여 사업을 공사 기간 내 완수할 수 있도록 함.
- 실시간 최적화 기능은 문제 발생시 생산성과 프로세스의 최적화를 지원하며, 장비 모니터링 기능은 장비를 실시간으로 모니터링하고 관리하여 활용도를 증진함. 이 외 스마트 빌딩 기능은 난방, 에너지, 환기, 조명 등을 최적화하여 관리할 수 있도록 지원함.
- 위와 같은 기능들은 모바일 등 각종 장치와 인공지능, 빅데이터 등의 분석 기술과 연계되어 적용되고 있는 것으로 파악됨.

■ 레이븐에서 제공하는 솔루션의 주요 기능을 사물인터넷 기술의 적용 범위와 비교하면, 이 솔루션은 (시공) ‘데이터 기반 계획 수립 및 적용’, ‘시공 모니터링’, (유지관리) ‘성능 모니터링 및 선제적 유지관리’와 연관성이 높은 것으로 파악됨.

- 레이븐에서 제공하는 내외부 변수 예측, 예측 분석, 실시간 최적화, 장비 모니터링 기능은 시공 단계의 데이터 기반 계획 수립 및 적용과 시공 모니터링을 지원할 수 있음. 이 외 스마트 빌딩 기능은 유지관리 단계의 성능 모니터링 및 선제적 유지관리에 적용 가능함.

(2) 데이터 수집 및 분석 기술 - 스카이캐치(SKYCATCH)와 업테이크(UPTAKE)

데이터 수집 및 분석 기술 분야에서는 무인 항공기 기반의 솔루션을 제공하고 있는 스카이캐치와 빅데이터, 인공지능 등을 기반으로 솔루션을 제공하고 있는 업테이크가 대표적인 스타트업 기업임.

- 스카이캐치²⁴⁾는 무인 항공기인 드론을 활용하여 데이터를 수집 및 처리할 수 있는 패키지를 제공하며, 벡텔(BECHTEL)과 스칸스카(SKANSKA), DPR 등의 건설기업이 이를 도입 및 적용한 바 있음.
- 업테이크²⁵⁾는 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능, 머신러닝 등의 기술을 적용하여 다양한 산업 분야에서 발생하는 데이터를 수집하고 분석할 수 있는 솔루션을 제공하고 있음.

〈그림 7〉에서 보듯이 스카이캐치는 드론을 활용하여 건설 현장에 특화된 솔루션을 제공하고 있으며, 주요 기능은 크게 ‘데이터의 관리 및 전송’, ‘시각화’, ‘3D 측량 및 모델링’으로 구분됨.

- 데이터의 관리 및 전송은 드론을 통해 수집한 이미지(image)를 데이터로 변환해 저장 및 공유하는 기능임. 또한, 드론을 통해 수집한 데이터를 실시간으로 다른 장비 또는 기기에 전송하는 것도 가능함. 시각화 기능은 드론을 통해 수집한 영상 또는 이미지 정보를 2D 또는 3D로 변환하거나 시간 흐름에 따라 나타내는 기능이며, 3D 측량 및 모델링은 수집한 지형 데이터를 3D 모델로 구현함.
- 스카이캐치는 상술한 기능들의 효용성을 제고하기 위해 수집된 데이터의 정밀성 또는 정확도를 높이는 방향으로 솔루션의 완성도를 고도화하고 있음.

스카이캐치 솔루션의 주요 기능을 무인 항공기의 적용 범위와 비교해보면, (설계) ‘물리적 구조의 가상화’, (시공) ‘시공 자동화’, ‘시공 모니터링’과 높은 연관성을 지님.

- 스카이캐치에서 제공하는 데이터 관리 및 전송 기능은 다른 장비 또는 기기에 데이터 전송을 가능하게 함으로써 시공 자동화를 지원할 수 있음.
- 시각화 기능의 경우 드론을 통해 건설현장 현황을 파악하는 등의 시공 모니터링을 가능케 하고, 3D 측량 및 모델링은 설계 단계의 물리적 구조의 가상화를 지원할 수 있음.

업테이크는 빅데이터, 인공지능, 머신러닝 등의 데이터 고급분석 기술을 활용해 농업, 건축물 유지관리, 현장 시공, 에너지, 장비, 제조, 광업, 오일&가스 등의 분야에 적용 가능한 운영·유지·자산 관리 솔루션을 제공하고 있음(〈그림 7〉 참조).

24) SKYCATCH 홈페이지, <<https://www.skycatch.com/>>, 2019.4.2.

25) UPTAKE 홈페이지, <<https://www.uptake.com/>>, 2019.4.2.

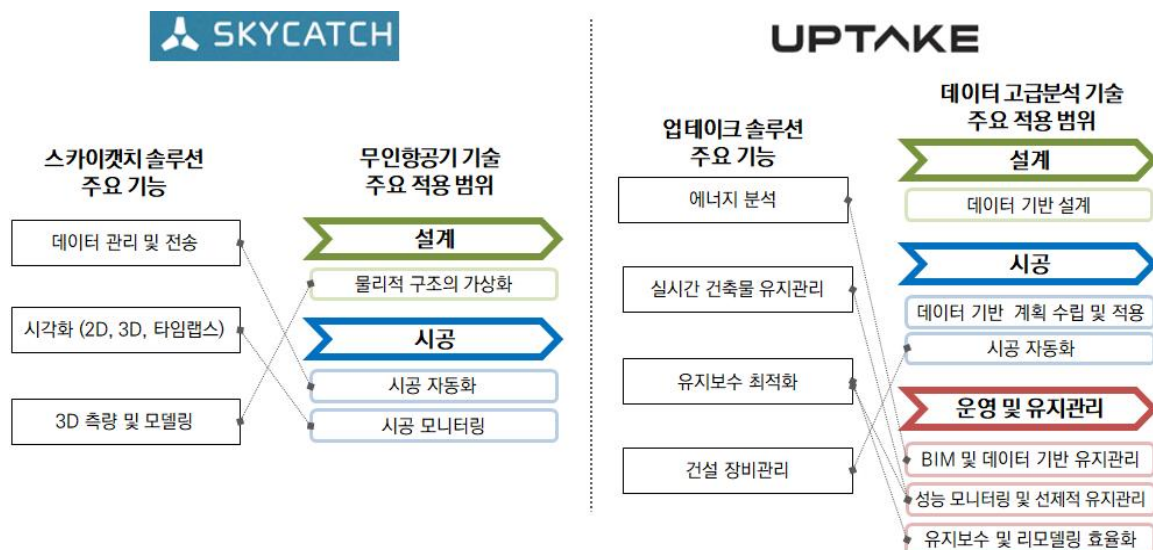
■ 업테이크가 제공하는 서비스 중 건축물 유지관리, 시공 및 장비 분야의 솔루션 기능은 크게 ‘에너지 분석’, ‘실시간 건축물 유지관리’, ‘유지보수 최적화’, ‘건설 장비 실시간 추적관리’로 구분됨.

- 에너지 분석 기능은 에너지 소비 데이터를 기반으로 사용량의 최적화를 지원하며, 실시간 건축물 유지관리 기능은 건축물을 구성하는 부품 또는 자산에 대한 상세 정보와 모니터링을 통해 적시에 이를 교체하여 생애주기 수명을 증대시킬 수 있음.
- 유지보수 최적화는 건축물을 구성하는 부품 또는 자산의 생애주기 수명을 예측 및 관리하여 교체 대상과 시기를 표준화하는 기능을 의미함. 건설장비 관리는 장비의 위치 등을 포함한 각종 정보를 분석하고 이를 기반으로 장비를 관리 및 활용함.

■ 업테이크의 솔루션을 데이터 고급분석 기술의 적용 범위와 비교하면, 이 솔루션은 (시공) ‘시공 자동화’, (운영 및 유지관리) ‘BIM 및 데이터 기반 유지관리’, ‘성능 모니터링 및 선제적 유지관리’, ‘유지보수 및 리모델링 최적화’와 연관성을 지님.

- 업테이크에서 제공하는 에너지 분석 기능은 BIM 및 데이터 기반 유지관리를 가능하게 하며, 실시간 건축물 유지관리와 유지보수 최적화 기능은 성능 모니터링 및 선제적 유지관리를 지원함.
- 유지보수 최적화 기능은 건축물 구성 요소의 유지보수와 리모델링 시점을 도출하여 유지보수 및 리모델링 효율화를 가능하게 함. 건설장비 관리 기능은 장비에 대한 위치 추적을 통해 시공 자동화를 지원함.

〈그림 7〉 스카이캐치와 업테이크의 데이터 수집 및 분석 기술 기반 솔루션



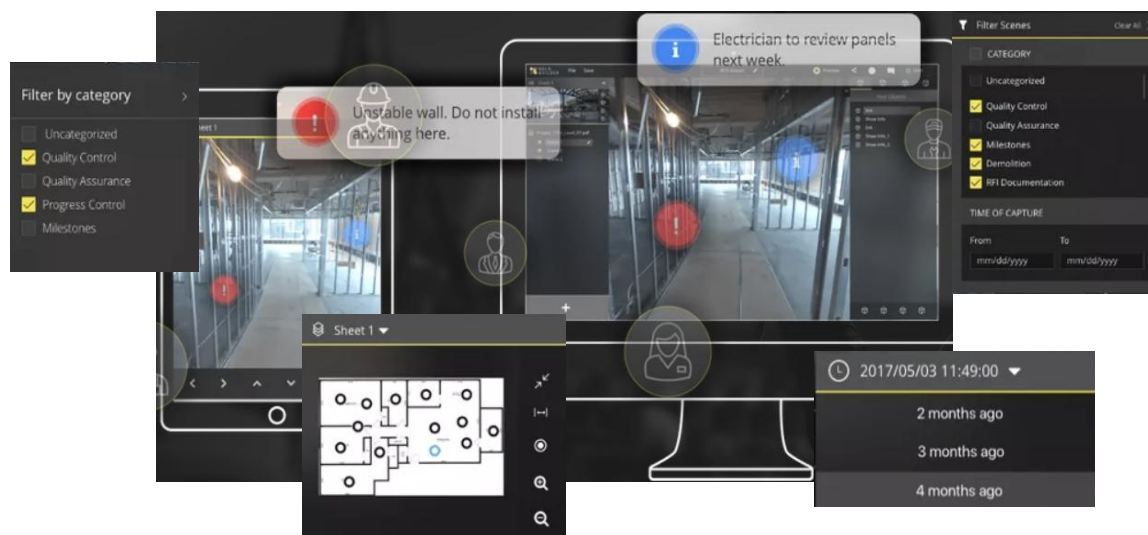
(3) 적용 기술 - 홀로빌더() , 카테라(KATERRA), 코마츠() 등

■ 증강현실(VR), 가상현실(AR), 모듈러, 3D 프린팅, 로봇틱스 등과 같은 기술 기반의 솔루션을 제공하고 있는 대표적인 스타트업 기업에는 홀로빌더와 아이리스 VR, 카테라, MX3D, 코마츠 등이 있음.

■ 홀로빌더의 솔루션은 ‘현장 애플리케이션’, ‘기업 대시보드’, ‘360 실시간 현장 전송’ 등으로, 주요 기능은 ‘360도 시각화’, ‘협업’, ‘대시보드’ 등임(〈그림 8〉 참조).

- 360도 시각화 기능은 현장 또는 건축물의 360도 이미지 또는 영상을 시간에 따라 제공하며 협업 기능을 지원함. 협업 기능은 ‘360도 시각화’ 기능을 기반으로 웹 기반 편집 및 뷰어, 실시간 보고서 생성, 마크업, 회의 중계, 거리 측정, 문서관리, 주석 및 첨부 등의 세부 기능을 제공함.
- 이 외 수행 중인 다양한 사업에 대한 분석을 통하여 대시보드 기능을 제공하거나 사업 참여자 관리 기능을 통해 본사 업무를 지원하고 있음. 홀로빌더는 이러한 기능과 함께 Aodesk BIM 360, Navisworks, Bluebeam, Procore, PlanGrid, Google maps 등 다양한 소프트웨어와 통합 가능한 확장성을 지니고 있음.

〈그림 8〉 홀로빌더 솔루션이 제공하는 주요 현장관리 기능 예시



■ 홀로빌더 솔루션의 주요 기능을 증강현실 기술의 적용 범위와 비교하면, 이 솔루션은 (시공) ‘실시간 데이터 공유 및 조정’, ‘시공 모니터링’, (운영 및 유지관리) ‘스마트 유지관리’ 분야와 연관성이 높음(〈그림 9〉 참조).

- 360도 시각화, 협업, 대시보드 기능은 현장의 정보 및 데이터를 사업 참여자, 본사와 실시간으로 공유하여 문제 발생시 이에 빠르게 대응할 수 있도록 함. 또한 360도 시각화 기능은 현장의 상황을 이미지나 영상을 통해 공유하여 시공 모니터링을 지원하며, 이러한 정보 및 데이터는 유지관리 단계의 스마트 유지관리를 위한 기초 자료로 활용됨.
- Hensel Phelps, Skanska, Mortenson 등 미국 내 'ENR TOP 100'의 종합건설업체 중 57%가 홀로빌더가 제공하고 있는 솔루션을 사용 중인 것으로 나타남.

■ 아이리스VR은 회의를 지원하기 위한 솔루션을 제공하며, 주요 기능은 크게 '시뮬레이션', '이슈 추적관리', '보고서 생성' 등임.

- 시뮬레이션 기능은 3D 모델과 가상현실 공간을 연결하여 모델의 개발 과정을 보여주며 회의 참여자들은 이 기능을 통해 간섭, 충돌 등의 문제를 사전에 파악할 수 있음. 또한, 회의 참여자들은 이슈 추적관리 기능을 통해 파악한 문제의 해결 여부와 과정을 확인할 수 있음.
- 이 외에도 아이리스VR은 회의 과정에서 도출한 문제, 사항 등을 검토할 수 있도록 주석, 스크린샷 등을 포함한 보고서를 자동으로 생성할 수 있는 보고서 생성 기능을 제공함.

■ 아이리스VR 솔루션의 주요 기능을 가상현실 기술의 적용 범위와 비교하면, 이 솔루션은 (설계) '디지털 협업', '시뮬레이션 및 프로토타입 제작', (시공) '실시간 데이터 공유 및 조정'과 높은 연관성을 지님(<그림 9> 참조).

- 시뮬레이션, 이슈 추적관리, 보고서 생성 기능은 설계 단계의 참여자들이 디지털 협업을 수행할 수 있는 환경을 제공하며, 이 외에도 시뮬레이션 및 프로토타입 제작을 지원하여 설계 효율성을 증진시킴.
- 아이리스VR의 회의 지원 솔루션에서 제공하는 이슈 추적관리, 보고서 생성 기능의 경우 시공 단계의 실시간 데이터 공유 및 조정 측면에서도 활용성을 지니고 있음.

〈그림 9〉 홀로빌더와 아이리스VR의 증강현실과 가상현실 기술 솔루션



■ 적용 기술 중 모듈러와 3D 프린팅 기술을 활용해 새로운 생산 체계를 제시하고 있는 기업으로는 ‘카테라’와 ‘MX3D’가 있음.

- 카테라²⁶⁾는 오프사이트 생산 방식(Off-site construction)과 기존의 전통적인 현장 생산 방식을 융합하여 새로운 생산 프로세스를 제시하고 있음.
- MX3D²⁷⁾는 금속 합금과 프린팅 로봇을 활용하여 경량의 교량이나 건물, 맞춤형 선박 등을 제조할 수 있는 적층제조(Additive manufacturing) 기법을 제시하고 있음.

■ 카테라는 공장 생산 방식의 도입을 통하여 건축물 구성 요소를 모듈화(Modulization)하고, 이를 현장에서 조립하는 방식을 적용하고 있음. 이러한 생산 방식을 위해 건축물의 설계, 자재 공급, 건설 과정을 통합하였으며, 궁극적으로 생산성 혁신을 추구하고 있음(〈그림 10〉 참조).

- 예를 들어 설계의 경우 지붕, 발코니, 마감 등을 표준화하여 공장 생산 방식의 효율성을 높이고 자재 공급 측면에서는 글로벌 공급망을 구축해 고품질의 제품을 직접 수급하고 생산 과정에 활용함으로써 중개 과정의 비효율성을 제거하고 있음.
- 또한, 제조업과 유사한 공장 생산 방식과 현장 생산 방식을 동시에 적용함으로써 작업 생산성 증대, 숙련도 향상, 현장 생산성 제고, 품질관리 및 정확성 증진을 달성함.

〈그림 10〉 카테라의 공급망과 생산 방식



26) 카테라 홈페이지, <<https://www.katerra.com/en.html>>, 2019.3.3.

27) MX3D 홈페이지, <<https://mx3d.com/>>, 2019.4.7.

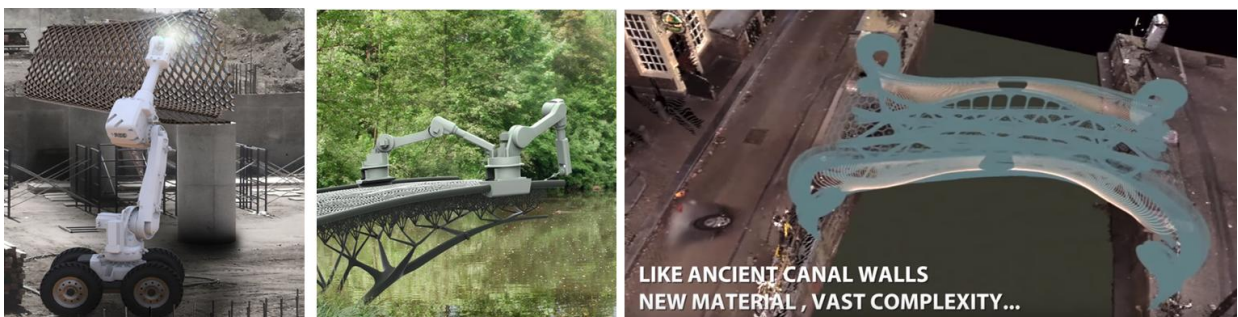
- MX3D는 3D 프린팅 로봇을 통해 금속 합금 제품을 생산하며 이 과정에서 인공지능, 머신러닝 등의 데이터 분석 기술이 함께 적용됨. 3D 프린팅 기술이 적용된 대표적인 건설 상품으로 경량 교량 사례를 제시하고 있음(〈그림 11〉 참조).

- 3D 프린팅 기술은 비정형 건축물 또는 모듈의 출력을 가능하게 함. 이 외에도 적층제조에 적합한 재료의 효율적 사용, 이로 인한 폐기물의 감소, 공사 기간의 획기적 단축 등의 장점을 지니고 있음. 향후 3D 프린팅 기술을 건설산업에 원활하게 도입하기 위해서는 높은 강도와 장기간의 내구 수명을 가지며 3D 프린팅 방식에 적합한 건설 재료의 개발이 요구됨.

- MX3D 사례는 3D 프린팅 기술의 적용 범위와 비교하면 (설계) ‘시뮬레이션 및 프로토타입 제작’, (시공) ‘새로운 제작 방식의 적용’과 높은 연관성을 지님.

- 3D 프린팅 기술은 설계안의 프로토타입 제작을 통해 오류 등을 사전에 파악할 수 있도록 지원하며, 시공 단계의 새로운 시공 기술로 활용할 수 있음.

〈그림 11〉 MX3D 적층제조 제작 방식과 교량 사례



- 컨스트럭션 로보틱스와 코마츠는 적용 기술 중 로보틱스와 지능형 건설장비를 개발하고 건설 현장 내 적용성을 제시하는 기업임. 컨스트럭션 로보틱스²⁸⁾는 리프트 보조 로봇 ‘MULE135’와 조적 로봇 ‘SAM100’을 개발하여 건설 현장에 적용하고 있음.

- 리프트 보조 로봇 MULE(Material Unit Lift Enhancer)은 135파운드(lbs, 약 62kg) 이내의 건설 자재 이동을 지원하며 석공에 대표적으로 적용되고 있음(〈그림 12〉 참조). SAM(Semi-Automated Mason)은 최초의 상업용 조적 로봇으로 벽돌 조적 작업자의 업무를 지원하며 건설 현장 내 적용한 결과 데이터를 활용하여 지속적으로 개선되고 있음.
- 이러한 건설 로봇의 현장 도입은 작업자 부족 문제를 해결할 수 있게 하고, 생산성 향상, 작업자 피로도 감소, 재료 낭비 감소 측면에서 도움이 됨.

28) 컨스트럭션 로보틱스 홈페이지, <<https://www.construction-robotics.com/>>, 2019.4.8.

〈그림 12〉 컨스트럭션 로보틱스의 MULE135(좌)와 SAM100(우) 사례



■ 코마츠²⁹⁾는 일본의 대표적인 중장비 개발 및 임대 기업으로 지능형 기계제어 솔루션 기반의 건설장비 자동화에 집중하고 있음.

- 코마츠는 위치추적 시스템, 3D 설계 데이터, 각종 제어 시스템 및 센서 등이 적용된 굴삭기와 불도저를 출시하였으며, 현재는 반자동화 수준의 적용성을 확보하고 있음(〈그림 13〉 참조).
- 코마츠는 지능형 건설장비를 활용한 시공 자동화를 목표로 건설 현장의 모든 정보를 연결해 발주자 또는 건설기업을 대상으로 현장 고정밀도 측량, 시공 계획 시뮬레이션, 시공 도면 3D화 등의 솔루션을 제공함.
- 코마츠의 지능형 건설기계는 시공 단계의 ‘시공 자동화’와 ‘시공 모니터링’ 측면에서 활용성을 보여주고 있음.

〈그림 13〉 코마츠의 굴삭기(좌)와 불도저(우) 사례



자료 : 조재용(2018), 「4차 산업혁명에 따른 일본 건설산업의 기술 개발 동향」.

29) 코마츠 홈페이지, <<https://home.komatsu/en/>>, 2019.04.08.

2. 디지털 건설기술의 적용 사례

- 건설기업들은 디지털 건설기술 활용이 생산성 향상과 경쟁력 제고에 미치는 영향에 대해 긍정적으로 평가하고 있음.
- 본 연구에서는 EPC 기업인 벡텔의 사례를 비롯해 싱가포르 건설청의 모듈러 적용 사업 등 구체적인 사례를 제시하고자 함.
- EPC 및 사업관리 기업인 벡텔(Bechtel)³⁰⁾은 디지털 건설기술의 도입을 통한 건설현장 혁신 전략으로 ‘Project 2020 : Innovating the Construction Site’를 추진 중임.
 - 벡텔은 혁신 전략을 달성하기 위한 5단계의 프로세스를 아래의 그림과 같이 제시하고 있으며 공사 기간 30% 단축과 공사비 20% 절감을 목표로 하고 있음.
 - 혁신 프로세스는 ‘(1) 아이디어 창출 및 개념화, (2) 평가, (3) 프로토타입의 제작, (4) 파일럿 테스트, (5) 기술 적용’으로 구성됨.
 - 벡텔은 이를 추진하기 위해 다양한 스타트업 기업과 글로벌 대학 및 연구소 등과 협업을 수행하고 있음(〈그림 14〉 참조).

〈그림 14〉 벡텔의 5단계 혁신 프로세스 및 목표



- 벡텔은 실제로 다양한 디지털 건설기술 중 ‘빅데이터’, ‘드론’, ‘로봇’, ‘가상현실 및 증강현실’ 등을 혁신 프로세스를 통해 개발 및 적용하고 있음(〈표 6〉 참조).
 - 구체적으로 ‘문제 해결을 위한 빅데이터 센터 운영’, ‘자재 조달 도구의 개발 및 활용’, ‘드론의 현장 적용’, ‘외골격 로봇 기술 개발 지원 및 자율주행차량을 통한 원격 자재 조달’, ‘스마트 안경을 활용한 업무 지원’을 수행하고 있음.

30) 벡텔 홈페이지, <<https://www.bechtel.com/about-us/vision-values-covenants/>>, 2019.3.3.

- 이러한 기술 외에도 벅텔은 건설 현장 내 사물인터넷 환경 구축, 데이터 중심의 업무 수행, 머신러닝 및 인공지능 기반 분석, 새로운 생산 방식의 적용 등을 주요 디지털 건설기술로 언급함.


〈표 6〉 벅텔의 디지털 건설기술 활용 현황

디지털 건설기술	활용 현황
빅데이터 분석	<ul style="list-style-type: none"> • 사업 수행시 발생하는 문제를 해결하기 위한 빅데이터 센터 운영
가상의 디지털 생산 시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 공사 감독자, 조달 전문가, 엔지니어링 그룹 관리자 등이 필요한 자재를 신속하게 주문 및 조달할 수 있는 도구를 만들어 공사 기간과 공사비를 절감
드론	<ul style="list-style-type: none"> • 안전성과 정밀성을 증진하고 공사비를 저감하기 위하여 진도 보고, 정밀 측량, HSE(Health, Safety, Environment) 관리, 자재 추적, 4D 및 5D 통합 등에 적용
외골격 로봇과 자율주행차	<ul style="list-style-type: none"> • 외골격 로봇을 조종하기 위해 이를 공급하는 다양한 업체와 연계 및 기술 개발 • 자율주행차량을 활용하여 원격으로 자재를 공급하는 방안을 제품화하여 안전성과 효율성을 증진
가상현실과 증강현실	<ul style="list-style-type: none"> • 스마트 안경을 활용하여 가상 입찰부터 HSE 교육에 이르기까지 다양한 분야에 업무 흐름을 지원

■ 싱가포르 건설청(Building and Construction Authority, BCA)은 모듈러 생산 방식을 적극적으로 도입하고 있으며, 이를 통한 사업 수행 결과를 제시함(〈표 7〉 참조).³¹⁾

- 건설청(BCA)은 모듈러 생산 방식으로 작업 인력과 공사 기간을 줄여 생산성을 약 50% 이상 향상함. 이 외 적용 효과로 먼지 및 소음의 최소화와 현장 안전성 증대를 제시함.

〈표 7〉 싱가포르 건설청(BCA)의 모듈러 적용 사례

사업	주요 내용	효과	비고
주거용 건축물 사례	<ul style="list-style-type: none"> • 반복적이며 표준의 형태 및 디자인을 보유한 시설에 적합 • 공장 : 모듈러 생산 • 현장 : 모듈러 조립 	<ul style="list-style-type: none"> • 호텔, 콘도, 공동 주거시설 등에 효과 • 약 50% 이상의 생산성 증대 • 작업자 감소 및 공사 기간 단축 • 먼지 및 소음 최소화 • 현장 안전성 증대 	

자료 : McKinsey & Company(2016).

31) McKinsey & Company(2016), 「Imagining construction's digital future」.

- ‘런던 광역고속철도 사업’, ‘사그라다 파밀리아 보수공사’, ‘호텔 리모델링 사업’, ‘워싱턴 내셔널스 야구경기장 사업’ 등은 설계 및 엔지니어링과 시공 단계에서 BIM 등 디지털 건설기술이 적용되었음(〈표 8〉 참조).

〈표 8〉 디지털 건설기술 적용 사례

사업 단계	수행 사업 또는 기업	적용 방향	주요 내용
설계 및 엔지니어링	런던 광역고속철도 사업 (The Crossrail Project)	디지털 협업	<ul style="list-style-type: none"> BIM, 클라우드 등을 적용하여 170만 개의 방대한 CAD 도면을 단일 BIM 모델로 통합·운영
	바르셀로나 사그라다 파밀리아 성당 (Sagrada Família church)	시뮬레이션 및 프로토타입 제작	<ul style="list-style-type: none"> 3D 프린팅 기술을 적용하여 석고 모형 제작 복잡한 성당 건축물에 대한 이해도 증진 및 공사 효율성 향상
	호텔 리모델링 사업 (Sera Architects와 Hoffman Construction)	데이터 분석 및 설계 최적화	<ul style="list-style-type: none"> 설계 초기 단계에 BIM 가상 모델을 활용하여 에너지 분석 수행 운영 중 시설 부분의 에너지를 30% 절감
시공	워싱턴 내셔널스 스타디움 (Stadium of the Washington Nationals)	실시간 데이터 공유 및 조정	<ul style="list-style-type: none"> BIM 모델을 클라우드상에 공유하여 사업 참여자에게 정보 제공 철골 공정 수행시 설계(안)에 대한 확인 요청을 약 1만 건에서 100건 미만으로 감소시킴.
운영 및 유지관리	NTT Facilities	BIM 및 데이터 기반 유지관리	<ul style="list-style-type: none"> BIM 모델과 데이터를 자산관리 시스템과 통합·운영하여 유지관리 비용의 약 20% 절감
	BDS VirCon과 IBM	스마트 유지관리	<ul style="list-style-type: none"> 증강현실을 제공하는 스마트 유지관리 시스템 개발 유지관리 담당자에게 MEP 등 시설물의 보이지 않는 부분을 보여주고 유지보수 매뉴얼, 예비 부품의 재고 수준 정보 등을 제공

자료 : BCG(2016) 재구성.

- 런던의 광역고속철도 사업인 ‘The Crossrail Project’ 수행시 BIM, 클라우드 등의 기술을 적용하여 170만 개의 방대한 CAD 도면을 단일 BIM 모델로 통합·운영한 바 있음.
- 바르셀로나의 사그라다 파밀리아 성당은 대규모의 복잡한 건축물로 1882년 공사를 시작해 현재까지 진행하고 있음. 최근 이러한 복잡성을 해결하기 위한 방안으로 3D 프린팅 기술을 적용한 석고 모형을 제작함으로써 구조물에 대한 이해도를 증진하고 공사 효율성을 향상시킴.
- Sera Architects사와 Hoffman Construction사는 호텔 리모델링 공사 수행에 BIM 가상 모델을 적용하여 에너지를 분석함으로써 운영 중 발생하는 시설 부분의 에너지 사용을 30% 절감함.
- 워싱턴 내셔널스 야구 스타디움 공사 수행시 클라우드상에 BIM 모델을 사업 참여자들에게 공유함. 이러한 과정은 철골 공정 수행시 약 1만 건 정도 발생하는 설계(안)에 대한 확인 요청을 100건 미만으로 감소시킴.

■ NTT Facilities와 BDS VirCon는 운영 및 유지관리 단계에서 BIM과 증강현실 등의 디지털 건설기술을 적용해 사업을 추진하고 있음(〈표 8〉 참조).

- 에너지 최적화 및 유지보수 서비스를 제공하는 NTT Facilities는 BIM 모델과 데이터를 운영하는 자산관리 시스템과 통합하여 유지관리 비용을 약 20% 절감함.
- BIM 서비스 공급자인 BDS VirCon과 IBM이 공동으로 개발한 스마트 시스템은 실제 시설물과 BIM 모델을 겹쳐서 나타내는 증강현실 기술을 통해 플랜트 시설의 유지관리를 지원함.
- 유지관리 담당자는 증강현실을 통해 MEP 등 시설물의 보이지 않는 부분을 확인하고 필요시 유지보수 매뉴얼과 부품의 재고 수준 등에 대한 정보를 제공받음.

IV 결론 및 제언

1. 결론

- ❖ 디지털 전환은 4차 산업혁명에 따른 변화에 대응하기 위한 기업의 혁신 전략으로 지속가능한 경쟁력 확보를 위해서는 필요조건임. 기업은 다양한 디지털 기술을 활용하기 위해 디지털화라는 환경 구축으로 디지털 전환을 달성할 수 있음.
- ❖ 디지털 전환이라는 흐름에서 건설기업 또한 예외일 수 없음. 디지털 건설기술 기반의 업무 프로세스 재구축을 통해 생산성 제고를 비롯해 일정 수준의 이익률 확보, 사업에 내재된 불확실성 극복, 지속가능한 협력 체계 구축 등의 노력이 필요함.
 - 전통적으로 건설산업에서 기술의 활용은 설계와 시공 단계가 중심이 되고 있지만, 디지털 건설기술의 적용 확대는 생산성 제고 수준을 넘어 설계와 시공이라는 행위 개념을 재정의하는 수준까지 확장될 수 있음.
 - 사업 수행 과정에서 발생하는 방대한 양의 데이터를 기반으로 기획 단계에서 설계 및 시공의 결과물을 확인하고 이를 기반으로 사업의 수익성까지 예측 가능하게 되면서 생산 방식은 현장 중심의 인력 활용에서 자동화로 점차 이동할 것임.
- ❖ <그림 15>에서와 같이 디지털 전환을 촉진할 수 있는 다양한 디지털 건설기술이 제시되고 있는데 적용 목적과 기능에 따라 플랫폼 기술, 데이터 수집 및 분석 기술, 적용 기술로 구분할 수 있음.
 - 플랫폼 기술로는 BIM, 클라우드, 사물인터넷이 있으며, 관련 기술들은 상호 연계되어 데이터의 저장 구조 및 공유 환경을 제공함.
 - 대표적인 데이터 수집 기술로는 무인 항공기가 있으며, 지능화 기반의 자동 운영을 통해 데이터의 실시간 수집을 가능하게 함. 데이터 분석 기술인 인공지능, 빅데이터, 머신러닝 등은 각종 데이터의 실시간 분석을 통해 적용 기술의 지능화를 지원함.
 - 적용 기술에는 증강 및 가상현실, 모듈러, 3D 프린팅, 로봇틱스, 지능형 건설장비가 있음. 이러한 기술들은 과거 활용성은 미미했으나 최근 지능화를 통해 새로운 기능이나 역할에 대한 적용성을 확보함.
- ❖ 다양한 형태의 결합을 통해 건설사업의 설계, 시공, 그리고 운영 및 유지관리 등 생애주기 단계별로 디지털 건설기술의 활용 방안이 제시되고 있음.

- 설계 및 엔지니어링 단계에서는 BIM, 클라우드, 무인 항공기, 데이터 고급 분석, 가상현실, 3D 프린팅 기술을 활용한 '디지털 협업', '데이터 기반 설계', '시뮬레이션 및 프로토타입 제작', '물리적 구조의 가상화', '데이터 분석 및 설계 최적화' 방안이 제시됨.
- 시공 단계에서는 플랫폼 기술, 데이터 수집 및 처리 기술, 적용 기술에 해당하는 세부 기술을 적용한 '실시간 데이터 공유 및 조정', '데이터 기반 계획 수립 및 적용', '새로운 제작 방식의 적용', '시공 자동화', '시공 모니터링' 방안이 제시됨.
- 운영 및 유지관리 단계에서는 BIM, 클라우드, 사물인터넷, 데이터 고급분석, 증강현실 기술을 통한 'BIM 및 데이터 기반 유지관리', '가상 핸드오버 및 시운전', '스마트 유지관리', '성능 모니터링 및 선제적 유지관리', '유지보수 및 리모델링 효율화' 방안이 제시됨.

■ 사업의 생애주기 단계에 따른 디지털 건설기술의 적용 방향을 기반으로 관련 기술의 적용 범위를 요약하면 다음과 같음(〈그림 15〉 참조).

- 플랫폼 기술인 BIM 및 클라우드는 생애주기 전(全) 범위에 적용성을 나타내며 사물인터넷 기술은 시공, 운영 및 유지관리 단계를 중심으로 활용될 수 있음.
- 데이터 수집 기술인 무인 항공기는 설계 및 엔지니어링과 시공 단계에 적용성을 지니며, 데이터 분석 기술인 데이터 고급 분석의 경우 생애주기 전(全) 범위에 대한 적용성을 가짐.
- 적용 기술 중 증강현실의 적용 범위는 시공 단계와 운영 및 유지관리 단계로 나타나며 가상현실은 설계와 시공 단계에 적용성이 높음.
- 모듈러 건축은 새로운 제작 방식으로 시공 단계에 활용되며 3D 프린팅 기술은 설계 및 엔지니어링, 시공 단계에 적용됨. 이 외 로봇틱스와 지능형 건설장비는 시공 자동화와 모니터링을 목적으로 시공 단계에 주로 활용성이 높음.

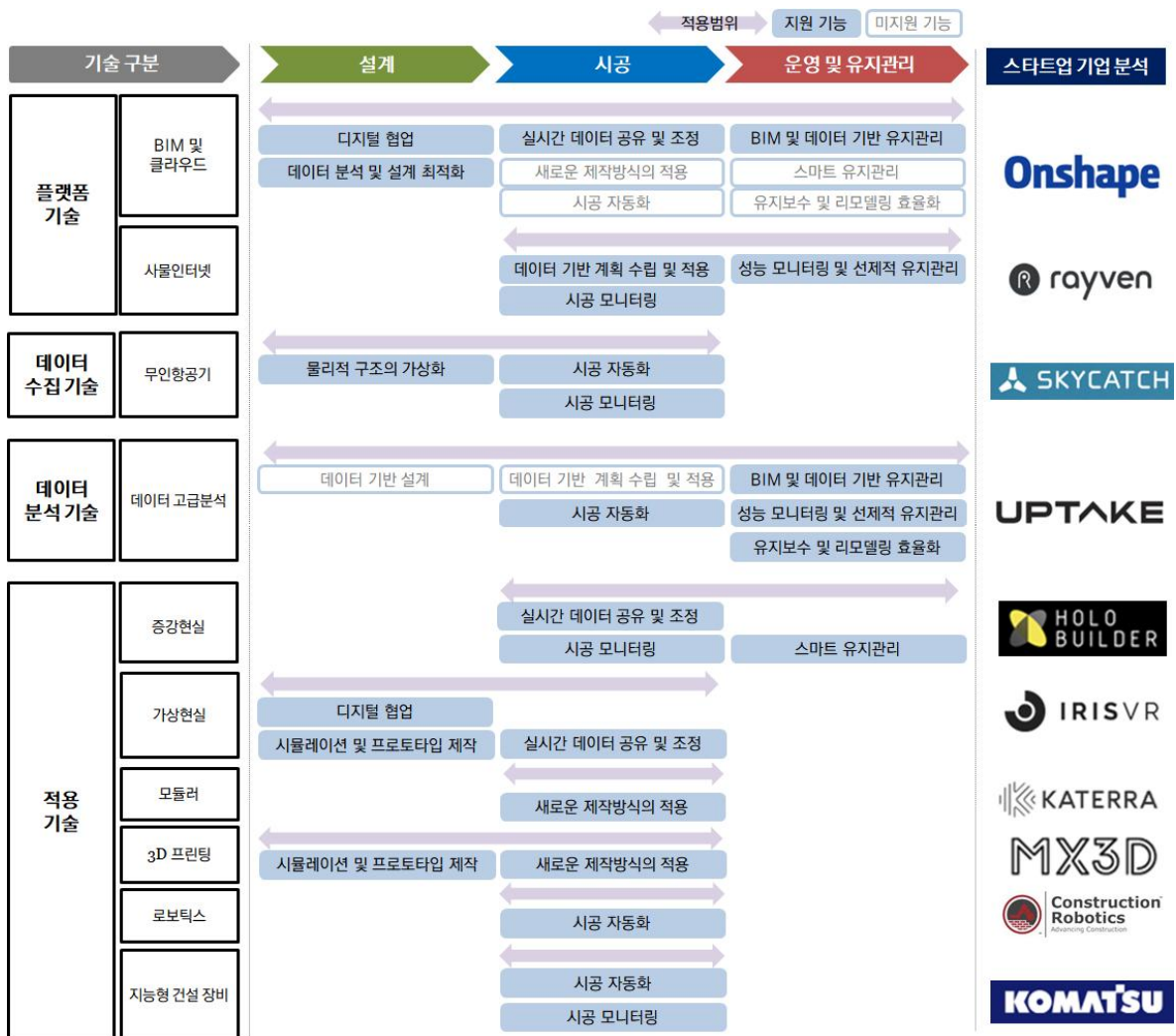
■ 디지털 건설기술의 실용화 수준을 파악하기 위해 스타트업 기업이 제공하는 솔루션의 기능을 분석한 결과, 이들 대부분이 디지털 건설기술의 적용 방향과 범위를 지원하고 있음(〈그림 15〉 참조).³²⁾

- 온셰이프는 플랫폼 기술인 BIM 및 클라우드 기반으로 '디지털 협업', '데이터 분석 및 설계 최적화', '실시간 데이터 공유 및 조정', 'BIM 및 데이터 기반 유지관리' 방안을 제공하고 있음.
- 사물인터넷 기반의 레이븐은 '데이터 기반 계획 수립 및 적용', '시공 모니터링', '성능 모니터링 및 선제적 유지관리' 기능을 제공하고 있음.
- 무인 항공기 솔루션을 제공하는 스카이크etch는 '물리적 구조의 가상화', '시공 자동화', '시공 모니터링' 기능을 지원함.

32) 상기 분석 결과는 디지털 건설기술을 기반으로 솔루션을 제공하고 있는 스타트업 기업 중 일부만을 선정하여 분석한 결과임.

- 업데이크는 데이터 고급 분석을 통해 '시공 자동화', 'BIM 및 데이터 기반 유지관리', '성능 모니터링 및 선제적 유지관리', '유지보수 및 리모델링 효율화' 기능을 제공함.
- 적용 기술 중 증강현실 기술 기반의 솔루션 제공 기업인 홀로빌더는 '실시간 데이터 공유 및 조정', '시공 모니터링', '스마트 유지관리'를 지원함.
- 아이리스VR은 가상현실 기술을 기반으로 '디지털 협업', '시뮬레이션 및 프로토타입 제작', '실시간 데이터 공유 및 조정'이 가능한 솔루션을 제공함.
- 카테라는 모듈러 생산 방식 기반의 공급망을 통해 '새로운 제작 방식의 적용'을 지원함. MX3D는 3D 프린팅 기술을 통해 '시뮬레이션 및 프로토타입 제작', '새로운 제작 방식의 적용' 방안을 제시함.
- 이 외 컨스트럭션 로보틱스와 코마츠는 로보틱스 및 지능형 건설장비를 개발하여 '시공 자동화', '시공 모니터링' 방안을 제시하고 있음.

〈그림 15〉 디지털 건설기술 적용 방향 및 범위와 스타트업 기업



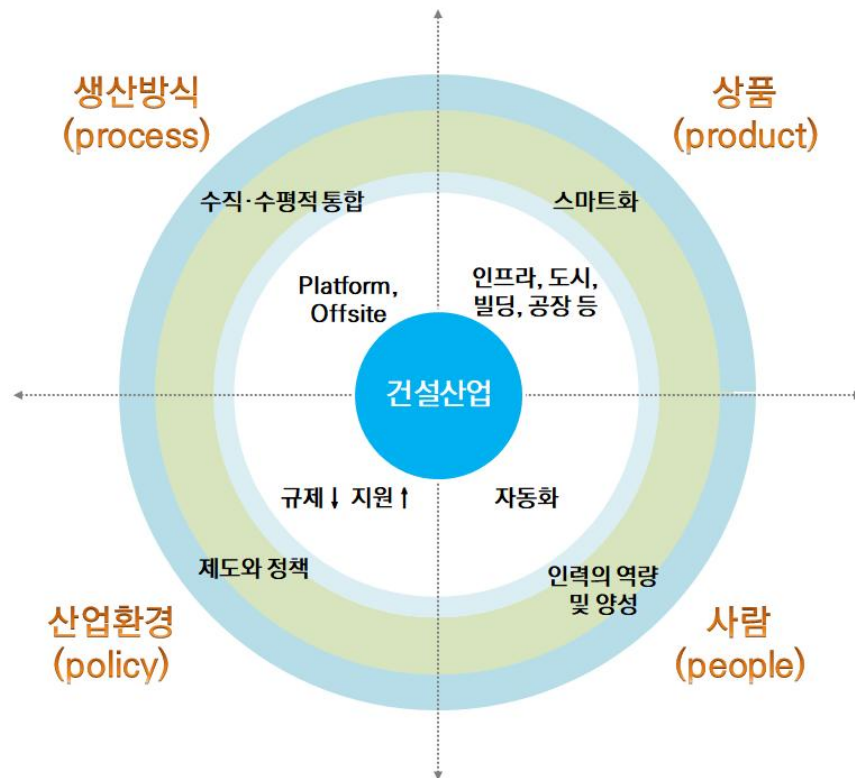
2. 제언

- 건설산업의 디지털 전환이 새로운 기술의 적용을 통한 기존 사업 수행 프로세스의 혁신만을 목표로 한다면 이는 단순히 건설 과정의 효율성 제고 수준에 머물게 됨.
- 궁극적인 건설산업의 디지털 전환은 생산성 제고를 넘어 산업의 체질 전환과 경계 확장까지도 견인할 수 있는 혁신의 형태여야 함.
- 이를 위해서는 산업 참여자의 책임과 가치사슬상에서 차지하고 있는 역할에 대한 재정의(redefinition) 수준의 인식 변화가 전제되어야 함. 즉, 정부와 기업, 그리고 최종 사용자는 수동적 요구자에서 산업을 발전시키기 위한 능동적 요구자로의 관점 전환이 필요함.
 - 산업의 최대 고객이자 발주자인 정부는 디지털 전환에 따른 건설산업의 성장을 위해 규제 중심의 시장 개입보다는 지원 중심의 시장 확대에 집중해야 함.
 - 디지털 건설기술을 기업들이 적극적으로 적용할 수 있도록 유인하는 것은 사업 기회 확대에서 시작되기 때문임.
 - 시설물의 생산자로서 건설기업은 발주자가 필요로 하는 사업 수주와 더불어 새로운 기술이 적용된 사업 제시도 할 수 있어야 함. 또한, 건설산업의 영역을 넘는 기술 솔루션 제공 기업과의 협력을 확대해 기존 생산 방식의 효율화에 집중해야 함.
 - 최종 사용자들은 사용 경험을 통하여 생산적인 피드백을 제공하는 등 능동적인 자세를 견지할 필요가 있음.
- 디지털 기술의 적용 확대를 기반으로 하는 건설산업의 디지털 전환은 크게 4개의 영역에서 산업 혁신을 가져올 것임. <그림 16>에서 보듯이 4개의 혁신 영역은 생산 방식(process), 상품(product), 산업 환경(policy), 사람(people)임.
 - 생산 방식 : 디지털 건설기술의 도입과 활용을 통해 가장 큰 폭의 변화를 겪게 될 영역으로 현장 중심(site-built) 방식에서 off-site 방식으로의 전환을 비롯해 데이터 기반의 수직적 및 수평적 생산 과정의 통합이 가속화될 것임.
 - 상품 : 타 산업의 영역에서 개발 및 활용되는 디지털 기술들이 건설산업의 생산 과정을 비롯해 운영 단계까지 적용되면서 스마트 인프라, 스마트 시티, 스마트 빌딩 및 홈, 스마트 팩토리 등 건설기업의 생산 상품들의 스마트화(smartification)가 가속화될 것임.

- 산업 환경 : 새로운 기술 적용을 통한 생산 과정의 변화와 건설 상품의 스마트화는 기존의 건설산업과 관련된 제도와 정책까지도 변화해야 함을 시사함. 특히, 생산 방식의 변화는 안전 및 품질 등과 관련된 다양한 규제의 필요성을 낮추게 되고, 사업 비용의 지출 시점에 대한 의사결정 시점도 달라지게 함.
- 사람 : 새로운 기술의 활용 확대는 사람 중심의 산업 생산 체계를 지능화 기반으로 전환시킬 것임. 특히, 노령화 등에 따른 기술인력의 부족을 대체하기 위한 “일하는 방식”의 변화는 노동시장뿐만 아니라 인력 양성 방식의 변화도 요구할 것임.

■ 본 연구에서는 디지털 건설기술 기반의 디지털 전환에 따른 건설산업의 4대 영역(생산 방식, 상품, 산업 환경, 사람)에서의 혁신을 위해 필요한 전략을 건설기업과 산업 차원에서 다음과 같이 제시하고자 함.

〈그림 16〉 디지털 전환에 따른 건설산업의 혁신 영역



(1) 기업 차원

■ (계획의 수립) 건설기업이 가장 먼저 준비해야 할 것은 디지털 전환의 비전과 목표를 수립하고 그에 따른 세부 전략을 정하는 것임.

- 디지털 건설기술 기반의 디지털 전환을 통해 달성하고자 하는 미래 비전과 목표 설정은 향후 4차 산업혁명 시대에 기업의 성장 경로와도 밀접한 관계가 있음. 때문에 디지털 전환을 통해 궁극적으로 기업이 목표로 하는 미래상을 구체화하는 것이 필요함.
- 세부 시행 전략 수립을 위해서는 사업 수행을 위해 작동되는 기업의 기능들을 단위 요소별로 분석해 개선 가능성을 도출하고 이를 시행하기 위해 적용 가능한 디지털 기술을 결정해야 함.
- 그 다음으로 단위 사업의 생산 프로세스 안에서 디지털 기술의 적용이 가능한 영역들을 분석 및 결정해야 함.
- 벡텔의 경우, 혁신 전략으로 디지털 기술 도입을 통한 “Innovating the Construction Site”라는 비전 아래 아이디어 개념화를 시작으로 하는 기술 적용 프로세스를 구축 및 시행하고 있음.

■ (협력의 확대) 디지털 건설기술의 적용성을 확보하기 위해서는 기술 솔루션 기업과의 전략적 협력이 확대되어야 함. 건설산업의 생산 과정에서 활용 가능한 기술 솔루션의 개발을 비건설 분야 기업들이 주도하고 있는 점을 고려할 때 전략적 협력은 필수적임.

■ (비즈니스 모델) 건설기업은 디지털 건설기술의 적용 확대를 통한 기술력 차원에서의 경쟁력 확보와 더불어 새로운 형태의 비즈니스 모델을 창출하고 이를 기반으로 시장에 참가해야 할 것임.

- 기획에서부터 금융 조달 및 설계, 시공, 운영과 유지보수까지 사업의 생애주기상에서 건설기업의 역할에 대한 니즈 확대가 있지만 모듈러 공법 등과 같은 off-site 방식의 생산 프로세스의 확대는 전통적인 건설기업의 역할을 축소시킬 수 있음.
- 이러한 역할의 제한은 곧 기업의 영업 범위의 축소를 야기하고, 이는 물리적 생산 과정에서의 생산성 제고에도 불구하고 지속가능한 이익의 확보라는 목표를 달성하는 데 장애물로 작용할 것임.
- 생산 프로세스의 통합을 통한 역할의 확대나 발주자, 설계자, 시공자, 제조업자 등 다양한 참여자 간의 관계를 조율하고 사업 전반을 관리하는 기능의 확대 등 새로운 비즈니스 모델을 구축해야 함.

■ (인력의 변화) 디지털 건설기술의 적용 확대는 건축 및 토목 등과 같은 엔지니어링 전공 인력보다는 IT 분야의 전문 인력에 대한 수요 증가를 견인할 것임. 또한, 건설기업의 고용 인력 구조 변화는 기존 인력의 역할 및 기능 전환도 동시에 요구할 것임.

- 소프트웨어 기반의 기술 적용 확대는 전통적으로 하드웨어 중심의 기술력을 보유한 인력의 정의를 바꾸어 놓을 것임. 또한, 기업이 기존에 보유하고 있는 인력에게 요구하는 기능과 역할이 확대 및 고도화되면서 사내 교육을 포함하는 재교육의 체계와 교육 제공 방식이 변화할 것임.
- 따라서 현장 생산 프로세스에 직접적으로 참여하는 인력뿐만 아니라 백 오피스(back office)의 인력 고용과 관리를 위한 HR관리 시스템의 구축이 요구됨.

(2) 산업 차원

❖ 디지털 건설기술의 활용 확대를 건설기업의 몫으로만 규정하는 것은 잘못된 접근임. 건설시장 내 물량을 창출하고 제도와 규제를 통해 시장에 영향을 미치는 주체가 정부임을 고려할 때 산업 차원의 전략 마련은 기업의 전략보다 선행되어야 함.

- 특히, 건설사업의 디지털 전환이 산업 내에서만 발생하지 않고 타 산업과의 경계 희석에서 출발하기 때문에 국가 산업 단위의 디지털 전환 전략 수립이 필요함. 산업 간의 융합 촉진이라는 목표하에 정책을 계획하고 추진할 수 있는 발주자로서의 역할 전환이 동반되어야 함.
- 새로운 건설기술의 활용 촉진을 위해 도입할 수 있는 지원 제도를 마련해 기업이 전통적 생산 방식에서 디지털 기술 기반의 프로세스로 전환할 기회를 제공해야 함. 기술 활용의 촉진은 발주 제도와 환경의 변화 없이는 실현되기 어렵다는 점을 고려할 때 관련 제도 개선이 요구됨.

❖ 건설기업과 기술 솔루션 제공 기업 간의 협력 증대를 포함해 건설산업의 전후방 연관 산업의 범위는 지속해서 확대될 것임. 하지만 산업 간 경계 희석에 따른 융합의 촉진 은 건설산업에 내포된 다양한 규제 개선이 수반되지 않고서는 불가능함.

- 최근의 업역 개편 등과 같은 제도 개선의 노력이 건설산업 내에서 이뤄진 노력이라면 디지털 전환을 위한 제도 개선의 노력은 타 산업 영역의 기업 참여를 유인할 수 있는 형태여야 함.

❖ 디지털 건설기술의 촉진은 활용의 주체, 즉 기술인력의 역량 수요에 대한 변화를 유인할 것임. 전통적인 건설 공학 기반의 수요는 감소하는 반면 비건설 분야에 대한 수요는 증가할 것임. 이는 현행 대학 교육을 포함해 기술인력의 교육 훈련 방식의 변화를 요구함.

❖ 산업의 체질 전환까지도 목표로 하는 디지털 전환을 위해서는 건설시장의 최대 발주자로서의 정부 역할에 대한 재정립이 필요함.

- 발주자이면서 수요자인 정부는 건설기업이 다양한 디지털 건설기술을 활용할 수 있도록 높은 품질과 기능이 요구되는 상품을 제시해야 함. 예를 들어 스마트 도로, 스마트 시티, 스마트 홈 등과 같은 상품은 시공 중심의 건설기업이 새로운 기술 활용 없이는 수행하기 어려운 상품임.
- 정부는 디지털 전환을 통해 지속가능한 산업의 경쟁력을 확보하기 위해 사업의 생애주기상에서 건설기업의 참여를 극대화하는 조력자 역할에 집중해야 함.
- 즉, 산업 단위의 중장기 정책과 적절한 규제는 마련하되 건설기업의 역할이 현재보다 확대될 수 있도록 지원해야 함.

손태홍(연구위원·thsohn@cerik.re.kr)

이광표(부연구위원·leekp@cerik.re.kr)