
Global Report

문헌검토를 기반으로 한 건설 4.0을 위한 체제 방안

1. 개요
2. 소개
3. 연구목적 및 방법
4. 관련문헌 검토
5. 검토 결과
6. 결론 및 권고사항

1. 개요

건설 4.0은 건설 부문을 위한 인더스트리 4.0 프레임워크를 채택하고 적용하는 것이다. 인더스트리 4.0은 물리적 기술과 디지털 기술을 통합된 방식으로 사용하여 사물이 만들어지는 방식을 혁신할 것으로 믿어 의심치 않는다. 마찬가지로 저자는 건설 4.0 프레임워크가 자산의 설계, 시공 및 운영 방식을 근본적으로 변화시킬 수 있다고 생각한다. 건설 4.0에 대한 아이디어는 기존의 수평적, 수직적 및 종단적 시스템의 단편화를 극복하고 산업계에 필요한 개선사항에 대해 전방위적 접근방식을 취하고자 하는 건설 부문의 필요성에서 발전하였다. 본 연구에서는 인더스트리 4.0과 그로 인해 건설 부문에 미치는 영향에 대해 문헌 검토가 수행되었다. 이 체계적인 문헌 검토를 기반으로 본 저자는 건설 4.0 프레임워크를 정의하고 그 실행으로 인한 장점과 장애 사항을 나열코자 한다. 연구의 핵심 결과물은 BIM과 공통 데이터 환경(common data environment)이 건설 4.0 프레임워크 구현을 위한 핵심 기반을 이룬다는 것이다. 건설 4.0 프레임워크를 정의함에 있어서 본 논문은 그 구성요소와 그 실행의 진행 방식에 대해 기술하였다. 저자는 건설 4.0을 채택함으로써 건설업계가 사회적 요구사항을 성공적으로 수용할 수 있는 매우 효율적이고 품질 중심적이며 안전한 건설 산업으로 변모할 수 있다고 생각한다.

2. 소개

건설 부문은 스스로 변화하고 현대화되어야 한다(Farmer, 2016; Gerbert, Castagnino, Rothballer, & Renz, 2017). 이 이슈는 건설업계 후원자들의 끊임없는 요구사항이었으며 건설업계가 지속적으로 고심하고 있는 문제였다. 건설 부문에 대한 사회적 요구는 증가하고 있지만 건설 부문의 생산성과 효율성은 이러한 요구에 보조를 맞추고 있지 못한 것 같다(Sawhney, Agnihotri, & Paul, 2014). 이것은 건설 부문을 향상시키기 위해 많은 국가의 역사적인 노력을 통해 명백히 드러난 것처럼 지엽적인 문제 사항이 아니다. 예를 들어 영국에서는 건설 부문의 문제를 강조하고 전 부문의 개선을 위한 프로그램을 도출하기 위해 여러 비종속적인 연구들이 수행되었다. 미국에서도 무엇이 잘못되었고 이를 해결하는 방법을 문서화하는 여러 가지 업계의 노력과 더불어 유사한 노력들도 행하여지게 되었다. 대체적으로 건설 부문은 변화에 대한 저항, 혁신에 대한 장벽, 낮은 생산성, 예측 가능성 및 수익, 부분적으로 열악한 산업 이미지로 인한 숙련된 인력 채용 및 유지관리 문제와 같은 광범위하고 중요한 과제에 직면해 있다.

Teicholz (2001)는 건설 산업의 생산성 지수 그래프를 개발하고 이를 1964년부터 1999년까지 모든 비농업 제조 산업과 비교하여 전 세계가 건설 산업의 생산성 정체를 알아 볼 수 있도록 문서화 하였다. 이것은 건설 부문에 동기부여가 되었으며 이러한 정체상황을 변화시키기 위한 수많은 노력이 현재 진행 중이다. 구조적으로 이러한 과제들은 건설 산업의 전반적인 단편화를 초래한다. 본문 그림 1에서 보여주는 바와 같이 일반적인 건설 프로젝트에 대한 생애주기 단계는 밀접하게 연계되지 않고 수직적 단편화로 이어진다. 프로젝트 팀은 통합된 방식으로 진행하지 않아 수평적 단편화로 이어진다. 또한 이러한 이슈는 종단적 단편화로 인해 프로젝트 마다 반복된다.

이러한 배경을 고려할 때 건설 산업은 이러한 이슈들을 해결하기 위해 혁신적인 변화를 필요로 한다. 건설 4.0 패러다임은 필요한 변화를 위한 광범위한 프레임워크를 제공한다.

3. 연구목적 및 방법

이 연구의 목적은 인더스트리 4.0 개념에 대한 상세한 문헌 검토를 기반으로 건설 4.0 프레임워크를

정의하고 설명하는 것이었다. 본 연구에서는 건설 4.0 프레임워크에서 BIM과 공통데이터 환경(CDE)의 역할을 확립코자 하였다. 프레임워크의 이점과 그 실행에 대한 장벽도 본 연구에서 확인되고 문서화 되었다. 연구 목표를 성공적으로 달성하기 위해 아래와 같은 4가지 테마를 문헌 검토 및 분석용으로 선택하였다.

- (1) 인더스트리 4.0과 그 핵심 구성요소
- (2) 인더스트리 4.0을 지원하는 물리적 기술과 디지털 기술
- (3) BIM과 CDE의 역할
- (4) 건설 4.0의 정의, 구성요소, 장점과 과제

저자는 상기 4가지 테마를 연구하기 위하여 체계적인 문헌 검토를 채택하였고 그 결과를 평가하고 해석하였다. 이러한 종류의 검토에서는 고려 중인 특정 연구 주제 또는 테마와 관련된 모든 이용 가능한 연구를 고려한다. 인더스트리 4.0 영역, 즉 주제 1과 주제 2에서 400개 이상의 논문에 대해 다양한 검색 필터가 채택되었다. 이들 논문 가운데 두 가지 주제에 관한 정보가 제공되고 인용도가 높은 20편의 논문이 체계적인 문헌 검토를 위해 채택되었다. 마찬가지로 주제 3과 4에 관한 10개의 논문도 채택되었다. 이 작업은 신속하게 부상하는 분야이기 때문에 검색 필터와 논문의 선택은 신중하게 이루어져야만 한다. 이 논문에 30건의 연구 작업이 분석되어 수록되었다(공간 부족으로 여기에 모든 내용이 인용되지는 못했다).

4. 관련문헌 검토

체계적인 문헌 검토를 기반으로 본 연구에서는 인더스트리 4.0의 개요와 정의 그리고 건설 4.0과의 연계성을 식별하기 위한 주요 구성요소를 문서화하였다. 건설 4.0용으로 개발된 정보는 결과 섹션에 표시되고 인더스트리 4.0에 관한 문헌 검토는 이 섹션에 표시된다.

4.1 인더스트리 4.0의 정의

인더스트리 4.0 프레임워크는 현재 진행 중인 4차 산업혁명을 기반으로 한다. 인더스트리 4.0은 사이버 물리 시스템과 고급 디지털 기술의 사용에 의존한다. 본문 그림 2에 표시한 바와 같이 4차 산업혁명은 보다 심도있는 통합을 가능하게 하여 복잡한 실제 시나리오를 처리한다. 2011년 독일 연방정부는 포괄적 용어인 인더스트리 4.0(INDUSTRIE 4.0 (Roblek, Meško, & Krapež, 2016))에 따라 제조부문의 미래에 대한 비전을 발표하였다. 이것이 4차 산업혁명의 기본적인 추진력으로 등장하면서 현재는 인더스트리 4.0으로 알려져 있다. 인더스트리 4.0은 사물이 만들어지는 방식을 바꿀 수 있는 “트렌드와 기술의 융합(confluence of trends and technologies)”으로 이루어진 광범위한 용어이다(Baur & Wee, 2015). 독일 정부는 인더스트리 4.0을 “사이버 물리 시스템과 사물 인터넷, 데이터 및 서비스를 사용하여 생산기술을 스마트 생산 프로세스와 연결하는 새로운 제조 기술 시대”라고 설명한다. 이것은 제조부문을 스마트하게 만들 것이다. 인더스트리 4.0은 또한 “제품 생애주기 전반에 걸쳐 새로운 수준의 가치 사슬 조직 및 관리”라고 정의되었다. 더 나은 비즈니스 및 사회적 결과를 예측, 제어 및 계획하는데 적용할 수 있는 네트워크 센서 및 소프트웨어와 기계 및 장치의 융합은 인더스트리 4.0의 중요한 측면이다. 어떤 면에서 인더스트리 4.0은 물리적 및 디지털 기술로 제조 조직, 그들이 사용하는 비즈니스 모델 그리고 생산 프로세스를 개선한다.

4.2 인더스트리 4.0의 핵심 구성요소

인더스트리 4.0은 임베디드 시스템이 보다 진보된 사이버 물리시스템(CPS - Cyber-physical

systems)으로 진화함에 따라 가능하게 되었다(Vogel-Heuser & Hess, 2016). CPS는 가상세계와 물리적 세계를 연결하여 지능형 개체가 서로 소통하고 상호 작용하는 연계된 생산환경을 만드는 일련의 기술로 이루어져 있다(Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013). 원문 그림 3에 표시된 바와 같이 인더스트리 4.0을 향한 여정은 임베디드 시스템과 CPS를 향한 기술발전으로 시작되었으며 나아가 사물인터넷, 데이터 및 서비스를 제공하기 위한 것이다(MacDougall, 2014). CPS는 디지털 트윈이라고 하는 물리적 생산환경의 가상 복제본을 만드는데 도움이 된다. PDP(physical-digital-physical) 루프(loop)가 생성되면 사이버 물리 생산 시스템(CPPS - Cyber-Physical Production Systems)으로 알려진 공장 내에 생산환경이 조성된다(Vogel-Heuser & Hess, 2016). CPPS는 인더스트리 4.0의 다른 구성요소가 구축되는 디지털화되고, 스마트하며, 최적화되고 서비스 지향적이며 상호 운영가능한 생산환경이 구축되도록 한다. 생산 시스템의 비즈니스 프로세스 및 기타 기술적 프로세스는 사물 인터넷, 데이터 및 서비스를 통해 인더스트리 4.0 프레임워크에 연결된다.

CPPS는 CPS 레이어의 꼭대기에 위치하며 언제 어디서나 물리적 세계에 관한 데이터를 제공하며 연결, 제어, 통신 및 컴퓨팅을 지원한다. CPPS는 주변 물리적 세계와 진행 중인 프로세스와의 집중적인 연결을 제공한다. 끝으로 최상위 레이어는 데이터 인터넷과 서비스 인터넷(IoS)이다. IoS는 서비스 지향적인 생태계를 만들어 최종사용자인 고객 중심의 문화를 시스템 내로 가져오게 한다. IoS는 최종 사용자 기능을 지원하는 디지털 도구를 인터넷에서 하나의 서비스로 사용할 수 있게 한다. 내부 및 조직 간 서비스 모두 가치 사슬의 참여자들이 제공하고 활용한다. IoS는 공장을 스마트 환경으로 전환토록 하는 전체 제조 프로세스를 통합하는 네트워크를 만드는데 도움이 된다.

5. 검토 결과

인더스트리 4.0의 도래로 건축환경 부문도 보다 효율적이고 효율적인 비즈니스 모델과 가치 사슬에 의해 주도되는 생산으로 도약할 수 있는 기회를 갖게 되었다. 이러한 변화는 인더스트리 4.0 패러다임의 일부를 이루는 기존 및 신규 기술의 융합을 통해 가능하다. 이러한 변화를 이 보고서에서는 건설 4.0 프레임워크라 부르고자 한다.

5.1 건설 4.0의 정의

건설 4.0 프레임워크는 실물을 디지털로 변환하고 다시 디지털을 실물로 변환하는데 초점을 맞추어 건축 환경 자산을 보다 효과적이고 효율적으로 계획, 설계 및 제공하는데 도움이 된다. 인더스트리 4.0의 개념을 모델로 한 건설 4.0의 아이디어는 트렌드와 기술(디지털 및 물리적 기술 모두)의 융합을 기반으로 한다. 문헌에서는 건설 4.0에 대한 합의된 정의는 존재하지 않는다. 다만 현재 대부분의 연구에서는 건설 4.0을 인더스트리 4.0의 상응하는 용어라고 보고 있다. 체계적인 문헌 검토를 기반으로 저자는 건설 4.0에 대한 다음과 같은 정의를 제시코자 한다.

“건설 4.0은 사이버 물리 시스템과 사물 인터넷 그리고 데이터 및 서비스를 BIM과 CDE로 구성된 디지털 레이어와 자산으로 이루어진 피지컬 레이어를 수명기간에 걸쳐 연결하여 상호 연결된 환경을 만드는 하나의 패러다임이며 조직, 프로세스 및 정보를 통합하여 자산을 효율적으로 설계, 시공 및 운영토록 하는 것이 건설 4.0이다.”

건설 4.0에서 기본적인 동인은 사이버 물리 시스템을 사용하는 것이다. CPS는 가상 세계와 물리적 세계를 결합하여 지능형 개체가 서로 소통하고 상호 작용하는 진정한 네트워크 세계를 만드는 기술이

다. 건설 4.0 프레임워크는 CPS를 핵심 드라이버로 사용하고 이를 디지털 생태계(Digital Ecosystem)의 개념과 연계시킨다. 본문 그림 4에서 보는 바와 같이 건설 4.0은 그 프레임워크의 다양한 구성요소들이 상호작용할 수 있는 세 개의 레이어로 구성되어 있다. BIM과 클라우드 기반의 공통 데이터 환경(CDE)은 건설 4.0 프레임워크의 핵심이다. 이것은 BIM이 프레임워크의 핵심 구성요소인 모델링과 시뮬레이션 기능을 제공하는 디지털 레이어를 제공하며, CDE는 그 생애주기에 걸쳐 건설된 자산과 관련한 모든 데이터를 저장하기 위한 저장고 역할을 한다. 다른 두 레이어에는 다음과 같은 구성요소들이 존재한다.

- 산업체의 생산(조립식, 3D 프린팅, 현장 외 제조 및 현장 내 조립)
- 사이버-물리 시스템(반복적이고 위험한 공정용 로봇 및 코봇, 그리고 측량 및 인양, 이동 및 위치 지정용 드론, 센서 및 액추에이터)
- 디지털 기술(BIM, 비디오 및 레이저 스캐닝, 사물 인터넷, 센서, 인공지능 및 클라우드 컴퓨팅, 빅 데이터 및 데이터 분석, 실물 캡처, 블록체인, 시뮬레이션, 증강현실, 데이터 표준 및 상호 운영성, 수직적이고 수평적인 통합 체계)

건설 4.0이 주로 기술적인 측면에서 언급되는 반면에 성공적인 구현은 사람, 관행 및 환경을 둘러싼 중요한 이슈에 달려있다 할 것이다.

5.2 건설 4.0에서 BIM과 CDE의 역할

건설 4.0 프레임워크는 업계가 다음과 같은 실천사항을 통한 메커니즘을 제공한다.

- 물리적 세계에 이미 존재하는 건축 자산을 디지털 방식으로 모델링
- 이미 존재하는 것을 배경으로 새로운 자산을 설계하거나 이러한 디지털 모델을 사용하여 기존 자산을 개조 및 복구하는 계획 수립
- 이러한 자산이 디지털 방식으로 캡처되고 설계되면 디지털 및 물리적 기술을 사용하여 이들 물리적 자산을 확산시킴.

BIM과 CDE가 건설 4.0 프레임워크에서 중심적인 역할을 한다는 점에 유의하는 것이 중요하다. CDE는 건설된 자산의 생애주기에 걸쳐 독립적이고 애플리케이션에 구애받지 않는 데이터 저장고가 된다. 동시에 BIM은 설계, 시공 및 기타 다운스트림 프로세스가 모델 중심 방식으로 진행되도록 하는데 중요한 역할을 한다. 결과 모델은 건설 중인 자산과 건설되는 자산의 완공 후 3차원의 시각적 연결을 제공한다. 따라서 BIM과 CDE는 그 프레임워크의 다른 구성요소가 위치해 있는 디지털 트윈 개발에 필수적인 역할을 한다.

5.3 건설 4.0의 장점과 구현상의 과제

BIM, 린 원칙(lean principles), 디지털 기술 및 현장 외 건설이 널리 적용됨에 따라 업계는 건설 4.0이 주도하는 변화의 정점에 위치해 있다. 건축 환경영역에서 우리의 교육, 연구 및 전문적인 관행이 단편화된 상태가 중요한 해결과제이다. 건설 4.0 프레임워크는 현상태, 새로 등장하는 트렌드 및 기술, 제안된 변화를 둘러싼 사람 및 프로세스 문제의 맥락에서 건설 4.0을 설명함으로써 이러한 단편화를 극복할 수 있다.

초장기 연구에서는 건설 4.0의 장점을 구상하려고 시도하였다(Cooper, 2018; Dallasaga, Rauch, & Linder, 2018; Oesterreich & Teuteberg, 2016). 이 연구들을 바탕으로 건설 4.0 프레임워크 장점들을 다음과 같이 기술한다.

- 1) 생애주기적 접근방식의 채택

- 2) 비효율성 및 낭비 감소
- 3) 수직적, 수평적 및 종방향을 포함 모든 방향을 망라하는 통합 체계
- 4) 비용과 시간 성능 개선
- 5) 안전 성능의 획기적인 개선
- 6) 품질 향상
- 7) 산업 이미지 향상

Farmer 보고서에서는 건설부문이 기술 수용에 대한 거부감을 기록하였으며, 업계가 인더스트리 3.0 전환의 기회를 놓쳤다고 요약하였다(Farmer, 2016). 광범위한 문헌 검토를 기반으로 저자는 건설 4.0 프레임워크를 구현하는 동안 건설 부문이 직면한 구현 과제 목록을 작성하였다. 식별된 해결 과제의 일부를 다음과 같이 기술한다.

- 1) 변화에 대한 저항
- 2) 불명확한 가치 제안
- 3) 높은 구현 비용
- 4) 연구 개발에 대한 투자 소홀
- 5) 향상된 기술의 필요성
- 6) 종적 시스템 구축의 단편화
- 7) 표준의 부족
- 8) 데이터 보안, 데이터 보호 및 사이버 보안 문제
- 9) 법적 및 계약상의 불확실성

6. 결론 및 권고사항

건설은 수백만 명의 사람들을 고용하고 개별국가의 GDP와 세계 경제에 크나큰 기여를 하는 중요한 산업이다. 그러나 혁신에 마주하고서는 보수적이며 변화의 필요성 앞에서는 무력하다. 제조업, 자동차, 항공우주와 같은 다른 산업부문과 달리 건설 산업은 기술과 데이터 관리의 발전으로 인한 기회를 수용하지 못해 건설 부문의 효율성과 성능, 산출물의 일관성과 품질을 향상시키는데 실패하였다. 의미있는 변화를 시작하고 영향을 미치려는 수많은 역사적인 시도에도 불구하고 건설업계는 여전히 프로세스, 정보의 흐름 및 협업부문에서 단편화와 비효율성으로 어려움을 겪고 있다. 인더스트리 4.0의 개념, 원칙 및 구성요소에 의해 제공되는 기회들은 건설 4.0과 같은 전략적, 기술적 및 운영 패러다임으로 변환하여 건설부문을 혁신시킬 잠재력을 가지고 있다. 이 논문에서 저자는 인더스트리 4.0과 건설 4.0 사이의 연계 관계를 추적하였다. 체계적인 문헌 검토 방법을 적용하여 건설 4.0 및 그 주요 구성요소에 대한 설명을 제공하였다. 건설 분야가 부상함에 따라 연구 커뮤니티는 건설 4.0 프레임워크의 다양한 부문들을 추구하기 위한 분명한 연구 의제를 개발해야 한다. 또한 건설 4.0의 성공적인 적용을 위한 건설 부문 인력 내에서 요구되는 새로운 스킬을 고려하는 것도 필수적이다. 건설업계에서는 기술 혁신가, 학술 기관, 연구원 및 교육자들과 협력하여 건설 4.0의 구현을 적절히 준비하는 것이 중요하다.

<원문제목> A Proposed Framework for Construction 4.0 Based on a Review of Literature

<원문출처> EPiC Series in Built Environment – Royal Institution of Chartered Surveyors

– Liverpool John Moores University Liverpool, UK