

# Global Report

## 건설 혁신의 채택과 실행에 장애와 추세

1. 개요
2. 소개
3. 연구 방법론
4. 건설부문의 4차 산업혁명에 대한 개념
5. 혁신적인 기술의 채택과 실행의 장애물
6. 결론

## 1. 개요

혁신이라고 하는 실천안(Innovation initiatives)은 모든 산업에 매우 중요한데 그 이유는 모든 산업의 미래 성장이 바로 이 혁신안에 달려있기 때문이다. 본 논문에서는 BIM(빌딩정보 모델링), 자동화(automation) 및 로봇화(robotics), 증강현실(augmented reality), 가상현실(virtual reality), 사물인터넷(internet of things)과 같이 건설 산업에 큰 영향을 미칠 수 있는 혁신적인 기술들이 검토되었다. 그럼에도 불구하고 건설 부문에서의 혁신 구현은 생산성에 영향을 미치는 측면에서 다른 산업 부문들에 비해 뒤처져 왔다. 정부는 이 분야의 제조 및 혁신적인 연구에 대한 투자수준을 증가시키면서 건설 부문의 혁신을 개선하는 것을 목표로 삼고 있다. 본 논문에서는 혁신적인 기술을 채택하는 과정과 건설 부문 혁신 구현에 왜 장애가 있는지 그 이유를 검토코자 한다. 기계와 인간의 통합은 인간의 능력을 향상시켜 미래에 더 창의적이고 부가가치가 높으며 사회적으로 중요한 활동에 집중하게 할 것으로 예상되고 있다. 이러한 기술적 연구 결과를 건설 산업의 생산성으로 탈바꿈 할 수 있도록 하기 위하여 사고방식의 변화 필요성도 존재하고 있다.

## 2. 소개

일반적으로 혁신이란 각각의 시행 주체별로 새로운 것으로 인식되는 어떤 아이디어, 기술 또는 재료들을 실제로 적용하는 것이라고 이해될 수 있다. 기업이 수행하는 모든 재무적, 개발 및 상업적 활동이 혁신적인 행위에 포함되는데 이 혁신적인 행위는 그 기업이 혁신의 결과물을 내놓을 수 있도록 이어져야 한다. 혁신을 성공적으로 관리하려면 혁신적인 행위에 대한 세심한 연구를 필요로 한다. 먼저, 색상이나 형태 등의 미적 변화와 같은, 제품 또는 기술적 절차 등의 사소한 개선과 혁신이라는 개념과의 차이를 분명히 할 필요가 있다. 그러한 변화는 속성, 특징 및 제품 비용에 뚜렷한 영향을 나타내지 못한다. [본문 참고문서 3]에서 혁신은 외적인 매개 변수에 따라 제품 혁신(product innovations)과 프로세스 혁신(process innovations)으로 분류되었다. 제품 혁신에 대한 정의는 이전의 것과 크게 다르며 시장에 소개된 새롭거나 개선된 서비스 또는 재화를 말한다. 프로세스 혁신이란 기업의 이전 프로세스와는 크게 다르며 그 기업에서 사용하는 새롭거나 개선된 프로세스를 말한다.

혁신 프로세스는 증가하는 업계의 니즈를 충족하고 기업의 경쟁 우위를 유지하는데 있어서 중요한 역할을 한다. 건설 부문에서 엄청난 규모의 연구는 신기술이 전반적인 생산성, 효율성 및 안전성에 긍정적인 영향을 미친다는 것을 나타낸다. 예를 들어 생명공학과 재료의 혁신은 새로운 지능형 재료와 공정의 발전을 가능하게 하고 천연 자원 부족의 영향을 줄일 수 있게 된다. 분명한 이점이 있음에도 불구하고 새롭고 혁신적인 기술을 채택하는 과정은 복잡하고 보수적인 건설 회사의 특성과 실행에 대한 고도의 리스크로 인해 매우 느리고 불안정하다. 신기술 개발업체들은 이를 극복하고 그 기술을 전파하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다.

건설 산업은 각국의 경제 및 고용 성장에 기여하는 주요 요소들 중 하나이지만 여전히 연구 개발 집약도가 순매출액의 1% 미만으로 가장 낮다. 이와 관련하여 다음과 같은 질문사항들이 연구를 위해 추려졌다.

- 1) 인더스트리 4.0 개념의 틀 내에서 혁신적인 기술과 관련된 건설 산업의 기술은 어떤 기술들이 있는가?
- 2) 최근 수년 동안 건설 산업에서 널리 사용된 혁신적인 기술에는 어떤 것이 있는가?
- 3) 아직 많이 사용되지 않는 혁신적인 기술에는 어떤 것이 있는가?
- 4) 새로운 혁신적 기술의 채택과 구현에 방해가 되는 것은 무엇인가?

이 논문의 주요 목적은 상기 연구 질문에 답변한 자료를 기초로 기존 문헌을 포괄적으로 검토하고 그 내용의 주제에 대한 구조화되고 완성된 비전을 제공하는 것이다.

### 3. 연구 방법론

무엇보다 먼저 기존 문헌 및 관행에 대한 초기 조사 및 검토작업이 이루어졌다. 문헌에서 일반적으로 언급되는 혁신적인 주요 건설 기술을 확인하였다. 고품질의 최신 정보로 본 논문을 작성하기 위하여 다음과 같은 두 기관의 자료를 주로 사용하였다; 즉, “Science” 및 “SCOPUS” 웹에서 저널 검색을 이용하였다. 각 저널의 임팩트 요소와 발행 일자에 큰 관심을 기울였다. 그래서 저널 설정 기준을 2016년부터 2019년까지 가장 최근의 논문을 선택하는 것으로 정하였다. 한편, 실무지침 출판물들을 포함하기로 하였는데, 다만 이들 대부분은 전문가 검토를 받지 않았으므로 단순 견해에 기반 하거나 주관적이라고 간주될 수 있다. 게다가, 개방형 구글 탐색, 도서관 및 데이터베이스와 같은 비과학적인 웹 페이지의 일부도 검토하여 이 문제 대하여 완벽하고 다양한 관점을 가지고 접근하였다. 동시에 우리는 최첨단 기술에 대한 종합적인 개요를 얻기 위하여 모든 분야의 간행물을 포함하였지만 주로 토건분야, 산업 및 제조분야를 포함하였다. 검색 엔진의 경우, 다음과 같은 단어 조합 및 키워드가 사용되었다. 즉, “건설 산업”과 “건설 부문의 혁신”, “BIM”, “사물인터넷”, “자동화”, “PLM(제품 수명주기 관리)”, “스마트 시티”, “스마트 빌딩”, “로봇화”, “시뮬레이션 도구” 등이다. 분석용 총 문서의 양은 6,540개에 달한다. 관련성 평가 제2단계에서 제목을 읽고 개요를 분석하여 게재 내용을 평가하였다. 평가 및 선정 후 526개의 문서가 선정되었다. 또한 관련성 및 중복성을 제거하기 위하여 예방적 조치가 취해졌다. 이러한 데이터로 인하여, 지속적으로 중요한 현재의 문제와 새로운 이슈들이 도출되고, 이들은 건설 산업에서 혁신적인 큰 잠재력을 가질 것으로 예상된다.

### 4. 건설부문의 4차 산업혁명에 대한 개념

인더스트리 4.0은 제조회장에서 정보 데이터 및 자동화 기술의 사용 증가 추세를 설명하는 잘 알려진 용어이다. 그러나 인더스트리 4.0은 주로 기계화, 전기화 및 컴퓨터화가 나타난 이후의 4차 산업혁명을 특징으로 하는 하나의 전략이다. 인더스트리 4.0은 스마트 생산(Smart Production), 스마트 제조(Smart Manufacturing) 또는 산업용 인터넷(Industrial internet)과 같은 문헌에서 다른 동의어로 언급되고 있다. 20년 전 건축 디자인은 종이 위에 표현하는 2차원 또는 모델을 통한 3차원으로 표현되었다. 고객의 경험은 최근까지 2D 및 3D의 사용 모델링 프로그램을 사용하여 공간과 건축 대상물의 새로운 방식의 상호작용 및 통신방식이 등장하기 전까지 이러한 차원으로 제한되어 있었다. 건축 정보 모델링(BIM)의 발전은 건축 대상물의 시각적 변환과 정보로의 건설 프로세스의 변환과정 추이를 확인시켜 준다. BIM은 건설되는 건축 대상물의 전 생애주기에 걸쳐 프로세스 및 제품에 관한 모든 정보를 포함하는 하나의 플랫폼이라고 설명할 수 있다. 이것은 설계 방법론이 아니라 특히 건설 회사에게 매력적인 고성능 도구이다. 이 방법론의 큰 이점은 그 소요비용과 예상 에너지 수요와 함께 건축 대상물의 일부를 수정할 수 있다는 데에 있다.

소비자에게 디자인 대상물을 시각화하기 어려움으로 3차원적 경험을 촉진시키는 계기가 되었고 실제 시공되기에 앞서서 그 공간에 거치되도록 하였다. 가상현실(VR - Virtual reality)은 대상물을 렌더링 단계에 더 가깝게 실현하여 3차원 영상을 가능하게 하였지만 그 대상물의 공간은 경험하게 할 수 없었다. 이러한 공간적 한계는 “몰입형 가상현실(immersive reality)” 또는 “버추얼 이머전(virtual immersion)”으로 알려진 것들로 극복된다. 이러한 기술은 오늘날에도 계속해서 발전하여 최근에는 증강현실 기술이 나타나게 되었다. 이것은 스마트 폰만 있으면 2차원 요소를 3차원으로 보고, 포함되어 있는 정보(4D, 5D 및 6D)를 공유하는 방법이다.

1910년에 이미 프랑스 예술가 Villemard는 2000년의 건설현장에 대한 그의 비전을 묘사한 엽서를 만들었다. 국제건설자동화학회(IAARC-International Association of Automation and Robotics in

Construction)는 이 이슈 사항에 관해 연례 심포지엄 개최를 1984년 이래 지속적으로 구체화하면서 선진국에서 2000년까지 로봇화가 건설현장에서 일반화될 것이라는 Villemard의 초기비전을 무의식적으로 공감하게 되었다. 그러나 Villemard의 비전은 아직 실현되지 않았다. 인간과 기계의 통합은 인간의 능력을 확장할 것이지만 완벽히 대체하지는 못할 것으로 예상되고 있다. 이를 통해 인간은 보다 창의적이고, 가치 있으며 그리고 사회적으로 필수적인 활동에 집중할 수 있을 것이다.

진행 중인 4차 산업혁명에는 첨단 로봇화, 인공지능, 적층식 제조(additive manufacturing), 시뮬레이션, 증강현실, 산업 인터넷, 사이버 보안, 클라우드 컴퓨팅, 빅 데이터 및 분석, 스마트 및 다기능 재료와 같은 새로운 혁신 기술의 개발과 적용과 관련이 있는데 물리적 세계와 가상 세계를 통합 가능하게 할 것이다.

건설 산업이 인더스트리 4.0을 통해 얻을 수 있는 몇 가지 이점에는 아래와 같은 사항들이 있다.

- 자동 공정 및 로봇화의 적용으로 인건비를 절감하게 한다.
- RFID와 같은 내장형 센서 적용으로 재료와 장비의 자동 추적을 통해 재료비용 절감을 가능하게 한다.
- 사전 제작 및 적층식 제조 기술 적용으로 시간을 절약하게 해준다.
- BIM 기반의 플랫폼, 클라우드 플랫폼 또는 소셜 미디어 애플리케이션은 기업간의 협업을 크게 개선시키고 프로젝트를 예산 내에서 운용토록 하고 프로젝트 인도시기를 단축 하는데 도움이 될 수 있게 한다.
- 스마트 헬멧, 스마트 안경 또는 스마트 작업복과 같은 웨어러블 기술 적용으로 현장 작업의 안전을 향상시킨다.

우리는 기존 문헌을 검토하여 하나의 개념적 리스트를 작성하기 위하여 확인된 기술, 유사어, 개념 및 용어를 3개의 주요 클러스터와 17개의 개념으로 그룹화하기로 결정하였다. 하나의 논문이 둘 이상의 개념과 연관되어 있는 경우 모든 개념은 그룹화 되어야 한다. 본문에 게시된 표 1은 Oesterreich 및 Teuteberg [본문 참고문서 5]에 의해 확인된 2010-2015년 인더스트리 4.0개념에 관한 과학 기술 자원의 통계 결과와 저자가 2016-2019년에 얻은 결과를 비교 분석한 것이다.

건설 산업에서 인더스트리 4.0에 관한 많은 출판물이 간행되었으며 그 숫자는 매년 증가하고 있다. 반면에 저자들은 기존 연구들이 건설 산업에서 인더스트리 4.0 채택을 실현하기 위한 이론개발 이라기보다는 인더스트리 4.0을 채택할 가능성에 초점을 맞추고 있음을 토로하였다.

주어진 많은 기술들의 이점에도 불구하고 건설 회사에서의 광범위한 채택은 아직 이루어지지 못했다. 언급된 기술들은 현재 그 성숙도가 다양하다. 예를 들어, 클라우드 컴퓨팅, 모바일 컴퓨팅, BIM 또는 모듈화는 시장 성숙 단계에 도달했으므로 현재 적용할 수 있다. 반면 적층식 제조기술, 증강현실, 가상현실 및 혼합현실 기술들은 아직 형성단계에 있으며 주류로 사용할 수 있는 준비도 못된 상태이다. Dallasegaa 등의 주장에 의하며 기술 관련 문헌에 따라 GIS, RFID, E-Business, 3D 프린팅 및 BIM과 같은 최신 기술들은 현재 고객 공급망과 시설물 관리에 적용하는 방식을 찾고 있다고 한다.

새롭고 독보적인 기술 또는 재료의 개발은 복잡하고 시간이 오래 걸리는 절차가 필요하다. 하나의 새로운 기술이 업계에서 통용되는 수준에 도달하기까지는 수십 년이 걸릴 수 있고 업계의 오래된 기술과 방법들을 완벽히 대체하는 데에는 수년이 걸릴 수 있다고 [본문 참고문서 10]에서 밝히고 있다. 또한 새로운 기술과 설계 및 제조 공정의 자동화 및 디지털 수준의 향상은 기술자격을 갖춘 더 많은 고용인력을 필요로 한다. 특히 고용 인력들에게는 컴퓨팅, 디지털 기술, 분석적 사고, 제조 방법 및 기계 인체공학 기술이 필요로 할 것으로 예상된다. 이 저자는 기술이 기술적 일례(technological-instance)에서 초월적 영향(transcendental effects)으로 연결되고 이어져야 한다고 주장한다. 이것은 발명은 발명을 자극한다 라는 것을 의미한다. 그것은 자체적인 충동을 가지고 있으며, 바람직하지 않은 부작용이 명백해지더라도(예를 들어 자동차 오염이 문제가 됨)혁신의 물결을 막는 것은 거의 불가능하다고 [본문 참

고문서 13] 언급되어 있다. 건설은 수동 제어 시스템 및 장비에서 자동화 및 기계중심 작업으로 전환되는 경향이 있으므로 향후 연구의 중요한 분야로 인식되고 있다. 또한 많은 정부가 기업의 새로운 기술 구현을 지원한다. 기술 구현을 촉진함으로써 기술 확산 속도를 가속화 할 수 있으므로 건설 회사가 새로운 기술을 채택할 수 있는 방법, 이유 및 분야를 아는 것은 아주 중요하다.

## 5. 혁신적인 기술의 채택과 실행의 장애물

신기술의 기술적 진전은 품질, 디자인, 지속 가능성 및 생산성을 극적으로 향상시킬 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 그러나 문헌을 검토한 결과에 따르면 이러한 기술의 효과적인 채택을 방해할 수 있는 많은 장벽이 있는 것으로 나타난다. 본문 참고문서[15]에 따르면 Ramilo와 Embi는 이러한 문제를 기술적, 조직적, 재정적, 심리적, 정부차원 및 프로세스 장벽과 같이 6개 부문으로 분류하였다.

조직의 규모와 신기술 구현 프로세스 사이에는 어떤 상관관계가 존재한다. 소규모 조직은 기업에 큰 영향을 미치는 기술적 문제의 원인이 되는 재정적, 심리적 및 조직적 장애물에 의해 크게 영향을 받는다. 중간 규모의 건축관련 조직도 동일한 장벽을 가지고 있지만 심리적인 장벽으로 인한 영향은 덜 받는다. 대규모 조직은 디지털 혁신을 지원할 수 있는 투자가 용이한 큰 프로젝트를 가지게 됨으로서 중소기업에 비하여 장애물에 덜 영향을 받는 편이다. 따라서 재정적 장벽이 제시된 6개 부문의 장벽 가운데 가장 중요하다. 현재 건설 과정의 다양한 단계는 불투명하고, 느리고, 불확실하다고 말할 수 있다.

Ermolli 과 De Toro에 따르면 그 주요 문제들은 아래와 같다.

- 전체 프로세스를 관리하기 위한 전문 데이터를 업데이트 하기 위한 구조화된 활동이 부족
- 주 계약자와 고객 사이에 시너지 효과를 높이기 위한 새로운 조직 및 관리 방법론과 새로운 도구에 더 이상 대응하지 못하기 때문에 프로세스의 현재 조직 모델이 부적절
- 건설 과정에서 생성되는 막대한 양의 데이터를 관리하고 수집하기 위한 IT 툴의 사용 부족
- 수많은 프로세스 참여자 사이에 정보 교환 및 통합의 복잡성
- 품질 측면을 무시하고 경제적 측면을 우선시하는 최저가 형식을 기반으로 한 보상기준의 광범위한 채택

유럽 제조 분야에는 자금조달 메커니즘과 특정 수단으로 해결해야 할 두 가지 부류가 존재한다. 첫 번째 부류의 것은 기초 연구와 응용연구 사이에 존재하는 것인 반면에 두 번째 부류의 것은 응용 연구와 시장 개발 사이에 존재한다.

## 6. 결론

본 논문의 주요 목적은 건설 산업의 혁신 기술과 관련된 인더스트리 4.0의 현 상황을 조사하고, 기존 문헌에 대한 개요를 제공함으로써 건설 부문에서 이러한 기술의 구현과 채택에 장애물을 식별하는 것이었다. 건설 산업의 개념에서 인더스트리 4.0의 구체적인 정의에는 건설 부문 가치 사슬의 모든 단계에서 건설 프로세스의 자동화, 디지털화 및 통합을 가능하게 하는 많은 분야간 제휴기술을 포함한다는 것을 앞선 분석을 통해 결론을 내릴 수 있다. 건설 회사의 복잡성, 보수적인 특성 및 고도의 실행 리스크로 인하여 새로운 첨단 혁신 기술을 채택하는 과정은 아주 느리고 불안정하다. 그럼에도 불구하고 협력사들은 이를 극복하고 기술 확산을 위해 단호한 노력을 기울이고 있다. 또한 조직의 규모가 디지털 혁신의 장애물과 상당한 관계가 있다는 사실이 밝혀졌다. 끝으로 소규모 조직이 디지털 혁신에 더 많은 장벽에 직면하는 반면에 대규모 조직은 비교적 적은 장벽에 직면한다는 결론을 내리고자 한다.

<원문제목> Innovation in construction – trends and obstructions of adoption and implementation

<원문출처> IOP Conference Series – Materials Science and Engineering