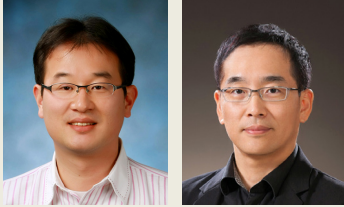


Off-Site Construction: 건설생산시스템의 혁신

KICEM



손정욱 이화여자대학교 건축도시시스템공학과, jwson@ewha.ac.kr
이준성 이화여자대학교 건축도시시스템공학과, jsyi@ewha.ac.kr

1. 4차 산업혁명의 시대

1995년 하버드 대학의 크리스텐센 교수는 새로운 시장과 가치 사슬을 창출하여 기존의 제품과 회사를 대체할 정도의 강한 변화를 파괴적 혁신(Disruptive Innovation)이라고 주장했다. 최근 우리는 이러한 파괴적 혁신의 사례를 다양한 분야에서 접하고 있다. 2007년 아이폰이 나온 이후 전화기, 컴퓨터, 음악재생기, 카메라, 녹음기 등의 기능을 통합하며 말 그대로 파괴적 혁신을 이루고 있는 스마트폰은 이미 전 세계 인구의 절반 정도가 사용하고 있으며 우리나라에서는 전체 인구의 95%가 사용할 정도로 대중화되었다. IBM이 1980년 처음으로 1기가바이트의 데이터를 저장할 수 있는 냉장고 크기의 하드드라이브를 만든 후 데이터 저장장치는 급속히 발전하여 최근에는 30테라바이트가 넘는 용량의 손바닥 만한 크기의 반도체 기반 저장장치가 상용화되어 팔리고 있다. 이

외에도 디스플레이, 자율주행 자동차, 첨단소재 등 이미 우리 주위에 다양한 분야에서 혁신이 이루어지고 있다. 최근 4차 산업혁명이라 불리는 정보통신기술의 급속한 발전과 더불어 이러한 혁신은 더욱 가속화 되고 있다. 전 세계의 다양한 분야에서 빅데이터 분석, 인공지능, 로봇틱스, 사물인터넷, 무인운송수단, 3D 프린팅, 나노기술 등의 4차 산업혁명 핵심 기술을 활용하여 기술의 융합을 통한 혁신을 이루내고 있다.

건설 분야에서도 세계 각국에서 산업의 생산성을 향상시키고 경쟁력을 높이기 위한 기술개발과 혁신이 경쟁적으로 이루어지고 있다. 영국은 2025년까지 비용 33% 절감, 조달기간 50% 단축, 온실가스 50% 감축 등을 목표로 내세운 Construction 2025 연구보고서를 발간하였고, 일본은 정보통신기술을 건설에 적극적으로 활용하는 i-Construction 정책을 펴고 있으며, 싱가포르는 2차

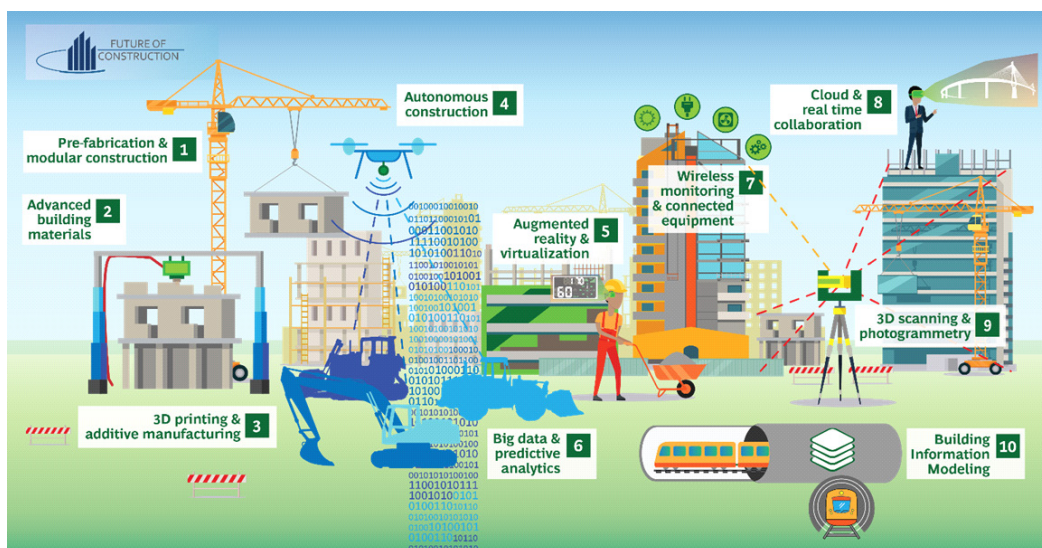


그림 1. Future of Construction (World Economic Forum, 2018)

건설생산성 로드맵을 수립하여 2010년부터 10년간 매년 생산성을 2~3% 증진하는 것을 목표로 하고 있다. 기업에서는 BIM, 가상/증강현실, 빅데이터, 자동화장비, 3D 스캐너 등을 이미 건설 현장에서 적극적으로 사용하고 있으며, 3D 프린팅, 로봇, 사물인터넷 기술 등이 건설산업에 활용될 날도 머지않을 것으로 예상된다. World Economic Forum은 4차 산업혁명 기술들이 건설산업에 점차적으로 도입되어 인프라, 건축물 등의 설계, 건설, 운영 및 유지되는 방식을 변경할 것으로 전망하였으며, 10년 이내에 본격적인 디지털화로 인해 연간 1조 ~ 1조 7천만 달러를 절약할 수 있을 것으로 예상했다 (그림 1).

이러한 변화 중에서도 탈현장생산시스템(Off-Site Construction; OSC)을 활성화하여 기존의 현장생산시스템에서 벗어나 생산시스템의 다변화를 통해 산업의 효율성을 높이려고 하는 시도는 여러 가지 어려움을 겪고 있는 국내 건설산업에 시사하는 바가 크다고 생각된다. 이에 본고에서는 국내 건설산업이 겪고 있는 산업의 환경변화에 대한 분석과 해외 사례를 제시하여 OSC의 본격적인 도입의 필요성을 제기하고자 한다.

2. 건설산업 환경변화와 경쟁력 저하

국내 건설산업은 근래에 급격한 변화를 겪고 있다. 그 동안 국가의 기간산업으로서 국가경제 개발의 초석 역할을 해오던 건설산업은 경제발전의 시기를 지나면서 역할의 변화를 겪고 있다. 사회적으로는 도시화, 에너지 문제, 기후변화 대응, 복지향상, 사회안전 확보 등의 문제 해결을, 산업적으로는 효율성 향상과 대외 경쟁력 확보를 요구받고 있다. 하지만, 국내 건설산업의 현실은 사양산업으로 인식되어 전반적인 투자가 감소하고, 대외적으로는 경쟁력 비교열위로 인하여 수출 및 수익성 개선에 어려움을 겪고 있다. 사회적으로는 재래산업 혹은 비리산업이라는 부정적인 인식으로 인해 새로운 기술자 및 기능 인력의 유입이 부족하여 산업의 근간이 취약해 지고 있으며, 최근 들어서는 최저임금제 및 52시간 근무제 등의 산업 환경 변화로 인해 경영상황이 악화되고 있는 실정이다.

2.1 생산성 저하

국내 건설업의 노동생산성은 해외 경쟁국 대비 낮은 수준이며, 점차 그 격차가 커지고 있는 것으로 나타났다. 맥킨지 글로벌에 따르면 국내 건설산업의 노동시간당 부가가치는 스페인 대비 44%, 프랑스 대비 50%, 영국 대비 62% 수준인 것으로 조사되어

경쟁력이 낮은 것으로 나타났다. 더욱이 국내 건설업의 노동생산성은 점진적으로 증가하고 있는 타 제조업(2.6%)과 대조적으로 해마다 감소(-3.5%)하고 있는 것으로 조사되었다 (표 1). 생산성 저하는 결과적으로 공사비 증가와 공기 증대로 이어져 전반적인 산업의 경쟁력 하락으로 이어질 우려가 크다. 맥킨지는 보고서에서 규제 여건 재구성, 계약체계 변화를 통한 업계 역학구조 재편, 설계 및 엔지니어링 프로세스 개선, 구매 및 공급망 관리 개선, 현장 실행 개선, 디지털 기술 강화, 인적 역량 강화 등을 통해 노동생산성을 개선할 수 있을 것으로 분석하였다.

표 1. 부가가치 노동생산성 지수 (전년 동기 대비 증가율)

(한국생산성본부, 2018)

산업별	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	평균
제조업	7.2	3.1	0.6	1.6	0.7	-1.5	3.2	6.1	2.625
건설업	-16.4	-11.2	-3.4	6.4	-3.1	-7.5	1.1	6.1	-3.5

2.2 기능인력 유입 부족 및 저숙련화

건설업의 기반을 이루는 기능인력 수급에 있어 국내 건설업은 양과 질에서 모두 저하되고 있는 것으로 생각된다. 국내 건설기능인력의 수는 약 150만 명 정도로 해마다 점진적으로 증가하고 있다. 그러나 현장에서 실질적으로 주요 공종을 수행하는 내국인 숙련인력의 수는 매우 부족한 것으로 나타났다. 건설근로자공제회의 설문조사에 따르면 응답자의 67%가 팀·반장급 숙련인력이 부족하다고 응답했으며, 63%가 일반공·조공 인력이 부족하다고 응답했다. 이는 35만 명 정도로 추산되는 불법 외국인력, 열악한 작업환경 등으로 인한 신규 기능인력의 유입부족 등의 여러 가지 요인이 복합적으로 작용한 것으로 생각된다. 또한, 건설기능인력 중 55세 이상의 비중이 2015년 53%에서 2016년 58%, 2017년 60.8%로 빠르게 증가하고 있는 점을 고려하면 건설기능인력의 절대적 숫자 부족과 저숙련화 문제가 심각하게 대두될 것으로 생각된다 (표 2). 최근 미국의 AGC(Associated General Contractors of America)에서 조사한 바에 따르면 '숙련 기능공의 부족'이 향후 건설산업의 가장 큰 리스크로 꼽혔는데, 이는 '건설 경기 하강', '경험 있는 현장 감독의 부족'보다도 압도적으로 큰 비중을 차지했다.

표 2. 산업별 55세 이상 취업자 비중

산업별	2015	2016	2017
제조업	30.0	32.6	36.0
건설업	53.1	58.5	60.8

2.3 품질저하 및 안전사고 증대 우려

위에서 언급한 기능인력의 저숙련화 및 외국 인력의 무분별한 유입은 현재 국내 건설산업의 여건과 맞물려 건축물의 품질저하, 중대 안전사고 증대 등 현장관리의 어려움을 유발하고 있다. 현장에서의 품질저하의 원인을 특정한 한 가지 원인에 기인한다고 판단하기는 어렵다. 하지만 분산된 환경에서 동시다발적으로 수행되는 작업의 시공품질은 관리자의 점검 뿐 아니라 작업자의 숙련도와 책임감에 의존하게 되는 경우가 많다는 점을 고려한다면 급속히 변화하는 산업환경과 기능인력의 저숙련화, 외국 기능인력의 증가는 품질저하의 우려를 갖게 하기에 충분하다. 최근 사회적으로 이슈가 되고 있는 건설현장의 안전사고 소식도 이와 무관하지 않을 것으로 생각된다. 국내 건설현장에서 1년에 1만 8천명 이상의 재해자가 발생하고, 그로 인해 4조원 이상의 경제적 손실이 발생한다. 이를 예방하기 위해 오랜 기간 동안 여러 가지 정책과 방법이 실행되고 있으나 건설현장에서의 안전사고는 점차 증가하고 있는 양상을 보이고 있다. 결국 안전사고는 관리체계의 최하단의 작업자가 주체이며 피해의 대상이 된다. 작업자들의 안전에 대한 이해와 책임감을 증진시키고, 안전사고를 줄일 수 있는 작업환경이 마련되어야 한다.

2.4 첨단건축기술 국제경쟁력 열위

세계 경제의 전반적인 저성장추세 속에서 새로운 성장 동력 확보에 대한 필요성이 대두되면서 주요 국가들은 이를 해결할 하나의 메가 솔루션으로 4차 산업혁명을 선도하기 위한 역량을 집중하고 있다. 건설산업 분야에서도 선제적으로 산업구조 개편을 통해 생산성을 제고하기 위한 노력을 하고 있다. 앞서 언급한 영국의 Construction 2025, 일본의 i-Construction, 싱가포르의 2차 건설생산성 로드맵 모두 전통적 건축 생산기술에서 탈피하여 BIM, 로봇, 3D 프린팅, 건설자동화 기술, 가상/증강현실/LiDAR 등의 컴퓨터 그래픽 기술 등을 적극적으로 도입하여 고부가가치 시장을 창출하는 것을 목표로 하고 있다. 국내 건설산업에서도 유사한 움직임이 있다. 하지만, 해외 국가와의 방향과는 다소 차이가 있다. 미국과 독일 등의 국가에서는 정보와 지식혁신, 첨단산업, 스마트 팩토리 등의 기술혁신에 초점을 맞추어 산업의 근본적인 패러다임을 바꾸기 위한 노력을 하고 있다. 반면 국내에서는 단편적인 기술개발에 그치고 있거나, 마케팅용에 그치는 경우가 많다. 정부에서는 6차 건설기술진흥 기본계획 중 주요전략 중 하나로 “4차 산업혁명에 대응하는 기술개발”을 발표하고, 스마트 건설기술을 통한 생산성 향상, 해외 수요 대응형 건설기술 개발, 분야 간 융복합을 통한 경쟁력 강화, 건설 빅데이터 유통을 통한 신

사업 육성, 건설의 안전·환경 관리를 중점추진과제로 제시했다. 맥킨지가 2005년부터 10년간의 데이터를 분석한 결과 최근 산업의 생산성 증대는 디지털화와 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 정보통신기술과 에너지 산업 등은 높은 디지털화에 힘입어 괄목한 만한 생산성 증대를 이루었으며, 재래산업으로 인식되는 농업도 디지털화를 통해 생산성 향상을 이루고 있다. 전 세계적으로 건설산업은 디지털화와 생산성 향상 부문에서 최하위를 기록하고 있다. 정부와 민간의 지속적인 협력이 필요하다고 판단된다.

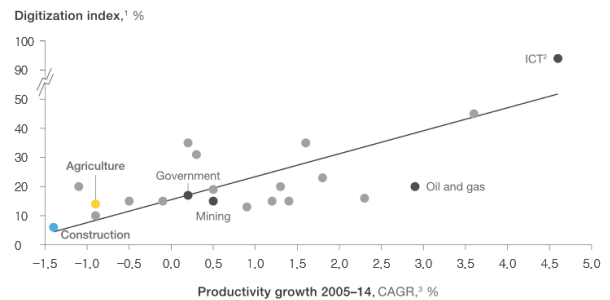


그림 2. 산업별 디지털화와 생산성 증가 (Makinsy&Company, 2018)

2.5 소결

국내 건설산업은 대내외적인 환경변화로 인하여 점차 경쟁력을 잃고 있다. 한국건설기술연구원에 따르면 2018년 국내 건설산업의 글로벌 경쟁력은 12위로 해외시장에서 경쟁국인 미국 대비 71%, 중국 대비 78%, 일본 대비 95% 수준이며, 2016년 6위, 2017년 9위로 매년 3단계씩 하락하는 추세이다. 지난 수십 년간 유지해온 신흥공업국 수준의 경제 여건에서 적합했던 생산시스템이 변화할 시점이 된 것이라 판단된다. 건설산업의 특성을 언급할 때 당연히 먼저 현장생산, 옥외생산, 일회성, 노동집약적이라는 말을 하게 된다. 이것은 건설산업의 근본적 특성이기도 하지만 한편 국내 경제구조가 이를 뒷받침 해 왔기 때문에 유지될 수 있었다. 앞서 언급한 국내 건설산업이 겪고 있는 환경변화는 1인당 GDP가 3만 달러를 넘어서는 등 국내 경제가 성장하면서 동반되는 성장통일 것이다. 건설생산시스템의 체질 개선, 4차 산업혁명 관련 기술의 적극적인 도입, 생산방식의 혁신적인 전환을 통한 도약이 필요한 시점이라고 생각된다.

3. Off-Site Construction 기반의 건설생산시스템

Off-Site Construction(OSC)는 건축시설물이 설치될 부지 이외의 장소에서 부재(Element), 부품(Part), 선조립 부분(Pre-assembly), 유닛(Unit, Modular) 등을 생산 후 현장에 운반하여 설치 및 시공하는 건설방식이다. OSC에 사용되는 부재, 부품들은

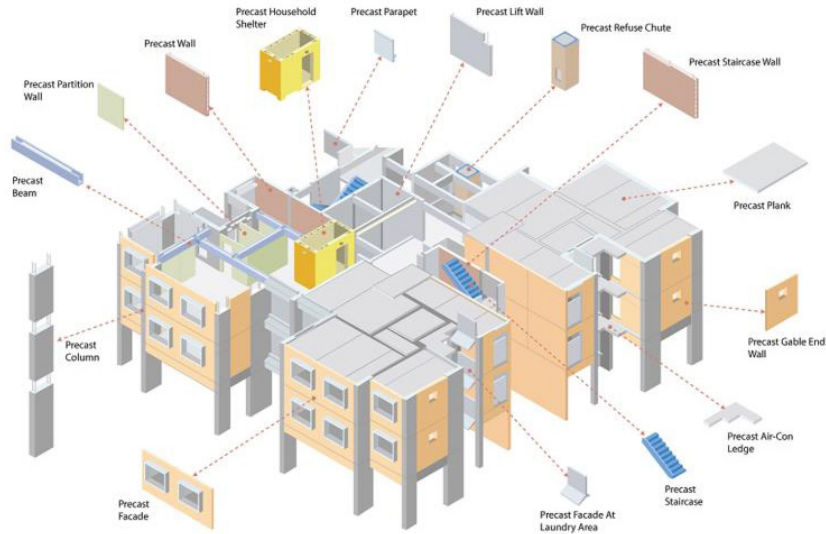


그림 3. 싱가포르 HDB의 Precast Building System 예시

서로 다른 장소에서 생산되어 부지로 운송되거나 필요한 경우 중간생산 단계를 거쳐 부지로 운송된다. OSC의 범위는 건축시설물의 주요구조, 비구조요소, 기계, 전기, 설비 등의 모든 부분을 포함한다. OSC에서는 생산과정의 효율성을 높이기 위해 현장생산 방식과는 다르게 각 부재 및 부품의 기획-설계 및 엔지니어링-생산-시공-유지관리의 과정이 재구성될 수 있으며, 각 단계를 분리수행하는 대신 전체적인 OSC 공급사슬(OSC Supply Chain)을 최적화하는 통합적인 수행방식을 거친다. 그림 3은 싱가포르의 Housing & Development Board에서 제시한 OSC 방식의 예시이다.

3.1 OSC 방식 도입에 따른 기대효과

OSC 방식은 전통적인 현장생산방식과 여러 차이점을 가진다. 우선 OSC 방식에서는 생산의 많은 과정이 공장 내에서 이루어지게 된다. 현장작업을 그대로 공장에서 수행하는 낮은 수준의 OSC 화에서 BIM기반의 설계·엔지니어링 정보와 연계된 자동화 생산

라인을 갖추고 4차 산업혁명 기술을 도입한 스마트팩토리 구현이 가능하다. 공장생산의 효율성 향상을 위한 다양한 기술의 도입을 통해 기능인력 중심의 현장생산방식에서 첨단기술 중심의 공장생산방식으로의 전환된다. 공장생산 뿐 아니라 물류와 현장설치로 연계되는 OSC 공급사슬을 구축하고 이를 효율화함으로써 건설생산과정 전반의 생산성을 향상시킬 수 있다. 또한 OSC 방식에서는 현장생산방식과는 달리 설계 및 엔지니어링, 생산, 시공 단계의 표준화·모듈화·반복생산을 통해 원가절감, 공기단축, 품질향상의 효과를 기대할 수 있다. McGraw Hill은 SmartMarket Report에서 OSC 프로젝트의 66%가 공기단축, 65%가 공사비절감 효과를 거두었다고 분석하였으며, KPMG는 향후 OSC 방식을 도입해 건설사업비의 7% 절감효과를 얻을 수 있을 것으로 예상했다.

OSC 방식은 앞서 언급한 생산기술의 발전 이외에도 건설산업 전반에 긍정적 효과를 가져올 것으로 예상된다. OSC 방식에서는 현장생산방식의 가장 큰 특징인 옥외생산과 이로 인한 기후의존



그림 4. 전통적인 PC생산 공장 (낮은 OSC화 수준)

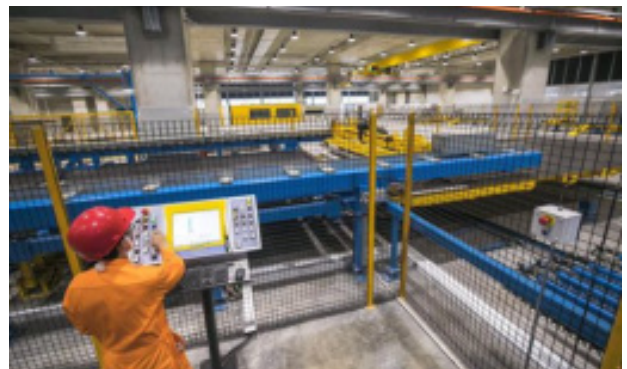


그림 5. 자동화 PC생산 공장



그림 6. 캐나다 LBS 생산공장



그림 7. 자동화 생산설비



그림 8. 재활용 버킷

적인 면이 현저히 줄어들게 된다. 작업자들이 일정 기간 마다 현장을 이동하며 작업의 모든 과정을 옥외에서 작업하고 날씨에 따라 작업의 방향이 결정되던 방식에서 정해진 장소로 출퇴근하며 연중 실내의 제어된 환경에서 작업할 수 있는 방식으로 바뀌게 된다. OSC화가 진행될수록 건설기능인력의 작업은 기존의 단순·노동의 개념에서 복합·운용의 개념으로 변화할 것이며 작업생산성은 점차 증가할 것이다. 높아진 직업의 안정성은 신규 기능인력 유입으로 이어질 것으로 기대되며 본격적인 건설기능인력 양성 및 관리가 가능해 질 것으로 생각된다.

필자는 몇 년 전 캐나다의 한 목조 다세대주택을 전문으로 하는 회사의 생산공장을 방문했다. 우리나라와 건설환경이 다르기에 직접적인 비교는 어렵지만, 공장에서 건축물의 생산되어 현장에서 조립되는 과정이 3~4일 내에 이루어지고 생산과정의 많은 부분이 자동화되어 있었다. 인상적이었던 것은 작업자들이 반자동화된 설비와 함께 높은 생산성의 작업을 수행하였으며, 동시에 스스로의 안전/품질/환경 관리자의 역할을 수행하고 있었다는 점이다. 작업자들은 생산라인의 한 파트를 책임지며 표준화된 업무를 반복적으로 수행하며 품질에 대한 높은 이해를 가지고 있었고, 작업장 주변 점검과 정리정돈을 통해 안전사고 절감과 재활용 목표 달성에 참여하고 있었다. 또한 작업자들 중 절반 정도가 20~40대로 구성되어 있었는데 이는 기능인력의 고령화와 신규 인력 유입 감소를 겪고 있는 국내 건설산업과는 대조적이었다(그림 4~6).

4. 맺음말

국내의 OSC는 이제 시작단계라고 할 수 있다. 1963년 대한주택공사가 처음으로 PC로 시범주택을 지은 이후 1990년대 중반까지 성장해 오던 시장은 더 이상 활성화 되지 못하고, 현재는 지하주차장, 물류센터, 반도체 공장 등에 제한적으로 사용되고 있다.

최근 들어 공기단축과 공사비절감을 위해 모듈러 주택, MTP(Multi-Trade Prefabrication), UBR(Unit Bath Room) 등의 다양한 OSC 공법들이 시범적으로 적용되고 있는 수준이다. OSC 기반 생산시스템이 효율적으로 작동하기 위해서는 기획-설계 및 엔지니어링-생산-시공-유지관리의 건설 프로세스를 연계하고, 이를 뒷받침하기 위한 정책적, 제도적, 기술적 기반 마련이 필요하다. 설계 및 엔지니어링 단계에서부터 생산 및 시공단계의 효율성을 고려해 업무가 진행되고, 생산단계에서는 물류와 현장 시공 상황을 고려한 최적의 생산이 이루어져야 한다. OSC 공급사슬에 걸친 일련의 정보와 작업을 관리할 수 있는 통합 플랫폼이 개발되고 플랫폼에는 다양한 센싱기술, 빅데이터, 인공지능, 사물인터넷 등의 기술을 활용한 프로젝트 관리기술이 탑재되어 설계부터 유지관리 단계의 업무의 효율성을 높일 수 있게 된다. 이와 함께 현장생산방식 중심의 정책과 제도를 보완하여 OSC 방식이 도입될 수 있는 환경을 조성하고, 기술적인 기반을 구축하는 것이 필요하다.

세계 각국의 건설환경이 다르듯이 건설산업의 발전을 위한 노력은 다른 양상을 보이고 있다. 그렇기에 앞서 제시한 타 국가의 사례들이 국내에 바로 적용되거나 국내 건설산업의 환경변화에 대한 직접적인 해결책이 되기는 어려울 것이다. 하지만 한편으로는 건설선진국들의 발전방향이 생산프로세스의 통합, 생산성 향상을 위한 자동화와 정보통신기술의 활용, 공장생산과 선조립 방식의 도입 등의 유사점을 가지고 있는 것으로 파악된다. 이러한 시대적인 변화에 맞춰 국내 현실에 맞는 한국형 OSC 모델을 개발하고 지속적인 혁신을 통해 국제경쟁력을 키운다면 건설산업의 발전을 이룰 수 있을 것이라 기대한다.