

# 학교건물 시공을 위한 4차 산업기술 적용의 효과성에 대한 연구

## A Study on the Effectiveness of the 4th Industrial Technology Application for School Building Construction Work

민 경 석\*

Min, Kyung-Suk

### Abstract

This study proposed the basic data that contributes to inducing an effective construction plan through the application of the 4th industrial technology to construct a school building that can guarantee the five goals of construction management: cost, process, quality, safety, and environmental management. To this end, 3D printing, drones, robot automation, and augmented reality technologies that are highly usable in construction sites were identified for construction workers. As part of this, related literature and research data were investigated. The selected 4th industrial technology was investigated and analyzed on how it was used for cost, process, quality, safety, and environmental management in a detailed school construction process. As a result of the analysis, significant results were found for the application plan of the 4th industrial technology in school construction for cost, process, quality, safety, and environmental management.

키워드 : 4차 산업기술, 3D프린팅, 드론, 로봇자동화, 증강현실

Keywords : The Fourth Industrial Technology, 3D Printing, Drone, Robot Automation, Augmented Reality

### I. 서론

#### I-1. 연구의 배경 및 목적

학교건축은 학생들의 기본적 학습권을 보장하기 위한 기본적인 시설로 원가, 공정, 품질, 안전 및 환경관리 분야에 효율적인 건설관리가 다른 건축물에 비해 특별히 필요하다. 하지만 이와 같은 중요성에도 불구하고 학교건축을 위한 건설공사에 대형건설사 보다는 상대적으로 시공경험과 기술이 부족한 중소형 건설업

체들이 상당수 참여하고 있는 실정으로<sup>1)</sup>, 공사지연 및 품질저하 발생 시 학생들의 학습권에 커다란 영향을 줌으로 학교건축에 보다 체계적인 건설관리가 필요하다.<sup>2)</sup>

이에 본 연구는 학교건축에 있어 건설관리의 5대 목표인 원가, 공정, 품질, 안전 및 환경관리 분야를 효과적으로 완수하기 위하여 4차 산업기술의 적용방안을 조사 분석하고, 이를 근거로 학교건축의 효과적인 건설 방안을 제시하고자 한다.

\* 남서울대학교 건축공학과 교수, 공학박사  
(교신저자 : min@nsu.ac.kr)

1) 류종혁(2008), 국내교육시설건설공사 현장에서의 품질하자 현황분석, 한국교육시설학회지, 15(1), 44.  
2) 문정인(2011), 초등학교의 시설계획에 관한 조사연구, 건설환경연구소 논문집, 06(1), 59-60.

## I-2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 학교건축 각 세부 건설단계의 4차 산업기술의 적용의 효과성을 파악하고자 건설관리의 5대 목표인 원가, 공정, 품질, 안전 및 환경관리 분야를 범위로 정하여 4차 산업기술의 활용도 및 영향도를 조사하고 적용방안을 분석한다.

이를 위해 우선 관련 문헌 및 기존연구에 대하여 조사, 분석하는 이론적 연구를 선행한다. 다음으로 건축 시공 및 건설관리 경험이 있는 실무자를 대상으로 건설현장에서 활용이 가능한 4차 산업기술이 무엇인지에 대한 활용도를 조사한다. 여기서 도출된 4차 산업기술 중 상위 4개 항목을 대상으로 학교건축 세부공정별로 원가, 공정, 품질, 안전 및 환경관리에 대하여 얼마나 큰 영향을 미치는가에 대한 정도를 나타내는 영향도를 조사한다. 이에 대한 조사대상은 본 연구의 신뢰성을 높이고자 학교건축 프로젝트의 유경험자에 한정한다.

## II. 문헌연구

### II-1. 건설산업의 4차 산업기술 활용현황

건설산업은 최고의 품질, 원가, 공정 및 안전관리를 위해 4차 산업기술에 대한 관심은 높지만, 구체적인 기술 활용방안에 대한 전략은 타 산업에 비해 낮은 편이다.<sup>3)</sup>

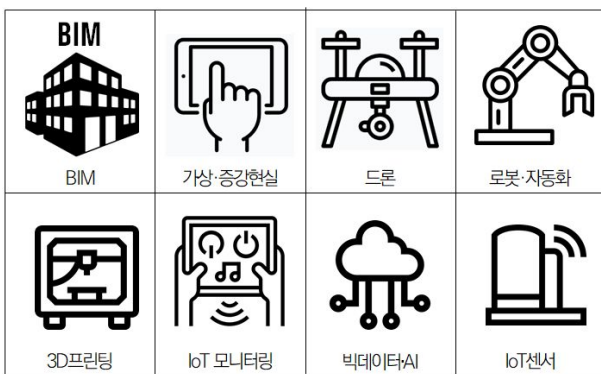


Figure 1. 4th industrial technology for construction field

최근 건설 시공업체에서 활용되고 있는 4차 산업 건설기술은 <Figure 1>과 같이 BIM, 가상현실·증강현실, 드론, 로봇·자동화, 3D프린팅, 사물 인터넷(IoT)

3) 기술안전정책관(2017), 제6차 건설기술진흥기본계획 수립(2018~2022), 국토교통부, 6.

모니터링, 빅 데이터·인공지능(AI) 및 사물 인터넷(IoT) 센서 기술 등으로 분류하고 있다.<sup>4)</sup>

### II-2. 관련 선행연구

#### 1) 4차 산업기술의 국내연구 동향 분석

4차 산업기술 관련 연구는 전 산업에서 다양하게 이루어지고 있다. 건설분야는 설계, 계획, 구조, 재료 및 정책 등 폭 넓게 4차 산업기술 도입을 위한 연구가 진행 중에 있다. 이중 본 연구와 관련된 건설현장에서의 4차 산업기술 도입에 대한 연구는 <Table 1>과 같다. 선행연구를 분석해 보면 건설현장의 안전 및 효율화를 위하여 드론, VR 및 IoT 기술을 중심으로 한정되어 연구되고 있음을 알 수 있다. 따라서 건설현장에 보다 폭 넓은 4차 산업기술의 적용에 대한 연구가 필요하다.

Table 1. Research on the application of 4th industrial technologies for the construction sites

저자	논문명	주요연구내용
김담룡 (2020)	드론을 활용한 도로 포장 평탄성 조사에 관한 연구	드론을 활용하여 도로포장의 유지관리 및 도로포장 상태 조사하는 기술 연구
김기훈 (2019)	현장 안전교육효과 증대를 위한 VR 교육방법 도입에 관한 고찰	체험형 건설안전교육을 도입하기 위한 방안으로 가상현실 기술 활용 방안 제시
최호길 (2019)	4차 산업혁명 시대의 건설현장 VR체험안전교육에 대한 연구	건설현장 안전보건교육 효과를 높이기 위하여 VR기술 활용방안 제시
류성렬 (2019)	건설공사의 IoT 기술을 활용한 스마트 안전관리시스템 최적화에 대한 연구	건설 안전사고 감소를 위해 4차 산업기술의 적용가능성 및 DSC 시스템의 사용성 및 개선사항 연구
최민식 (2018)	드론 사진측량 방법에 의한 도서(島嶼)지역 수치지형도 제작의 효용성 연구	수치지형도의 제작을 위하여 드론을 활용한 검증 연구

#### 2) 4차 산업기술의 해외 활용 분석

우리나라의 경우 정부의 주도 하에 4차 산업기술에 대한 전 산업분야의 활용정책으로 인하여 해외 건설 선진국가와 경쟁하고 있다. 특히 기획, 설계, 시공, 유

4) 서진희(2020). 건설 시공업체에서 스마트 기술 도입 우선 순위 도출에 관한 연구. 충북대학교 대학원 박사학위논문, 14.

지관리 등 건설생애주기 단계별로 주요 4차 산업기술에 대한 활용은 국가별 건설 환경에 따라 차이가 있고, 이에 World Economic Forum, Boston Consulting Group, PricewaterhouseCoopers 및 Ernst & Young이 분석한 주요기술은 <Table 2>와 같이 정리할 수 있다.<sup>5)</sup> 각 기관별로 분석한 내용의 차이점은 기술개발에 따른 생산성의 관계에 따른 점으로 파악되고 있으며, 공통적으로 BIM, Cloud, IoT, BigData, AR, VR, Modulator, 3D Printing 등이 활용기술로 주목받고 있다.

Table 2. Main 4th industrial technologies for global construction field

	WEF	BCG	PWC	EY
BIM	●	●		●
Cloud	●	●	●	
Iot	●	●	●	
Big Data	●	●	●	
Augmented Virtuality	●	●	●	●
Virtual Reality	●	●		●
Modulator	●	●		●
3D Printing	●	●	●	●
Robotics		●		●
Smart Construction	●	●		
Drone	●	●		
3D Scanning	●	●		
Mobile Application		●	●	
Sensor Technology			●	
Simulation		●		

### III. 학교건축 공정별 4차 산업기술 적용도 조사

#### III-1. 건설현장의 4차 산업기술 활용도 조사

건설현장에서는 원가, 공정, 품질, 안전 및 환경관리를 위하여 다양한 신기술, 신공법 적용이 시도되고 있고, 최근 4차 산업기술에 대한 활용방안이 모색되고 있다. 그러나 건설산업 특성 상 한정된 기술만이 현장에서 활용되고 있는 실정이다. 따라서 학교건축의 효과적인 건설을 위한 4차 산업기술 적용을 위하여 우선적으로 건설현장에서 활용이 가능한 4차 산업기술이 무엇인지에 대한 활용도 조사가 필요하다. 이에 활용도 조사를 위해 실무자의 의견을 다음과 같이 수렴하였다.

5) 이광표(2019). 국내건설기업의 스마트기술 활용 현황과 활성화 방향. 한국건설산업연구원, 10.

#### 1) 건설현장의 4차 산업기술 활용도 조사개요

건설현장의 4차 산업기술 활용도에 대한 조사를 위해 기존의 서진희<sup>6)</sup>, 강재모<sup>7)</sup> 및 진경호<sup>8)</sup>의 연구를 토대로 3D프린팅, 드론, 로봇자동화, 빅 데이터, 증강현실, BIM 및 IoT센서 등 총 7개를 대상기술을 선정하고, 건설실무자를 대상으로 활용도를 조사 하였다. 조사 개요는 다음 <Table 3>과 같다.

Table 3. Overview of the survey for 4th industrial technology utilization

조사 기간	2020년 7월중	
인원수 및 분야	총64명(건축시공 및 건설사업관리)	
조사대상 실무경력	20년이상	14명
	10년이상-20년미만	23명
	5년이상-10년미만	15명
	5년이하	12명
조사방법	7개 대상 4차 산업기술 중 건설현장에서 활용도가 높은 항목 3개씩 선정	

2) 건설현장의 4차 산업기술 활용도 조사결과 및 분석 실무자를 대상으로 건설현장의 4차 산업기술 활용도를 조사한 결과 <Figure 2>와 같이 3D프린팅, 드론, 로봇자동화, 증강현실, BIM, IoT센서 및 빅 데이터의 순으로 조사되었다.

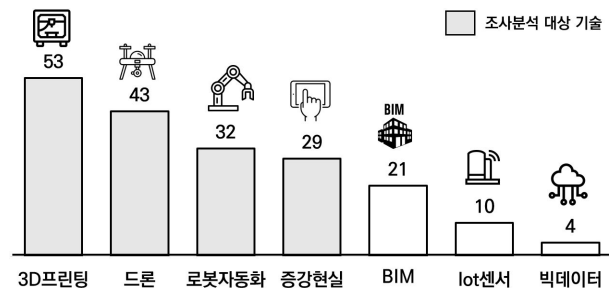


Figure 2. Preference of 4th industrial technology in construction field

건설현장 활용도에 선정된 기술을 분석해 보면 3D프린팅, 드론, 로봇자동화 등 하드웨어 기술이 증강현실, BIM, IoT센서 및 빅 데이터와 같은 소프트웨어 기술에 비해 높게 조사되었다. 이는 하드웨어 기술의 특

6) 서진희(2020). 전게서.

7) 강재모 외(2018). 스마트건설 활성화를 위한 정책(로드맵)과 기술개발 추진전략 연구. 대한토목학회 정기학술대회, 2

8) 진경호(2018). 건설생산성 혁신 및 안전성 강화를 위한 스마트 건설기술. 쌍용건설기술, 11.

성상 유형의 결과물을 직접 건설과정에 활용할 수 있다는 점에서 높게 나타난 것으로 파악된다.

### III-2. 학교건축 세부공정별 4차 산업기술의 건설 5대 목표 영향도 조사 및 분석

학교건축은 한정된 예산 내의 원가관리, 교육일정을 보장할 수 있는 공정관리, 다양한 프로그램을 수용할 수 있는 품질관리, 학생들을 보호하는 안전관리 및 교사, 학생, 지역주민을 위한 환경관리가 보장되어야 한다. 이를 위해 건설현장에서 활용도가 높은 4차 산업기술 중 상위 4개 항목을 대상으로 <Table 4>와 같은 학교건축 세부공정별로 원가, 공정, 품질, 안전 및 환경관리에 대하여 얼마나 영향을 미치는가에 대한 정도를 나타내는 영향도를 다음과 같이 조사, 분석하였다.

Table 4. Construction process for school building

세부공정	주요공사내용
공동가설공사	가설울타리, 가설사무실
가설공사	세륜시설, 타워크레인, 시스템 비계 등
토공사	터파기, 되메우기, 잔토처리 등
철근콘크리트 공사	버림 콘크리트, 기초, 기준층, 지붕층, 옥탑 및 옥상 콘크리트 타설
철골공사	체육관 및 강당 지붕 철골작업
조적블록공사	기준층 벽돌 및 블록 작업
석공사	석재바닥 작업 및 테라조 타일 작업
타일공사	바닥, 벽타일 붙이기
목공사	목공사 작업
방수공사	화장실 및 옥상방수
흡통금속공사	루버, 흡통, 난간, 계단 핸드레일 설치
미장공사	1층~옥탑층 미장 및 바닥몰탈 작업
창호공사	문 및 창문 프레임, 커튼월 등 설치, 문 짝 및 강화도어 설치
유리공사	유리 끼우기 및 유리코킹 작업
도장공사	내·외부 도장 작업
수장공사	바닥타일 및 화장실 칸막이, 천정재 등
인테리어공사	인테리어 공사 작업
지붕공사	체육관 지붕패널 공사작업
패널공사	외벽 패널공사 작업
기타공사	기타 마감공사 작업
토목공사	외부부지정리 및 오.우수배관, 포장공사
조경공사	조경, 식재, 시설물 설치
설비공사	가설수도, 슬리브설치, 설비배관 보온, 위생기구 및 장비설치, 가스배관 등

#### 1) 학교건축 세부공정별 4차 산업기술의 건설 5대 목표 영향도 조사개요

건설현장의 4차 산업기술 활용도가 높은 상위 4개 항목인 3D프린팅, 드론, 로봇자동화 및 증강현실기술을 대상으로 원가, 공정, 품질, 안전 및 환경관리의 5대

목표가 학교건축 세부공정별로 얼마나 영향을 미치는지 조사 하였다. 조사 개요는 다음 <Table 5>와 같다.

Table 5. Overview of the survey for 4th industrial technology Effectiveness

조사 기간	2020년 7-8월중	
인원수 및 분야	총43명(건축시공 및 건설사업관리)	
조사대상 실무경력	20년 이상	9명
	10년 이상-20년 미만	15명
	5년 이상-10년 미만	11명
	5년 이하	8명
학교건축 실무경력 건수	3개 이상	2명
	2개	8명
	1개	33명
조사방법	학교건축 세부공정별로 대상 4차 산업기술이 건설 5대 목표에 영향을 미치는 정도를 5점 척도(매우 높음 5점, 높은 4점, 보통 3점, 낮은 2점 및 매우 낮음 1점)로 평가	

#### 2) 학교건축 세부공정별 4차 산업기술의 건설 5대 목표 영향도 조사결과 및 분석

##### (1) 3D프린팅 기술의 영향도 조사 및 분석

3D프린팅 기술은 건설현장의 4차 산업기술 활용도에서 가장 높게 평가된 항목으로 설계도와 재료만 있으면 발주자의 요구에 맞게 용이하게 생산 및 시공이 가능하다. 특히 소품종 대량 생산에서 다품종 소량 생산이라는 3D프린팅의 기술적 특성은 각 교과 실별로 다양한 교육적 기능을 만족시켜야 할 학교건축에 있어 필수적이라 할 수 있다. 학교건축의 세부공정별 3D프린팅 기술의 영향도를 조사한 결과 <Figure 3> 및 <Table 6>과 같으며, 주요 세부 공정별 영향도를 분석하면 다음과 같다.

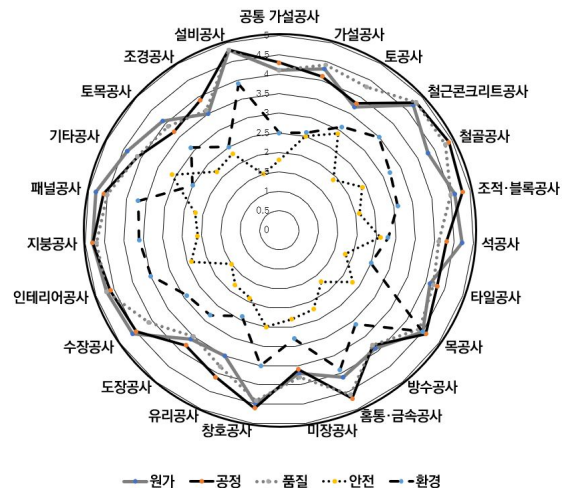


Figure 3. Effect of 3D printing technology for construction process in school building

Table 6. Effect value of 3D printing technology for construction process in school building

세부공정	원가	공정	품질	안전	환경
공통 가설공사	4.1	4.3	4.1	1.8	2.5
가설공사	4.3	4.1	4.4	2.5	2.6
토공사	3.7	3.8	4.3	2.9	3.1
철근콘크리트공사	4.7	4.8	4.8	1.9	3.5
철골공사	4.3	4.9	4.8	2.4	3.2
조적·블록공사	4.6	4.8	4.5	2.1	3.1
석공사	4.7	4.3	4.1	2.6	2.8
타일공사	4.1	4.3	4.2	1.8	2.5
목공사	4.5	4.6	4.4	2.3	4.5
방수공사	3.9	3.8	3.8	1.7	3.1
흡통·금속공사	4.1	4.7	4.6	2.2	3.9
미장공사	3.7	3.6	3.8	2.3	2.8
창호공사	4.5	4.6	4.4	2.5	3.5
유리공사	3.5	4.1	3.8	1.9	2.4
도장공사	3.6	3.8	3.5	1.8	2.8
수장공사	4.6	4.5	4.1	1.5	2.9
인테리어공사	4.7	4.6	4.7	2.4	3.5
지붕공사	4.8	4.8	4.7	2.1	3.6
패널공사	4.8	4.6	4.5	2.2	3.7
기타공사	4.4	4.1	4.1	3.1	2.5
토목공사	4.1	3.7	3.9	2.2	3.1
조경공사	3.5	3.9	3.6	2.3	2.5
설비공사	4.8	4.8	4.8	1.5	3.9

조경공사의 경우 3D프린팅으로 활용 할 수 있는 재료적 한계가 확실하여 전체적으로 영향도가 낮게 평가되었다. 또한 방수 및 도장공사의 경우 시공 작업 특성상 3D프린팅 기술을 활용할 수 있는 과정이 적고, 토공사 및 토목공사는 광범위 한 작업영역으로 인하여 제품생산 및 시공 중심인 3D프린팅 기술에 활용도가 상대적으로 낮게 평가되었다.

학교건축에 대한 3D프린팅 기술의 전체적인 영향지수를 보면 <Figure 4>와 같이 공정(4.33), 품질 및 원가(4.26)의 순으로 높게 조사되었고, 환경(3.13), 안전(2.17)은 상대적으로 낮게 평가되었다.

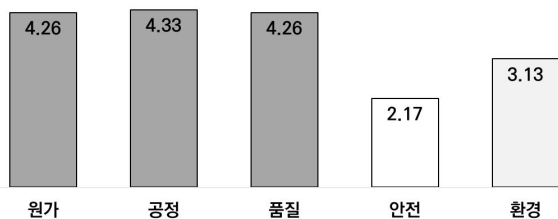


Figure 4. Effect of 3D printing technology for cost, process, quality, safety and environmental management

공정관리의 경우 현재 기술적 한계로 인하여 기존 건설방식에 비해 생산 속도는 큰 차이는 없으나, 3D프린팅 특성 상 시공 장소 및 시간에 어느 정도 제약이 적기 때문에 현장 별도 공간에서의 제품생산 및 조립 시공의 방식으로 효과적 관리가 가능하다. 원가관리의 경우 재료비의 차이는 기존방식과 크지 않으나 인력감축이 가능하기 때문에 공사비 절감을 기대할 수 있다. 품질관리는 정밀도 높은 양질의 제품생산이 가능한 3D프린팅 기술이 점차 발달하고 있기 때문에 높은 영향도를 기대할 수 있다, 하지만 사용 재료에 따른 품질에 대한 차이가 있기 때문에 활용 재료에 대한 적극적인 개발이 필요하다.

(2) 드론 기술의 영향도 조사 및 분석

드론기술은 장비의 특성을 이용하여 건설현장의 촬영과 3차원 모델링 구축, 접근 위험 및 불가 지역의 접근 촬영, 작업자의 작업행동 파악 및 기타 실시간 관리 등 건설현장에서 폭 넓게 활용되어 왔다. 학교건축의 세부공정별 드론기술의 영향도를 조사한 결과 <Table 7> 및 <Figure 5>와 같으며, 주요 세부 공정별 영향도를 분석하면 다음과 같다.

Table 7. Effect value of drone technology for construction process in school building

세부공정	원가	공정	품질	안전	환경
공통 가설공사	2.1	2.5	2.1	4.5	4.6
가설공사	2.4	2.2	2.8	4.3	4.3
토공사	2.3	3.1	2.6	4.7	4.1
철근콘크리트공사	2.7	2.4	2.6	4.1	4.5
철골공사	3.1	2.1	2.9	4.3	4.3
조적·블록공사	2.5	1.5	2.1	4.5	4.2
석공사	1.9	1.6	2.2	4.6	3.8
타일공사	1.9	2.1	1.5	4.2	3.7
목공사	2.1	1.8	1.8	4.5	4.1
방수공사	1.8	1.7	1.6	3.8	4.2
흡통·금속공사	2.7	2.2	3.4	4.5	3.8
미장공사	2.6	1.5	2.6	3.7	4.2
창호공사	3.2	2.1	3.7	4.2	3.8
유리공사	2.4	2.7	2.1	3.9	4.3
도장공사	2.2	1.9	1.8	4.1	4.2
수장공사	1.5	2.2	1.8	3.8	3.4
인테리어공사	1.2	2.1	2.1	4.5	2.1
지붕공사	2.1	2.6	2.9	4.9	4.5
패널공사	2.8	2.5	2.6	4.6	4.1
기타공사	2.6	2.6	2.7	4.1	4.6
토목공사	2.2	3.1	3.2	4.6	4.7
조경공사	2.3	2.9	3.3	4.2	4.5
설비공사	2.5	2.4	3.5	3.7	4.1

수장공사의 경우 바닥타일, 화장실칸막이 및 천정재와 같이 드론이 접근하기 어려운 실내의 좁은 공간에서 상당수 이루어지기 때문에 영향도가 낮게 평가되었다. 같은 맥락으로 타일공사, 흙통·금속공사, 창호공사, 유리공사, 인테리어공사 및 설비공사 등이 상대적으로 낮은 영향도를 보였다. 또한 방수공사의 경우 평면적 관리가 필요한 작업특성상 드론기술을 적극적으로 활용하는데 한계점을 보인 결과로 파악된다.

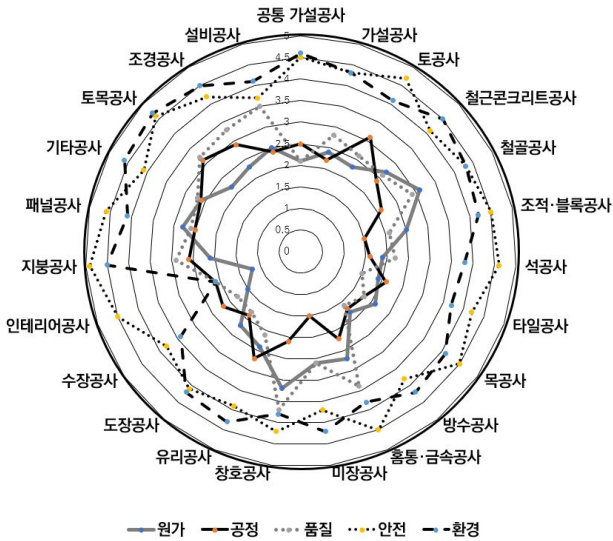


Figure 5. Effect of drone technology for construction process in school building

학교건축에 대한 드론기술의 전체적인 영향지수를 보면 <Figure 6>과 같이 안전(4.27), 환경(4.09)이 높게 조사되었고, 품질(2.51), 원가(2.31) 및 공정(2.25)은 상대적으로 낮게 평가되었다.

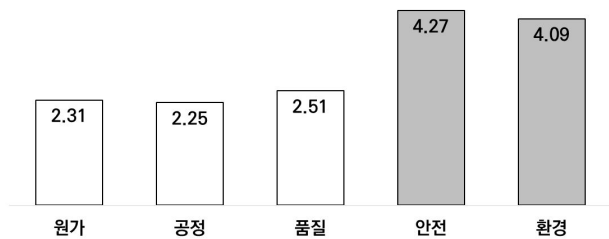


Figure 6. Effect of drone technology for cost, process, quality, safety and environmental management

가장 높게 평가된 안전관리의 경우 드론기술은 작업자의 안전장비 착용여부 파악, 작업공정간 간섭여부에 따른 안전 작업 확보 등으로 활용되고 있다.<sup>9)</sup> 환경 관리는 드론을 이용하여 현장에서 발생할 수 있는 건

설펀기물, 분진 및 기타 오염 발생원에 직접 접근하여 실시간으로 감시할 수 있기 때문에 유효하게 활용가능한 것으로 파악되었다.

### (3) 로봇자동화 기술의 영향도 조사 및 분석

로봇자동화 기술은 세계 로봇 시장의 지속적인 확대가 예상되고, 포스트 코로나 시대에는 그 수요가 급격하게 증가할 것으로 예상되는 분야<sup>10)</sup>로 타 산업에 비해 인력의존도가 높은 건설산업은 그 영향도가 클 것으로 본다. 이에 로봇자동화 시스템의 구축을 보다 확대하기 위해서는 건설, 기계, 전기, 전자, 로봇틱스 등의 다양한 관련 전문가의 협업이 필요하다.<sup>11)</sup> 학교건축의 세부공정별 로봇자동화의 영향도를 조사한 결과 <Figure 7> 및 <Table 8>과 같으며, 주요 세부 공정별 영향도를 분석하면 다음과 같다.

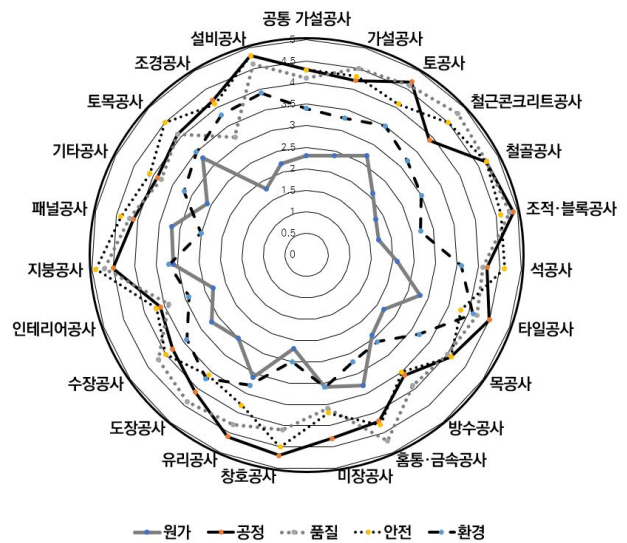


Figure 7. Effect of robot automation technology for construction process in school building

방수공사의 경우 미비한 결함에도 커다란 피해와 어려운 보수공사 때문에 건설현장에서 인력에 의존하여 직접 확인하며 시공하는 경향이 크다. 따라서 방수공사에서 로봇자동화 기술의 영향도는 타 세부공정에 비해 낮은 것으로 조사되었다. 인테리어공사의 경우도

9) 김지은(2020). 건축공사에 효율적인 드론기술 활용을 위한 IPA 분석 연구. 고려대학교 공학대학원 석사학위논문, 9-11.  
 10) IFR presents World Robotics(2020)의 연차 보고서에 의하면 글로벌 산업용 로봇시장은 2019년 약 170억 달러로 지속적인 혁신적인 기술 개선이 가속화되고 있다.  
 11) 이준복(2009). 로봇기술의 발전과 건설자동화기술의 미래. 한국건설관리학회 논문집, 10(5), 7.

특성상 설계자의 디자인 의도를 인지하고 시공해야 함으로 인력에 의존하는 경우가 높기 때문에 로봇자동화 기술의 영향도는 낮게 파악되었다. 이외 학교건축 세부 공정에서는 전반적으로 영향도가 높게 조사되었다.

Table 8. Effect value of robot automation technology for construction process in school building

세부공정	원가	공정	품질	안전	환경
공통 가설공사	2.3	4.3	4.1	4.3	3.4
가설공사	2.4	4.2	4.5	4.3	3.3
토공사	2.7	4.7	4.6	4.1	3.5
철근콘크리트공사	2.1	3.9	4.8	4.5	3.2
철골공사	1.8	4.7	4.7	4.7	3
조적·블록공사	1.7	4.9	4.8	4.6	2.7
석공사	2.1	4.2	4.1	4.6	3.6
타일공사	2.8	4.5	4.2	3.8	4.1
목공사	2.2	4.1	4	4.1	3.2
방수공사	2.4	3.6	3.9	3.5	2.6
흡통·금속공사	3.3	4.2	4.7	4.3	2.7
미장공사	3.1	4.3	3.6	3.7	3.1
창호공사	2.2	4.7	4.1	4.5	2.5
유리공사	3.1	4.6	4.3	3.8	3.3
도장공사	2.5	4.1	4.4	3.6	3.7
수장공사	2.7	3.8	4.2	4	3.4
인테리어공사	2.3	3.6	3.4	3.7	2.9
지붕공사	3.1	4.5	4.7	4.9	3.2
패널공사	3.2	4.1	4.2	4.4	2.5
기타공사	2.6	3.9	3.8	4.1	3.2
토목공사	3.3	4.1	4.1	4.5	3.5
조경공사	1.8	4.2	3.2	4.1	3.8
설비공사	2.2	4.8	4.6	4.8	3.9

학교건축에 대한 로봇자동화기술의 전체적인 영향지수를 보면 <Figure 8>과 같이 공정(4.26), 품질(4.22) 및 안전(4.21)이 높게 조사 되었고, 환경(3.23), 원가(2.52)는 상대적으로 낮게 평가되었다.

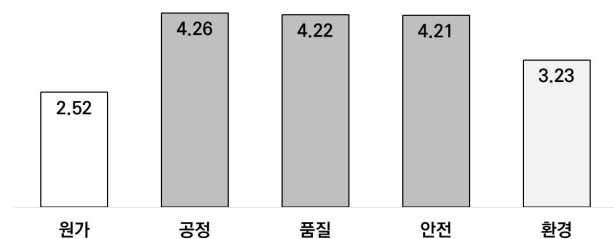


Figure 8. Effect of robot automation technology for cost, process, quality, safety and environmental management

공정관리의 경우 로봇자동화 기술의 특성상 시공 작업의 신속성 및 연속성에 의해 인력에 비해 공기단축

이 가능하다. 품질관리의 경우 로봇자동화 기술이 과거 인력시공의 단순한 도구역할에서 인공지능 및 빅데이터 학습에 의한 의사결정이 가능함에 따라 주체적 역할로 바뀌고 있다. 이에 건설품질에 대한 신뢰도가 점점 높아지고 있는 추세이다. 안전관리의 경우 로봇자동화에 따른 인력감축으로 인해 안전사고의 감소도 함께 기대할 수 있는 결과라 볼 수 있다. 반면 로봇장비의 고가, 부품 폐기물 발생 및 작업 상 발생 소음 등으로 인한 원가 및 환경관리에는 영향도가 낮게 평가되었다.

(4) 증강현실 기술의 영향도 조사 및 분석

증강현실기술은 건설현장의 시공 작업 확인 및 결과물 검측을 위해 주로 활용되고 있으며 이를 위해 실시간 위치추적, 센서 인식 및 스마트기기를 통한 정보의 가시화 기술 등이 요구되고 있다.<sup>12)</sup> 학교건축의 세부 공정별 증강현실 기술의 영향도를 조사한 결과 <Figure 9> 및 <Table 9>와 같으며, 주요 세부 공정별 영향도를 분석하면 다음과 같다.

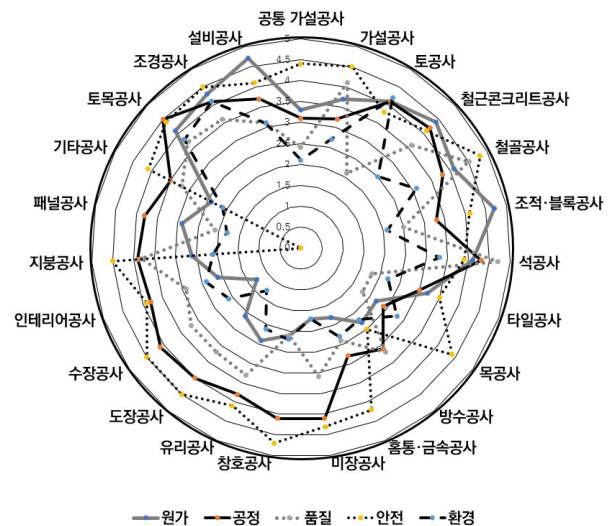


Figure 9. Effect of augmented reality technology for construction process in school building

12) 권순욱(2018). 건설산업 혁신을 위한 증강현실 가상현실 기술의 활용 및 전망. 한국BIM학회, 28-29.

Table 9. Effect value of augmented reality technology for construction process in school building

세부공정	원가	공정	품질	안전	환경
공통 가설공사	4.1	3.4	2.1	4.3	2.1
가설공사	4.2	3.2	2.2	4.8	2.2
토공사	4.6	3.1	1.9	4.4	1.8
철근콘크리트공사	4.6	3.6	2.4	4.7	2.3
철골공사	4.8	3.6	2.7	4.5	2.5
조적·블록공사	4.9	3.9	2.9	4.4	2.2
석공사	4.1	3.1	3.1	3.9	2.6
타일공사	3.8	2.5	1.9	3.5	2.5
목공사	3.7	2.8	2.4	4.1	3
방수공사	3.3	2.6	1.8	3.8	2.5
흡통·금속공사	4.1	2.6	2.1	3.6	3.8
미장공사	3.5	1.9	1.9	3.1	2.6
창호공사	4.1	2.3	2	3.6	4.2
유리공사	3.8	1.9	1.8	4.2	3.5
도장공사	3.5	2	1.9	3.9	3.2
수장공사	3.2	2.1	2.1	3.8	3.4
인테리어공사	4.7	3.8	3.5	4.2	4.4
지붕공사	4.1	2.2	2.2	4.8	4.1
패널공사	3.7	3.1	2.1	4.5	3.4
기타공사	3.2	2.1	2.7	4.1	3.8
토목공사	4.1	3.2	2.2	3.8	3.6
조경공사	4.6	3.5	2.7	3.3	3.2
설비공사	4.5	3.9	3.5	4.2	3.6

타일공사, 방수공사, 미장공사, 도장공사 및 수장공사는 시공완성도를 판단하는 방법이 작업자의 공사경험에 의한 시각적 경험에 크게 의존한다는 특성을 가지고 있다. 따라서 스마트 기기를 통해 정보를 습득하고 3차원의 시각화 기술을 구현하는 증강현실기술은 위와 같은 세부공정에는 영향도가 낮은 것으로 판단된다. 또한 건축재료의 직접적인 물적 특성을 이해하고 판단하여 작업자가 직접 손으로 작업하는 석공사, 목공사의 경우에도 가상의 가시화 기술이 중요시 되는 증강현실 기술의 영향도는 상대적으로 낮다.

타일공사, 방수공사, 미장공사, 도장공사 및 수장공사는 시공완성도를 판단하는 방법이 작업자의 공사경험에 의한 시각적 경험에 크게 의존한다는 특성을 가지고 있다. 특히 이에 스마트 기기를 통해 정보를 습득하고 3차원의 시각화 기술을 구현하는 증강현실기술은 위와 같은 세부공정에는 영향도가 낮을 것으로 판단된다. 또한 건축재료의 직접적인 물적 특성을 이해하고 판단하여 작업자가 직접 손으로 작업하는 석공사, 목공사의 경우에도 가상의 가시화 기술이 중요시 되는 증강현실 기술의 영향도는 상대적으로 낮다.

학교건축에 대한 증강현실기술의 전체적인 영향지수

를 보면 <Figure 10>과 같이 안전(4.06), 원가(4.05)가 높게 조사되었고, 환경(3.06), 공정(2.89) 및 품질(2.35)은 상대적으로 낮게 평가되었다

안전관리를 위한 증강현실 기술의 활용은 시공 작업에 대한 결과물, 작업자의 동선 및 작업행위를 미리 예측함으로써 발생할 수 있는 사고를 미리 예방할 수 있다. 원가관리의 경우 증강현실을 통해 볼 수 있는 공사과정의 시뮬레이션은 건축재료의 손실, 인력 및 시공기계의 효율적 활용 등을 미리 판단할 수 있으므로 효과적으로 활용할 수 있다. 반면 공정관리는 증강현실 기술을 통해 예측한 결과가 시공계획과 큰 차이가 없을 경우 오히려 공정의 소요일수 증가요인이 됨으로 영향도가 낮게 평가되었다. 또한 품질관리의 경우 증강현실은 공사계획과 동일한 시공법 및 재료에 대한 가상의 확인 작업으로 품질개선에는 효과가 미비하여 영향도가 낮게 평가되었다.

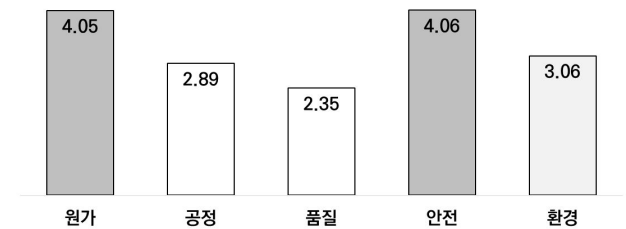


Figure 10. Effect of augmented reality technology for cost, process, quality, safety and environmental management

### 3) 학교건축 세부공정별 주요 4차 산업기술의 건설 5대 목표 영향도 비교분석

학교건축을 위한 세부공정별 주요 4차 산업기술로 선정된 3D프린팅, 드론, 로봇자동화 및 증강현실기술의 건설 5대 목표인 원가, 공정, 품질, 안전 및 환경관리에 대한 영향도를 종합적으로 정리하면 <Figure 11>과 같다.

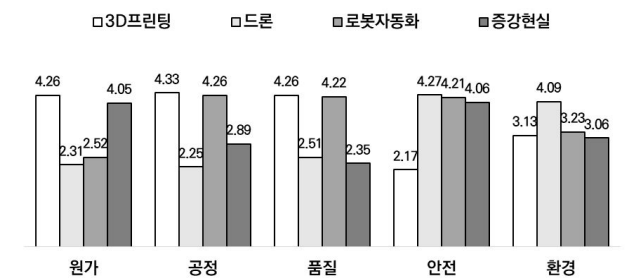


Figure 11. Comparison of 4th industrial technology for cost, process, quality, safety and environmental management



원가관리의 경우 시공의 성력화(省力化)를 통한 인력 감축이 가능한 3D프린팅 기술, 시공 시뮬레이션을 통한 재료 손실, 인력 및 시공기계의 효율적 활용 등을 예측할 수 있는 증강현실 기술이 효과가 있는 것으로 조사 분석되었다.

공정관리의 경우 장소, 시간적 제약이 적어, 별도 공간에서의 제품생산 및 조립시공이 가능한 3D프린팅 기술, 시공 작업의 신속성 및 연속성에 의한 로봇자동화 기술이 효과가 있는 것으로 조사 분석되었다.

품질관리의 경우 정밀도 높은 양질의 제품생산이 가능한 3D프린팅, 인공지능 및 빅 데이터 학습에 의한 건설품질의 향상이 기대되는 로봇자동화 기술이 효과가 있는 것으로 조사 분석되었다.

안전관리의 경우 작업자의 안전장비 착용여부 파악, 작업공정간 간섭여부에 따른 안전 작업 확보 등으로 활용되는 드론, 인력감축으로 안전사고 감소를 유도하는 로봇자동화, 시공 결과물, 작업자 동선 및 작업행동 예측을 통해 안전사고를 미리 예방할 수 있는 증강현실 기술이 효과가 있는 것으로 조사 분석되었다.

환경관리의 경우 건설폐기물, 분진 및 기타 오염 발생원을 실시간으로 감시하는 드론기술이 효과가 있는 것으로 조사 분석되었다.

학교건축의 건설 5대 목표에 대한 주요 4차 산업기술의 적용효과는 <Table 10>과 같다.

Table 10. The effectiveness of 4th industrial technology for cost, process, quality, safety and environmental management

관리 대상	주요 적용기술	적용효과
원가 관리	3D프린팅	·성력화를 통한 인건비 절감
	증강현실	·시공 시뮬레이션을 통한 재료 손실 방지 ·인력 및 시공기계의 효율적 활용
공정 관리	3D프린팅	·제품생산, 조립시공의 시간 및 공의 비제약성
	로봇자동화	·시공 작업의 신속성 및 연속성
품질 관리	3D프린팅	·정밀도 높은 양질의 제품생산
	로봇자동화	·인공지능 및 빅 데이터 학습에 의한 건설품질 향상
안전 관리	드론	·작업자 안전장비 착용여부 파악 ·작업공정 간섭파악에 따른 안전 작업 확보
	로봇자동화	·인력감축에 의한 안전사고 감소
환경 관리	드론	·건설폐기물, 분진 및 기타 오염 발생원 실시간 감시

#### IV. 결론

학생들의 기본적인 학습권과 안전한 학교생활을 보장하기 위해 학교건축을 위한 건설관리는 매우 중요하다고 할 수 있다. 이에 본 연구는 건설관리의 5대 목표인 원가, 공정, 품질, 안전 및 환경관리가 보장될 수 있는 학교건축을 위한 방안으로 4차 산업기술의 적용을 통해 효과적인 건설 방안을 제시하고자 하였고, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 건설현장에서 활용이 가능한 주요 4차 산업기술에 대하여 조사한 결과 3D프린팅, 드론, 로봇자동화, 증강현실, BIM, IoT센서 및 빅 데이터의 순으로 일반적으로 하드웨어 기술이 소프트웨어 기술에 비해 높게 평가되었다.

둘째, 3D프린팅 기술의 학교건축에 대한 영향도는 공정, 품질, 원가, 환경 및 안전관리의 순으로 파악되었다. 3D프린팅 기술은 별도 공간에서의 제품생산 및 조립시공의 방식으로 인한 공정관리를 유도하고, 인력 감축을 통한 원가관리 확보와 정밀도 높은 양질의 제품생산 기술에 의한 품질관리를 기대할 수 있다.

셋째, 드론 기술의 학교건축에 대한 영향도는 안전, 환경, 품질, 원가 및 공정관리의 순으로 파악되었다. 드론 기술은 작업자 안전장비 착용, 작업공정간 간섭 파악에 따른 안전관리를 수립하고, 건설폐기물, 분진 및 기타 오염 발생원의 접근과 감시를 통한 환경관리를 기대할 수 있다.

넷째, 로봇자동화 기술의 학교건축에 대한 영향도는 공정, 품질, 안전, 환경, 원가관리의 순으로 파악되었다. 로봇자동화 기술은 시공 작업의 신속성 및 연속성에 따른 공정관리를 확보하고, 인공지능 및 빅 데이터 학습에 의한 신뢰성 증가로 품질관리를 기대할 수 있다.

다섯째, 증강현실 기술의 학교건축에 대한 영향도는 안전, 원가, 환경, 공정 및 품질관리의 순으로 파악되었다. 증강현실 기술은 시공 작업에 대한 결과물, 작업자의 동선 및 작업행위를 미리 예측함으로써 발생할 수 있는 사고를 미리 예방하여 안전관리를 확립하고, 공사과정 시뮬레이션을 통한 건축재료의 손실방지, 인력 및 시공기계의 효율적 활용으로 원가관리를 기대할 수 있다.

## 국문초록

본 연구는 학교건축에 대한 원가, 공정, 품질, 안전 및 환경관리 목표를 수립하기 위해서 4차 산업기술 중 건설현장에서 활용도가 높은 3D프린팅, 드론, 로봇자동화, 증강현실 기술에 대한 영향도를 조사·분석하여 효율적인 학교건축을 유도하는데 기여하는 기초자료를 제공하고자 하였다. 이를 위해 관련 문헌 및 연구자료를 조사하였고, 건설 실무자를 대상으로 건설현장의 4차 산업기술 활용도와 학교건축 세부공정별 4차 산업기술의 건설관리 5대 목표 영향도에 대하여 설문 조사를 실시하여 원가, 공정, 품질, 안전 및 환경관리에 대한 4차 산업기술 활용 방안을 분석하였다. 분석결과 원가, 공정, 품질, 안전 및 환경관리를 위한 학교건축의 4차 산업기술의 적용방안에 대한 유의미한 결과가 나타났다.

## 참고문헌

1. 강재모 외(2018). 스마트건설 활성화를 위한 정책(로드맵)과 기술개발 추진전략 연구. 대한토목학회 정기학술대회.
2. 권순욱(2018). 건설산업 혁신을 위한 증강현실 가상현실 기술의 활용 및 전망. 한국BIM학회.
3. 기술안전정책관(2017). 제6차 건설기술진흥기본계획 수립(2018~2022). 국토교통부.
4. 김담룡(2020). 드론을 활용한 도로 포장 평탄성 조사에 관한 연구. 서울과학기술대학교 석사학위논문.
5. 김기훈(2019). 현장 안전교육효과 증대를 위한 VR 교육방법 도입에 관한 고찰. 경희대학교 테크노경영대학원 석사학위논문.
6. 김지은(2020). 건축공사에 효율적인 드론기술 활용을 위한 IPA 분석 연구. 고려대학교.
7. 류성렬(2019). 건설공사의 IoT 기술을 활용한 스마트 안전관리시스템 최적화에 대한 연구. 경기대학교 석사학위논문.
8. 류종혁(2008). 국내교육시설건설공사 현장에서의 품질하자 현황분석. 한국교육시설학회.
9. 문정인(2011). 초등학교의 시설계획에 관한 조사연구. 건설환경연구소.
10. 서진희(2020). 건설 시공업체에서 스마트 기술 도입 우선순위 도출에 관한 연구. 충북대학교 박사학위논문.
11. 이광표(2019). 국내건설기업의 스마트기술 활용 현황과 활성화 방향. 한국건설산업연구원

12. 이준복(2009). 로봇기술의 발전과 건설자동화기술의 미래. 한국건설관리학회 논문집.
13. 진경호(2018). 건설생산성 혁신 및 안전성 강화를 위한 스마트 건설기술. 쌍용건설기술.
14. 최민식(2018). 드론 사진측량 방법에 의한 도서(島嶼)지역 수치지형도 제작의 효용성 연구. 인하대학교 석사학위논문.
15. 최호길(2019). 4차 산업혁명 시대의 건설현장 VR체험안전교육에 대한 연구. 경기대학교 석사학위논문.
16. IFR presents World Robotics(2020). 연차보고서.

논문투고일 2020.11.22, 심사완료일 2020.12.10, 게재확정일 2020.12.17.