

건축물 3D 프린팅 공종분류체계 도출 및 표준품셈 연계방안 제시

주기범, 서명배*, 박형진
한국건설기술연구원 미래융합연구본부

A Development of Work Breakdown Structure and Link to Standard Estimation System for 3D Printing Building

Ki-Beom Ju, Myoung-Bae Seo*, Hyung-Jin Park

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology Department of Future Technology and Convergence Research

요약 3D 프린팅 기술은 기존 산업계의 생산 패러다임을 변화할 수 있는 4차 산업혁명의 주요기술로 큰 관심을 받고 있다. 건설분야의 특성으로 인해 3D 프린팅의 기술 도입이 타 산업분야에 비해 느리지만, 향후 생산인구의 감소와 생산성 및 안전도 향상 등을 위해 3D 프린팅을 활용한 건설 자동화가 필요하다. 본 연구에서는 3D 프린팅을 건설에 도입하기 위한 사전준비로서 건설 3D 프린팅 공종분류체계와 기존 표준품셈체계와의 연계방안을 제시 한다. 이를 위해 건설 및 3D 프린팅 관련 전문가 자문을 바탕으로 기존 건설 3D 프린팅 기술을 바탕으로 가상의 시나리오를 작성하였다. 시나리오에 따라 3D 프린팅 공사 수행에 필요한 16개의 공종을 도출하였다. 기존 공종분류체계와 표준품셈을 분석하고 도출된 3D 프린팅 공종을 연계하였다. 기존 분류체계와 동일한 3D 프린팅 공종도 있었으며 기존에 존재하지 않는 공종은 유사한 분류체계 하위에 추가하는 등 4가지 타입으로 구분하였다. 본 연구의 결과는 향후 3D 프린팅 공사관리 및 원가산정에 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다. 향후 3D 프린팅 공사 수행을 통해 실질적인 품셈 산출이 필요하다.

Abstract 3D printing technology is attracting increasing attention as a key technology of the fourth industrial revolution that can change the production paradigm of existing industries. The introduction of construction 3D printing technology has been slower than other industries because of the characteristics of the construction field. On the other hand construction automation using 3D printing is required to reduce the production population, as well as improve productivity and safety. In this study, a construction 3D printing work breakdown structure and link method to a standard estimation system were developed as a preliminary preparation for introducing 3D printing to construction. Based on expert consultation on construction and 3D printing, a hypothetical scenario was developed based on existing construction 3D printing technology. According to the scenario, 16 kinds of works required for 3D printing construction work were derived. The existing work breakdown structure and standard estimation system were analyzed, and the 3D printing work was linked. 3D printing works that were the same as the existing breakdown structure were found, and non-existent works were added to the similar breakdown structure. These results are expected to be helpful for future 3D printing construction management and cost estimation. The actual standard estimation system through 3D printing work will need to be calculated.

Keywords : 3D printing, Construction, Work breakdown structure, Standard Estimation System, Building

본 연구는 국토교통부 도시건축연구사업의 연구비지원(18AUDP-B121595-03)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Myoung-Bae Seo(KICT)

Tel: +82-31-910-0051 email: smb@kict.re.kr

Received October 19, 2018

Revised (1st November 12, 2nd November 19, 2018, 3rd November 22, 2018)

Accepted December 7, 2018

Published December 31, 2018

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

3D 프린팅 기술은 주요 관련 특허가 만료되면서 기존 산업계에서 큰 관심을 받고 있다. 4차 산업혁명의 주요 기술 중 하나로 인식되면서 적층식 제조(Additive Manufacturing) 방식으로 생산 패러다임의 변화를 가져오고 있다. 3D 프린팅 기술은 유럽, 미국 등 선진국을 중심으로 이미 원천기술이 오픈되어 실용화 단계로 진입하였으며, 특히 제조업, 바이오산업 등에서 다양하게 사용되고 있다.

3D 프린팅은 다품종 소량생산을 가능하게 하여, 기술/장비 공급자 중심에서 수요자 중심의 시장을 이끌고 있다. 또한 제작비용 및 시간의 절감, 맞춤형 제작, 복잡한 형상 제작 및 재료비 절감, 완제품 제조 공정 간소화 및 이에 따른 조립비용 절감 등의 장점이 있다.

건설분야는 타산업분야에 비해 생산품의 크기가 매우 크고, 물이 포함되어 있는 콘크리트를 정밀하게 제어하기가 어려워 3D 프린팅 기술 적용이 어렵다. 그러나 생산인구의 감소와 생산성 향상, 안전도 제고 등을 위해 건설분야의 자동화가 필요하며, 3D 프린팅은 기존의 습식 골조공사를 자동화할 수 있는 유력한 대안이라고 볼 수 있다.

특히 건축에서는 설계단계에서 3차원 설계도면인 BIM(Building Information Modeling)의 활용이 늘어가는 추세이기 때문에, 이러한 3차원 도면을 활용한 3D 프린팅의 연계가 가능하게 되면 설계·시공의 자동화를 완성할 수 있다. 최근 미국, 중국, 네덜란드, 러시아 등 다양한 국가에서 3D 프린터를 활용하여 건축물을 구축하는 사례가 증가하고 있다. 사람이 실제 거주하는 상용화 단계에 이르기까지 많은 문제점들이 있지만, 생산성 혁신을 이룰 수 있는 건축물 3D 프린팅에 관심이 증대되고 있다.

이러한 3D 프린팅기반의 건축물 시공은 새로 개발된 재료와 공법을 적용해야 하므로 기존 공사관리기법에 적용하기는 어렵다. 또한 기존의 공중분류, 표준품셈에 3D 프린팅 시공과 관련된 내용이 없어 예상되는 공사기간 및 공사금액을 산정하기 어려우며, 체계적인 공사관리가 불가능하다. 따라서 새로 개발되는 특수한 공법인 3D 프린팅 시공을 위한 공정분류, 적합한 비용의 산정이 필요하다.

이러한 관점에서 본 연구는 기존 공중분류체계, 원가 산정을 위한 표준품셈체계 등을 바탕으로 3D 프린팅 시공 시 필요한 공정분류체계, 표준품셈을 제안한다. 구축한 건축 3D 프린팅 공중분류체계 및 표준품셈은 3D 프린팅을 활용한 시공법의 가이드 및 참고자료로써 활용이 가능할 것이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

3D 프린팅은 노즐(nozzle)을 움직이는 장비의 형태에 따라 크게 겐트리(gantry) 방식, 델타(delta) 방식, 크레인(crane) 방식, 다관절로봇방식으로 구분할 수 있다[1]. 3D 프린팅 방식에 따라 시공법이 상이할 수 있으나 본 연구에서는 다양한 3D 프린팅 방식을 최대한 수용할 수 있도록 표준적인 공중분류 및 표준품셈체계를 구축한다.

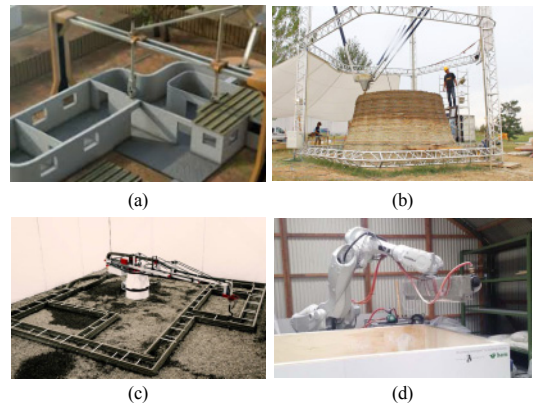


Fig. 1. Types of 3D printing [1]

(a) Gantry Type (b) Delta Type (c) Crane Type
(d) Multi-joint Robot Type

현재 개발되고 있는 건설 3D 프린팅의 재료는 잔골재로 구성된 무근콘크리트이다. 금속 3D 프린터 기술이 존재하지만 대부분 제조업의 소형 부품을 제작하는데 사용된다. 본 연구에서는 무근콘크리트로 구축하는 골조공사를 대상으로 한다. 골조공사 이외에 미장, 마감, 설비공사 등은 현재 개발되고 있는 3D 프린팅 기술이 없기 때문에 기존 공법과 동일하다고 본다.

연구의 방법은 다음과 같다. 첫째로 기존 건설관련 공중분류체계 및 표준품셈체계를 분석한다. 두 번째로 3D 프린팅 공사 시나리오를 작성하고 이를 바탕으로 3D 프린팅 시공에 필요한 공종을 도출한다. 세 번째로 기존 공중분류체계와 도출한 3D 프린팅 공종을 연계하고 건축

3D 프린팅 공중분류체계를 구축한다. 마지막으로 구축된 공중분류체계와 기존 표준품셈을 연계한다.

2. 예비적고찰

2.1 기존 공중분류체계

한국건설기술연구원에서는 건설정보관리의 기반조성과 공동 활용을 위해 2007년 건설정보분류체계를 구축하였다[2]. 건설정보분류체계는 시설물, 공간, 부위, 공종, 자재, 장비, 인력 등 7개 분야로 구성되어 있다. 공중분류체계는 진도율 및 기성 산정, 내역체계 구성, 공정관리 등 원활한 공사관리를 위한 필수요소이며 작업분류체계(Work Breakdown Structure, WBS)라고도 한다. 건설정보분류체계의 공중분류체계는 공사일반사항 및 공사비, 가설공사, 토공사, 철근콘크리트공사, 미장공사 등의 대분류로 구성되어 있다. 항목별로 식별을 위한 코드가 부여되어 있으며, 공종을 의미하는 ‘W’이후로 대분류, 중분류, 소분류, 세분류, 세세분류 등 7자리로 구성된다. 예를 들어, 대분류-‘41. 조적 공사’, 중분류-‘411.벽돌 조적공사’, 소분류-‘4111.시멘트벽돌’, 세분류-‘41111.시멘트벽돌 0.5B쌓기’, 세세분류-411111.시멘트벽돌 0.5B일반 쌓기’로 구성된다.

Table 1. Construction Information Breakdown Structure - work

Level	Code	Item
1	41	masonry work
2	411	brick masonry work
	413	block masonry work
3	4111	cement brick
	4112	clay brick

4	41111	cement brick 0.5B work
	41112	cement brick 0.5B hollow work

5	411111	cement brick 0.5B normal work
	411112	cement brick 0.5B one-side work
	411113	cement brick 0.5B two-side work

2.2 건설공사 표준품셈

표준품셈(Standard Estimation System, SES)[3]은 각 항목별로 단위수량 당 공사에 필요한 노무자의 직종과 인원 수, 재료의 규격과 소요 수량, 그리고 해당 작업에 필요한 건설기계의 규격 및 운행시간 등을 제공한다[4].

정부 등 공공기관에서 시행하는 건설공사의 적정한 예정 가격을 산정하기 위한 일반적인 기준을 제시하기 위해 만들어졌으며, 매해 제/개정하여 배포하고 있다[5].

표준품셈은 건설 공사 중 대표적이고 보편적이며 일반화된 공종, 공법을 대상으로 하며, 일일 작업시간 8시간을 기준으로 한다. 공종과 밀접하게 연관되어 있기 때문에 공종별로 분류되어 있으며, 예로써, 철근콘크리트 공사의 콘크리트타설의 표준품셈은 표2와 같다. 작업 유형, 인부 및 장비의 구분, 규격과 단위에 따른 수량이 표현되어 있다. 이를 통해 래디믹스드 콘크리트 공사의 규모가 100m³이며, 인력운반 타설을 하고 철근구조물일 경우 콘크리트공은 14명이 필요하고 보통인부는 16인이 필요하다는 것을 알 수 있다. 이는 일일 작업시간 8시간을 기준으로 한 필요 인력이므로 공사기간에 따라 필요 인력을 산정할 수 있다. 이러한 방식으로 세세분류의 공사항목에 대한 필요인력을 산정할 수 있고, 시중노임단가와 연계하여 노무비를 산정할 수 있다. 자재의 경우 표준시장단가와 연계하여 재료비를 산정할 수 있다.

Table 2. An example of SES

Type	Division	Size	Unit	Quantity (per m ³)		
				A	B	C
Man	Concrete worker	-	man	0.12	0.14	0.24
	General worker			0.15	0.16	0.30
Machine	Concrete worker	-	man	0.06	0.07	0.09
	General worker			0.02	0.02	0.02
	Excavator	(0.6-0.8m ³)	hr	0.09	0.10	0.31

A : None Reinforced Concrete Structure

B : Reinforced Concrete Structure

C : Small Sized Structure

3. 시나리오기반 3D 프린팅 공종 도출

3.1 3D 프린팅 공종 도출

3D 프린팅 시공 작업항목을 도출하기 위해 국외의 건설분야 3D 프린팅 기술을 중심으로 가상의 시나리오를 작성하였다. 시나리오에서는 3D 프린팅을 활용하여 3-4인 가족이 거주할 수 있는 주택을 시공하는 것을 목표로 한다. 현재 3D 프린팅 장비로는 서포트 없이 수평부재를 출력할 수 없기 때문에, 수직부재(벽, 기둥)를 출력하는 것을 대상으로 한다.

시나리오에서의 3D 프린팅 장비는 미국의 **Andrey Rudenko**[6], **Controur crafting**[7], 영국의 러버퍼러 대학[8], 러시아의 **Apis社**[9] 등에서 개발한 3D 프린팅 장비를 참고로 하여 가상의 건설 3D 프린팅 장비 제원을 작성하였다. 가장 대중적인 겐트리타입으로 4개의 기둥이 지지하며 상단에 박스형태의 프레임이 설치되며 프레임을 이동할 수 있는 노즐이 설치된다

본 연구에서는 골조공사를 대상으로 하기 때문에 Table 3과 같이 한국콘크리트학회에서 제시하는 골조공사 표준공종(2003)을 기초로 하였다.

Table 3. Activities of concrete structure standard work(Korea Concrete Institute, 2003)

No.	Detail Activity
1	Concrete curing and slab form remaining
2	Inked string work
3	Delivering/assembling wall reinforcement
4	Disassembling wall form
5	Disassembling stair and core wall form
6	Wall mechanical/electronic/communication
7	Delivering/assembling of wall form
8	Disassembling/assembling slab form
9	Delivering/assembling stair and core wall form
10	Delivering/assembling of slab reinforcement
11	Slab mechanical/electronic/communication work
12	Cleaning/test/finish concrete pouring

콘크리트 표준공종은 거푸집을 설치 후 콘크리트 타설, 양생하는 기존방식을 바탕으로 하고 있다. 3D 프린팅 방식은 거푸집을 사용하지 않는 급속시공 방식으로 기존 공종과 매우 상이하다. 따라서 기존 제조업분야의 대형 3D 프린팅 장비 제작 및 운용 경력(5년 이상)이 있는 전문가 2인의 자문을 받아 시나리오를 작성하였다. 자문내용은 대형 3D 겐트리타입 프린팅장비의 이송 및 설치과정, 콘크리트 출력 노즐과 재료 이송장치의 연결 과정, 서포트의 설치 및 해체 기술, 대형 장비의 하중 및 이를 지지하기 위한 기초 시공방법 등이다. 또한 3D 프린팅 장비가 공사현장에 설치된 후 타 공종과의 연계 및 충돌을 검토하기 위해 시공 경력(10년 이상)이 있는 전문가 3인과 시나리오를 검토하였다. 주요 검토내용은 3D 프린터 장비 3D 프린터로 출력한 벽체의 단열 및 마감 시공방법, 창호와 같이 서포트가 필요한 부재 시공방법, 현장 믹서기 설치 및 펌프 연결방법, 3D 프린팅 방식의 보강재 설치 방법 등이다.

위와같은 방법으로 3D 프린팅 시공 시나리오를 작성한 내용은 다음과 같다. 설계자가 3차원 모델을 작성하면 이를 STL파일 포맷으로 변환한 후 3D 프린터 장비에 입력한다. 공사현장에서는 3D 프린터가 설치되는 위치를 측량하고 출력 중에 장비가 흔들리지 않도록 바닥판을 무근 콘크리트 타설한다. 이후 3D 프린터 장비를 운반하여 양중기로 설치지점까지 이동 후 볼트체결하여 설치한다. 3D 프린터의 안정적인 출력 및 양생을 위해 장비 전체를 돔 형태로 둘러싸는 가설막을 설치한다. 3D 프린터용 재료를 믹서에서 혼합한 후 재료 압송장치를 통해 3D 프린터 노즐에 공급한다. 3D 프린터고 콘크리트 출력을 시작하고 창호 등 개구부가 있는 부분은 별도의 거푸집을 설치한다.

철근, 와이어메쉬 등의 보강재를 시공하고 경량기포 콘크리트를 타설하여 구조력을 증대시킨다. 3D 프린팅 출력이 완료되면 거푸집을 해체하고, 3D 프린터를 청소한 후 해체한다. 적층형 3D 프린팅의 특성상 레이어의 결이 나타나기 때문에 이를 그라우팅하고 모르타르를 발라 마감을 한다. 마지막으로 가설막을 해체한다. 이러한 시나리오에 따라 3D 프린팅 시공에 필요한 공종을 도출하면 Fig. 2와 같다.

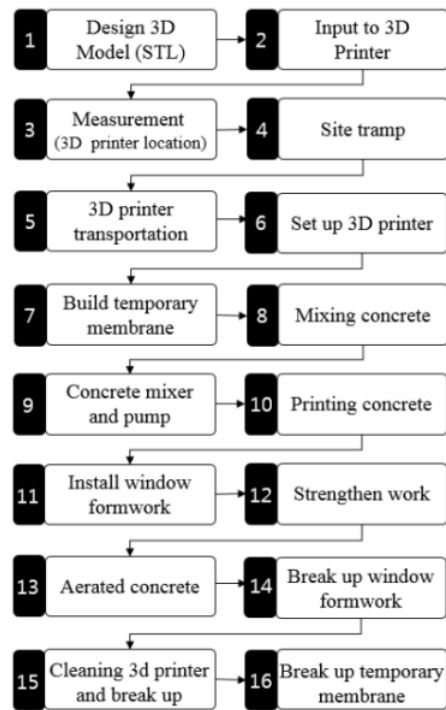


Fig. 2. Construction 3D printing work

3.2 3D 프린팅 공종분류체계 구축

건축물 3D 프린팅 공종분류체계 구축을 위해 앞서 도출된 건축물 3D 프린팅 공종과 기존 건설정보분류체계와의 매칭여부를 분석하였다. 건설 시공경력이 있는 전문가 3인의 자문을 받아 기존 건설정보분류체계에 동일한 공종이 있는 경우는 매칭하고, 기존 공종분류에 없는 3D 프린팅 공종은 기존 분류체계 하위에 새롭게 추가하였다. 일반적인 경우 설치와 해체는 같은 작업공종으로 인식하는 경우가 많아 3D 프린팅 설치와 해체를 하나로 구분하였다.

예를 들어, 부지정리의 경우 ‘21.토공사 - 211.표토제거 및 부지정지 - 2116.구조물정지 - 21165.버림콘크리트정지’로 매칭 될 수 있었으며, 보강공법 시공은 ‘25.철근콘크리트공사 - 255.콘크리트보강공사 - 2551.철근가공및조립 - 25511.이형철근, 25517.일반와이어매쉬, 25519.철근이음’으로 매칭 될 수 있다. 3D 프린팅 시공은 기존 공종분류체계에서는 매칭되는 항목이 없으므로 ‘25.철근콘크리트 공사 - 253.콘크리트 타설 - 2536.특수콘크리트 공사’의 하위에 25368. 콘크리트 자동화 타설을 추가하였다. 이러한 방식으로 앞서 도출한 16개 액티비티를 12개 공종으로 정리하였으며 각 도출된 3D 프린팅 공종과 기존 공종분류체계를 매칭한 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Construction 3D printing WBS

3D Printing Work	Work Breakdown Structure	
	Code	Work
site tramp	21165	concrete tramp
build temporary membrane	03	temporary work
mixing concrete	25368	automated cast concrete
set up 3D Printer	25368	automated cast concrete
concrete mixer and pump	25368	automated cast concrete
3D printing	25368	automated cast concrete
strengthen work	25519	reinforcing bar joint
aerated concrete	253612	aerated concrete
Install window formwork	2544	special finish formwork
grouting concrete	071357	concrete grouting
finishing work	5181	finish work
nozzle cleaning	25368	automated cast concrete

4. 3D 프린팅 작업항목 표준품셈 연계

3D 프린팅 가상 시공 시나리오를 바탕으로 도출한 공

종과 한국건설기술연구원에서 배포하는 건설공사표준품셈[5]을 연계하였다. 건설공사 표준품셈은 대표적이고 일반적인 공종을 대상으로 하고 있으므로 4가지 유형으로 구분하여 표준품셈을 매칭하였다. A 타입은 기존 표준품셈과 매칭되는 경우이다. B 타입은 기존 표준품셈과 매칭은 되나 3D 프린팅 특성으로 공사가 어려울 것으로 판단되어, 재료나 인력의 할증이 필요할 것으로 판단되는 경우이다. C 타입은 기존 표준품셈에는 없어 새로운 표준품셈이 필요한 경우이며, D 타입은 3D 프린팅 장비의 성능에 따라 좌우되는 경우로 설정하였다.

이와 같은 원칙으로 앞서 도출한 3D 프린팅 공종과 기존표준품셈을 매칭한 결과는 다음과 같다. 예를 들어 ‘부지정리’는 ‘건축공사-기초-기초지정’ 품목으로 매칭할 수 있으며 ‘콘크리트 그라우팅’은 ‘건축-미장공사-콘크리트 면 마무리’ 품목으로 매칭될 수 있다. A타입은 기존 표준품셈과 매칭되는 항목으로 기존 품셈의 품을 그대로 따라 원가 산정이 가능하다. 3D 프린팅 ‘콘크리트 배합’의 경우 기존 표준품셈의 ‘건축-철근콘크리트공사-기계 및 인력비법 타설’로 매칭할 수 있다. 그러나 3D 프린팅 특성상 특수한 콘크리트 재료 및 배합설계가 필요하며, 이를 위해 일반 콘크리트공이 아닌 특별인부가 필요하다.

Table 5. Matching Table 3D printing work with SES

3D Printing Work	Type	Standard Estimation System
site tramp	A	basement work
build temporary membrane	B	temporary work
mixing concrete	B	mixing concrete + α
set up 3D Printer	D	-
concrete mixer and pump	D	-
3D printing	C	automated construction
strengthen work	B	assemble reinforcing bar + α
aerated concrete	A	aerated concrete
Install window formwork	B	plywood form + α
grouting concrete	A	grouting concrete
finishing work	A	finishing work
nozzle cleaning	D	-

따라서 기존 표준품셈에 할증을 더하는 B타입으로 매칭하였다. 이와 같은 B타입에는 보강공법 시공, 재료가

송장치 설치/제거, 개구부 거푸집 설치/해체 등이 포함된다. ‘3D 프린팅 시공’ 항목의 경우 기존 표준품셈에는 없는 항목이다. 따라서 ‘건축-기계화시공’ 분류에 ‘3D 프린팅 시공’이라는 품셈이 새롭게 추가되어야 한다. D 타입은 3D 프린팅 장비의 유형 및 성능에 따라 품셈이 좌우되어, 일반적이고 보편적인 품셈을 지정하기가 어려운 경우이다. 예를 들어, ‘3D 프린터 설치’는 3D 프린터 장비의 유형(젯트리타입, 로봇타입, 크레인타입 등) 및 성능에 따라 편차가 커 보편적인 품셈을 정할 수가 없다. 이와 같은 D 타입에는 ‘재료이송장치 배치 및 연결’, ‘3D 프린팅 청소’ 등이 포함된다.

5. 결론

본 연구에서는 3D 프린팅의 건설분야 적용을 위해 공중분류체계 및 표준품셈을 제시하였다. 이를 위해 3D 프린팅 시나리오를 작성하고 16개 액티비티로 구성된 3D 프린팅 시공 공종을 도출하였다. 기존 건설정보분류체계와 표준품셈을 분석하고 도출된 3D 프린팅 공종을 매칭하였다. 기존 분류체계와 동일한 3D 프린팅 공종도 있었으며 기존에 존재하지 않는 공종은 유사한 분류체계 하위에 추가하였다. 표준품셈은 기존과 동일한 공종, 기존과 유사하나 할증이 필요한 공종, 새롭게 추가되는 공종, 장비에 따라 상이하여 표준으로 제정하기 어려운 공종 등 4가지 타입으로 구분하였다.

본 연구에서 구축한 3D 프린팅 공중분류체계와 표준품셈은 향후 3D 프린팅의 공사관리 및 원가산정에 활용될 수 있다. 또한 3D 프린팅 시공의 가이드 및 참고자료로 사용할 수 있다. 본 연구에서는 제시한 3D 프린팅 공종은 실제 수행한 공사로부터 도출한 것이 아니라 시나리오를 바탕으로 한 가설이다. 따라서 본 연구진이 계획 중인 3D 프린팅 테스트베드(2019년 예정) 적용 과정에서 검증 및 보완이 필요하다. 기존 표준품셈과 매칭하는 단계에 머물렀으며, 향후 3D 프린팅 공사수행을 통해 실질적인 품셈 산정이 필요하다.

References

[1] H. J. Park, M. B. Seo, K. B. Ju, “A Development of Work Item and Duration Estimation Method for 3D

Printing based Building” *Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 18, No. 12, pp. 200-207, 2017

DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.12.200>

- [2] K. S. Lee, H. P. Park, U. N. Oh, S. H. Park, “A Study on the Establishment Plan of Integrated Construction Information Classification”, *Journal of Korea Institute of Construction Engineering and Management*, Vol. 3, No. 2, pp. 99-106, 2002
UCI: <http://uci.or.kr/G704-001084.2002.3.2.004>
- [3] KICT (2017a) 2017 Standard Estimation System, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, and KICT, 2017
- [4] C. Son, S. Hong, H. Kim “Strategies for improving a measurement system of standard unit productivity data on construction projects” *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol.26, No.6, pp. 157-166, 2010
UCI: <http://uci.or.kr/G704-B00167.2010.26.06.014>
- [5] D. H. Lee, K. H. Kim “Status and Improvement of Standard Estimating System for Reinforced Concrete” *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol.32, No.10, pp. 47-54, 2016
DOI: https://dx.doi.org/10.5659/JAIK_SC.2016.32.10.47
- [6] Aundrey Rudenko, Available From: <http://www.totalkustom.com/> (accessed Oct., 18, 2018)
- [7] Contour Crafting, <http://contourcrafting.com/> (accessed Oct., 18, 2018)
- [8] IMCRC Center, <http://imcrc.org/> (accessed Oct., 18, 2018)
- [9] Apis Cor., <http://apis-cor.com/en/> (accessed Oct., 18, 2018)
- [10] Korea Concrete Institute, Standard Concrete Specification, 2003.

주 기 범(Ki-Beom Ju)

[정회원]



- 1998년 2월 : 단국대학교 대학원 건축계획과 (공학석사)
- 2006년 2월 : 서울시립대학교 대학원 건설관리과 (박사수료)
- 1992년 3월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 미래융합연구본부 건설자동화연구센터 선임연구위원

<관심분야>

3D 프린팅 건설, 건축, 건설관리, BIM, 가상현실

서 명 배(Myoung-Bae Seo)

[정회원]



- 2001년 2월 : 조선대학교 전자계산학과 (공학석사)
- 2003년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 미래융합연구본부 건설자동화연구센터 수석연구원

<관심분야>

건설정보, BIM, 가상현실, 3D 프린팅 건설, 극한건설

박 형 진(Hyung-Jin Park)

[정회원]



- 2009년 8월 : 서울시립대학교 대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2015년 8월 : 서울시립대학교 대학원 건축공학과 (공학박사)
- 2016년 2월 ~ 현재 : 미래융합연구본부 건설자동화연구센터 수석연구원

<관심분야>

건설 3D 프린팅, 가상현실, BIM, 건설관리