

# 건축물 3D 프린팅 공정 도출 및 공기 산정방식 개발

박형진, 서명배\*, 주기범  
한국건설기술연구원 ICT융합연구소

## A Development of Work Item and Duration Estimation Method for 3D Printing based Building

Hyung-Jin Park, Myoung-Bae Seo\*, Ki-Beom Ju  
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

**요약** 3D 프린팅은 기존 산업에 큰 변화를 일으키고 있으며 건설 분야에도 적용되기 시작하고 있다. 3D 프린팅 건설은 기존 공사 기법과는 차이가 있으므로 새로운 공사 프로세스 개발이 필요하다. 특히 정확한 공사기간 산정은 프로젝트의 성공적인 수행과 직결되어 있으므로 3D 프린팅 건설에 대한 공사기간 산정 기법 개발이 필요하다. 본 연구에서는 향후 3D 프린팅이 건설에 도입되는 것을 대비하기 위해 3D 프린팅 건설 프로세스 및 공사기간 산정 방식을 도출한다. 연구의 대상은 콘크리트 타설이 가능한 3D 프린팅 장비로 가정하였으며, 골조공사로 한정 한다. 도출된 프로세스 별로 유사한 건축 표준 품셈을 참고하여 3D 프린팅 공사기간을 산정한다. 개발된 공사 기간 산정 방식은 가상의 테스트 모델에 적용되었다. 테스트 모델 적용 결과 기존 공사 기법 대비 약 절반 가량 공사 기간이 단축되는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 개발된 공사기간 산정 방식은 향후 3D 프린팅 건설에 적용되어 사업 계획 수립에 도움이 될 수 있다.

**Abstract** 3D printing is making a huge difference to existing industries and is beginning to be applied in the field of construction. 3D printing construction differs from existing construction techniques. Therefore, new construction processes need to be developed. In particular, the accurate construction duration is linked directly to a successful project. A method for estimating the construction duration for 3D printing construction is necessary. In this study, a 3D printing construction process and duration estimation method were derived to prepare for the future introduction of 3D printing in construction. The scope of the study was assumed to be 3D printing equipment capable of pouring concrete, and limited to a frame structure construction. The developed construction period estimation method was applied to the virtual test model. As a result of applying the test model, the construction duration was shortened by approximately 50% compared to the existing construction technique. The method of estimating the construction period developed in this study can be applied to 3D printing constructions in the future and help establish a business plan.

**Keywords** : Building, Construction Duration, Duration Estimation, Process, 3D Printing

### 1. 서론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

3D 프린팅 기술은 4차 산업혁명의 주요 기술 중 하나로써 기존 산업에 큰 변화를 가져오고 있다. 3D 프린팅 기술은 1990년대 초반 빠른 원형 제작(Rapid prototyping)

이라는 명칭으로 미국에서 상용화되기 시작하였으며, 산업 전반적으로 서서히 발전하였으나 건축에서 쓰인 사례는 드물었다. 건축은 타 산업분야에 비해 몇 가지 제약이 있어 3D 프린팅 기술 활용이 상대적으로 불리하다. 부피가 커서 한번에 출력하기 위해서는 건물 규모보다 프린터가 커야 하며, 사람이 거주하는 구조물이기 때문에 내

본 논문은 국토교통부 도시건축연구사업 연구비지원(17AUDP-B121595-02)으로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Myoung-Bae Seo (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

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

Received October 13, 2017

Revised (1st November 1, 2017, 2nd November 21, 2017)

Accepted December 8, 2017

Published December 31, 2017

구성, 단열성, 구조적 강도, 친환경성 등 까다로운 성능을 필요로 한다.

그럼에도 불구하고 3D 프린팅 건축은 최근 해외에서 다양한 방법으로 시도되고 있다. 이는 3D 프린팅 특성상 거푸집 및 동바리 등의 가설시스템이 필요하지 않으므로 비정형 건축물에 소요되는 높은 건설비용에 구애받지 않는 장점이 있다. 향후 일괄적인 디자인의 공동주택이 아니라 소비자 지향적인 개인주택의 디자인을 만족시켜 줄 수 있을 것으로 기대하고 있다. 또한 기존 습식공법의 콘크리트 양생, 거푸집 설치 및 해체 등에 따른 시공시간을 줄일 수 있는 생산방식이기도 하며, 향후 예상되는 건설 근로자의 감소, 안전사고 문제 등을 해결할 수 있는 건설 자동화의 핵심기술로 기대를 모으고 있다.

이러한 3D 프린팅기반 건축을 위해서는 새로운 재료, 3D 프린팅 장비의 개발뿐만 아니라 관련 법, 제도, 계약 방식, 구조지침, 현장 관리지침, 공사비 및 공사기간 산정 체계 등 건설공사 전반에 걸친 주요 이슈들의 정비가 필요하다. 특히 건설 프로젝트에서 공사기간은 발주자, 설계가, 시공자, 입주자의 이해관계 및 금전적 요인과 직결되어있다. 짧게 산정된 공정계획에 따른 경우, 공사기간 막바지에 돌관작업으로 인한 직접공사비의 증가 및 품질 저하, 안전사고 발생 등의 문제점이 발생한다. 공사기간이 너무 길게 산정되는 경우 발주처의 금융비용 증가 등이 발생한다. 따라서 정확한 공사기간의 산정은 프로젝트의 성공적인 진행을 위한 중요한 요소 중 하나이다[1].

본 연구에서는 3D 프린팅 건축의 도입을 위한 준비과정으로 3D 프린팅 건축 시 예상되는 공정들을 도출하고 각 공정별 공사기간을 산정할 수 있는 방법을 제안하고자 한다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

3D 프린팅은 기본적으로 적층식 제조방식(Additive Manufacturing)이기 때문에 수직구조물을 한 레이어(Layer)씩 적층하면서 시공할 수는 있으나 보, 슬래브와 같은 수평구조물을 지지대 없이 적층할 수는 없다. 지지대를 설치하게 되면 기존의 거푸집기반 콘크리트 타설방식과 비교하여 강점이 사라지게 된다. 해외의 구축사례를 보더라도 프리패브(prefab) 건축처럼 공장에서 모듈을 출력한 후 조립하는 경우에는 여러 층을 구축한 사례가 있으나 현장에서 출력하는 3D 프린팅 사례는 대부분

단층임을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 현장 출력 시 공사기간을 산정하고자 하므로 단층의 구조물을 연구의 대상으로 한다.

3D 프린팅으로 건축물의 모든 부분을 시공하기에는 아직 기술적 한계가 있다. 특히 3D 프린팅 기술은 이미 규격화되어있는 기성품들에 비해서는 경쟁력이 매우 부족하기 때문에 설비공사, 마감공사 등에 대해서는 본 연구 범위에서 제외한다. 골조공사의 경우도 정형 건축물인 경우 기존 공법이 경쟁력 있지만 본 연구에서는 비정형 건축물임을 가정한다. 따라서 모르타르를 출력하는 3D 프린팅 기술을 적용할 수 있는 골조공사로 공사범위를 한정한다.

## 2. 예비적고찰

### 2.1 건설 3D 프린팅 기술 동향

건축 분야의 3D 프린팅 기술은 미국, 영국, 네덜란드, 중국 등에서 핵심기술을 보유하고 있으며 최근 시범적인 시장이 형성되고 있는 단계이다.

중국의 윈선社에서는 2012년 건설관련 3D 프린팅 자체 기술을 완성하였으며 2014년 4월, 4대의 거대한 3D 프린터를 이용해 상하이 공업단지에서 세계 최초로 그림 1과 같은 10채의 사무실용 건물을 제작하였다. 제작에 사용된 대형 3D 프린터의 크기는 높이 약 6m, 가로 약 10m, 세로 약 40m 가량이며 노즐 압출방식 기술을 사용하여 적층하였다. 주택 1채의 모듈의 규모는 15m\*10m\*6.5m이고, 각 섹터별로 제작하여 기존의 프리캐스트 공법과 유사한 방식으로 조립하는 방식을 사용했기 때문에 이음새간 균열, 누수의 문제가 남아있다. 기존 일반적인 주택건설에서 필요한 공사기간의 70%, 필요한



Fig. 1. 3D printing office building (WINSUN)

재료의 60%, 필요한 기존 노동력의 80% 정도를 절약할 수 있고, 건축폐기물을 활용하여 시공이 가능하다고 발표하였다.[2]

미국의 건축가인 안드레이 루덴코는 시멘트를 활용하여 노즐압출 방식 기반의 3D 프린터 장비를 개발하여, 약 4개월 동안 본인의 주택 뒷마당에 그림 2와 같은 3.6m 높이의 성을 제작하였다. 콘크리트와 모래로 이뤄진 고유 재료를 활용하였으며 레이어간에 접착제를 사용하여 부착력을 높였다. 루덴코가 설계한 이 3D 프린터는, 한 층당 가로 30mm, 세로 10mm의 사이즈로 원료를 압출시켜 조형할 수 있으며 용도에 따라 압출되는 사이즈를 조절할 수 있다. 이를 바탕으로 필리핀에 3D 프린팅으로 호텔을 시공한 사례도 있다.[3]



Fig. 2. 3D printing Castle (Andrey Rudenko)

남부 캘리포니아 대학교(University of Southern California)-Behrokh Khoshnevis 교수 연구팀은 기존의 노즐압출 3D 프린팅 방식을 사용하여, 그림 3과 같이 건물규모 약 230평방미터를 약 20시간 만에 지을 수 있는 초대형 3D 콘크리트 프린팅 기술인 컨투어 크래프팅 (Contour Crafting)을 발표하였다. 규모를 키운 노즐압출 방식의 3D 프린터로 경화속도를 조절한 콘크리트 모르타르를 적층시켜 거푸집이 없이 기성건축자재를 사용하여 로보틱스 기술과 전통적인 건축법을 융합하여 주거공간을 제작하였다.[4]

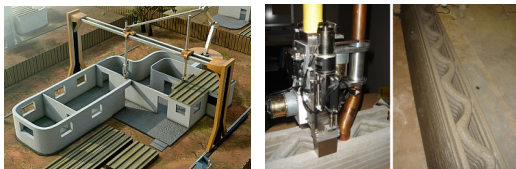


Fig. 3. Contour Crafting (USC)

영국의 러프버러 대학교(Loughborough University)의 IMCRC 센터에서는 프리폼 컨스트럭션 (Freeform

Construction) 프로젝트를 통해 2007년 이후로 줄곧 콘크리트 3D 프린팅 기술을 연구하여 왔다. 그림 4와 같이 2010년에 1톤 무게의 강하 콘크리트 벤치를 3D 프린팅 하는데 성공하였고, 이어서 S자형으로 구부러진 복잡한 형태의 콘크리트 패널을 제작할 수 있는 수준까지 개발하였다. 이는 콘크리트 원료와 적층 방식의 3D 프린팅 기술을 이용해 새로운 건축물 제작 공정을 개발하기 위한 시도로서, 3D 프린터 기술의 무한한 가능성에 힘입어, 건축가에게 어떠한 복잡한 형태도 구현해내는 상당한 수준의 디자인 자유도를 제공할 수 있게 되었다.[5]

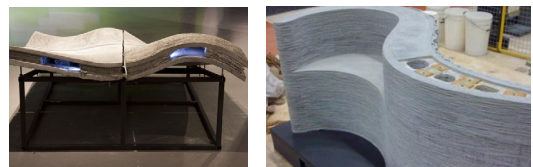


Fig. 4. Freeform Construction (IMCRC Center)

러시아의 APIS-cor社は 현장에서 직접 프린트하는 방식으로 집을 출력하였다. 이는 모듈화하여 출력후 조립방식이 아니므로 일체화된 건축물이다. 그림 5와 같은 약 39평방미터의 집을 출력하는데 단 하루가 걸렸다고 하며 비용은 1만 달러(약 1,100만원)정도에 불과했다. 물론 3D 프린팅 출력시간만 하루 일 것으로 예상된다. 3D 프린팅 장비의 방식은 크레인 방식으로 중심축을 기준으로 360도 회전하면서 노즐이 설치된 Arm을 조절하며 프린팅 한다. 높이조절은 원통에서 유압방식으로 레이어 두께만큼 올려서 해결한다.[6]



Fig. 5. 3D printing residential building (Apis-cor)

이외에도 네덜란드의 DUS Architects, 이탈리아의 D-shape 등 3D 프린팅을 건축에 접목하는 다양한 연구들이 진행되어 오고 있다.

앞서 소개된 사례들은 대부분 민간기업 또는 대학연구소에서 장비와 재료를 개발한 사례들이다. 3D 프린팅을 보다 건축적인 시각에서 바라보면 기존 공법과의 연

계, 관련 법/제도의 개정, 새로운 구조지침 및 구조시스템의 개발, 새로운 공사비 내역 및 공정표의 개발 등의 연구과정이 필요하다. 본 연구에서는 그 중 3D 프린팅 시 소요되는 공사기간을 산정하는 방식을 제안하여 향후 3D 프린팅의 건축 도입 시 활용될 수 있도록 한다.

3D 프린팅기반 골조공사의 공정을 도출하기 전에 3D 프린팅 방식을 정의해야 한다. 3D프린팅 방식에는 노즐압출 방식, 파우더에 선택적으로 레이저를 투사하여 소결하는 선택적 레이저 소결(SLS; Selective Laser Sintering) 방식, 액체 광경화성 수지가 담긴 수조에서 UV 레이저를 투사하여 경화시키는 광경화 조형(SLA; Stereo Lithography Apparatus) 방식, 프린터 헤드에서 경화물질을 분사하여 파우더를 고형화하는 분사(Jetting) 방식 등이 있다. 본 연구에서는 현재 건축물 프린팅에 가장 일반적으로 사용되고 있는 노즐압출 방식을 가정한다.

또한 노즐을 움직이는 장비의 형태는 크게 겐트리(gantry) 방식, 델타(delta) 방식, 크레인(crane) 방식, 다관절로봇방식으로 구분할 수 있다. 겐트리방식과 델타방식은 그림 6과 같이 건물 규모보다 큰 프린터를 세우고 그 안에서 한번에 출력하는 형태이다. 프린터만 설치되면 직교계 좌표로 안정적인 출력이 가능하며 전통적으로 3D 프린팅에서 가장 많이 사용되는 방식이다. 크레인방식은 T형 크레인처럼 회전하면서 출력이 가능하여 설치지점을 중심으로 원형 범위 내에 시공이 가능하다. 별도의 지지대 없이 이동성이 용이한 장점이 있으며 2대 이상의 장비가 프린팅 구역을 나누어 출력도 가능하다. 겐트리방식에 비해 좌표계산이 복잡하고 중심에서 멀어지면 하중, 풍압 등에 의해 정밀도에 문제가 생길 가능성이 크다. 다관절로봇 방식은 제조업에서 자주 사용되는 방식이다. 제조업과 달리 구조물의 규모가 크기 때문에 장비가 이동하면서 출력이 가능해야 하며, 이를 위해 3D 스캐닝 및 실내좌표 확인 기술이 필요하다.

## 2.2 기존 공동주택 건설 공기 산정방식

기존의 공사기간 산정연구는 대부분 축적된 사례의 공정표를 분석하여 통계적 모델로 구축하였다. 공사기간에 영향을 미치는 주요한 영향요소(층수, 세대수, 연면적, 용적률 등)를 도출하고 이를 회귀분석, 사례추론분석(CBR; Case Base Reasoning), 인공신경망(ANN; Artificial Neural Network), 유전자알고리즘(GA; Genetic Algorithm)

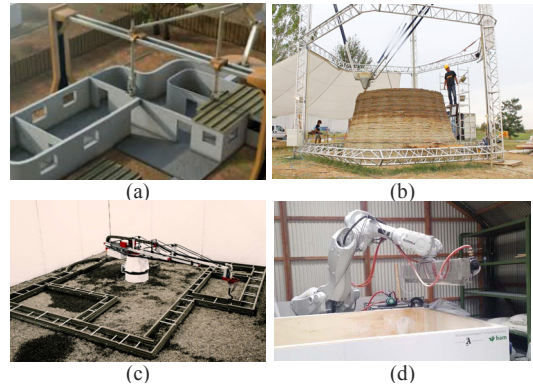


Fig. 6. Types of 3D printing (a)Gantry Type (b)Delta Type (c)Crane Type (d)Multi-joint Robot Type

등 다양한 통계적 기법을 활용하여 공기산정 모델을 구축하였다[7, 8]. 이러한 모델 구축과정에서 공기에 영향을 미치는 연간 작업불가능일수를 산정하는 연구[9]와 안전, 보상, 문화재 등 다양한 외적요소를 적용하여 공사기간을 보정[10]하는 연구가 진행되었다.

국내 실무에서는 주로 LH 공사에서 제시하는 공동주택 표준공사기간 산정기준[11]을 따르고 있다. 이에 따르면 총 공사기간은 공사준비기간, 건축공사기간, 공사불능일, 주5일근무 등으로 구성된다. 공사준비기간은 10일로 지정하고 있으며 건축공사기간은 6층 이하인 경우 185일+26일+20\*2층이상 층수로 정해져있으며, 2층 이하 건축물의 전체기간은 230일로 고정되어 있다. 이러한 방식은 통계적방식이 아니라 오랜 경험적 지식에 의해 만들어진 지침과 같다.

향후 3D 프린팅이 건설분야에 적용됨을 가정하여 공사기간을 산정하는 기존 연구가 부족하다. 특히 3D 프린팅 건설은 기존 사례가 거의 없으므로 실적사례를 기반으로한 통계적 모델 구축이 불가능하다. 본 연구에서는 3D 프린팅 프로세스를 기반으로 하여 공정을 분할하고, 각 공정별로 기존 공법의 공사기간을 적용하고 새로운 공정은 기존의 유사공정을 분석하여 적용한다.

## 3. 건설 3D 프린팅 프로세스 도출

### 3.1 기존 골조공사 시공 프로세스

골조공사를 대상으로 기존 건설공사의 표준화된 작업분류체계(Work Breakdown Structure, WBS)는 크게 거

푸집공사, 철근공사, 기계공사, 전기/통신공사, 콘크리트 타설공사 등으로 구분된다.

거푸집공사는 먹매김, 벽거푸집 해체/설치, 슬래브 거푸집 해체/설치, 계단 및 코어 거푸집 해체/설치 등 하위 액티비티로 다시 분류된다. 다른 공사들도 모두 하위 액티비티로 분류될 수 있으며 한국콘크리트학회(2003)에서 제정한 골조공사의 액티비티별 공종 및 표준 공사기간[12]은 표 1과 같다.

Table 1. Activities of concrete structure work

Detail Activity	Duration
Concrete curing and slab form remaining	6days
Inked string work	1day
Delivering/assembling wall reinforcement	1day
Disassembling wall form	1day
Disassembling stair and core wall form	1day
Wall mechanical/electronic/communication	1day
Delivering/assembling of wall form	2days
Disassembling/assembling slab form	2days
Delivering/assembling stair and core wall form	4days
Delivering/assembling of slab reinforcement	1(2)days
Slab mechanical/electronic/communication work	1day
Cleaning/test/finish concrete pouring	1day

표 1에 나타난 액티비티들의 공사기간을 모두 합하면 22일이지만 동시 작업 가능한 액티비티와 주요공정(Critical Path work, CP)을 분리하여 공정표를 작성하면 그림 7과 같이 12일의 작업기간이 된다[6]. 먼저 슬래브 위의 거푸집 설치 지점에 먹매김을 한다. 두 번째로 복합 철근 중 외벽에 면한 철근을 배근하고 세 번째로 외벽의 시스템 거푸집을 끌어올려 설치한다. 네 번째로 복합 철근 중 남은 철근을 배근하고, 다섯 번째로 전기, 상하수도, 통신 등의 설비를 매설한다. 여섯 번째로 안쪽 벽 거푸집을 설치하고, 일곱 번째로 슬래브 거푸집을 설치한다. 여덟 번째로 슬래브 아래에 동바리를 설치하고, 아홉 번째로 슬래브 철근을 배근한다. 열 번째로 슬래브와 벽에 콘크리트를 타설하고 양생한다. 이후 일정기간 양생을 진행하면 윗층에서 동일한 작업과정을 반복한다. 다년간의 현장경험이 있는 실무전문가들의 의견에 따르면 이러한 과정은 특별한 공기지연 사유가 없는 경우 9일-12일이 소요된다고 하였다.

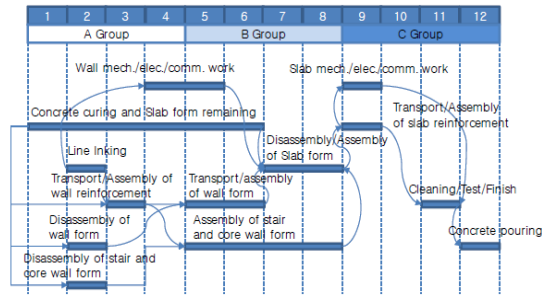


Fig. 7. 12 days typical floor structural work schedule[6]

### 3.2 3D 프린팅 건축 공정 도출

본 연구에서는 2장에서 언급한 3D 프린팅 방식 중 가장 일반적이고 안정적인 샌드위치방식을 가정하였으며, 델타방식은 지지대를 세우고 고정하는 등 거의 유사할 것으로 판단된다. 크레인방식과 다관절로봇방식은 크레인 방식보다 공정 프로세스가 간단할 것으로 판단되므로 용이하게 수정 가능하다.

본 연구에서는 3D 프린팅 장비 전문가 3인, 3D 프린팅 재료 전문가 2인, 공동주택 시공 전문가 2인에 대해 자문 및 면담조사를 통해 3D 프린팅으로 건축물 시공 시 필요한 공종을 도출하였다. 이를 통해 소형주택(10m \* 10m \* 3m)을 기준으로 3D 프린팅 골조공사를 진행하는 시나리오를 구축하였다. 초기 시나리오는 본 연구진이 작성하였으며 두 번의 전문가 면담을 통해 보완하였다.

그림 8에서 보는 바와 같이 기본적인 부지정리 이후 3D 프린팅 장비 및 재료배합 및 이송장치를 설치할 지점을 확인한다. 3D 프린팅 장비 설치공사는 철골세우기 공사와 유사하다. 재료믹서기와 이송관을 3D 프린팅 장

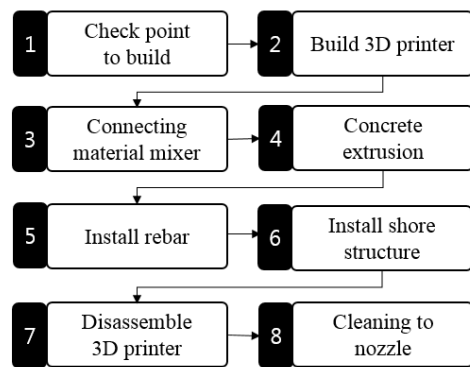


Fig. 8. 3D printing process for construction

비의 노즐에 연결한다. 이후 입력된 3D 모델정보에 따라 노즐이 움직이며 모르타르를 타설하게 되며, 구조적 안정성을 위해 중간에 보강재를 설치하고, 개구부는 가시 설물을 설치하여 안정적으로 3D 프린팅 출력이 될 수 있도록 한다. 출력이 종료되면 3D 프린팅 장비를 해제하고 노즐 및 재료 이송장치를 청소하게 된다.

#### 4. 3D 프린팅기반 공기산정방식 개발

##### 4.1 주요 공정의 개략 공사기간 산정

3장에서 도출한 3D 프린팅 주요 공정별 공사기간 산정을 위해 한국건설기술연구원에서 매년 발표하는 건축 공사 표준품셈의 자료를 이용하였다. 3D 프린팅 공정의 경우 기존 표준품셈에 없는 공정은 전문가검토를 통해 유사한 공정을 선정하였다. 예를 들어 3D 프린팅 겐트리 지지대의 정확한 설치지점 확인을 위해 현장 시공 시 먹매김을 하게 된다. 또한 겐트리기반 3D 프린팅 설치는 철골기둥세우기와 유사한 작업이므로 공사에 필요한 인부나 물량이 동일하다고 보았다.

Table 2. Analysis of similar work

Work for 3D printing	Similar standard work
Check point to build	Marking for structural
Build to 3D printer	Erect steel frame
Connecting material mixer	-
Concrete extrusion	-
Install rebar	Assemble rebar
Install shore structure	Install shore structure
Disassemble 3D printer	Erect steel frame
Cleaning to nozzle	Cleaning site

각 공정에 대한 공사기간 산정방식은 다음과 같다. 구조부 먹매김은 m<sup>2</sup>당 주택 0.009 이므로 본 연구의 대상이 10m\*10m이므로 100m<sup>2</sup>이다. 따라서 0.9인이 필요하다. 이를 1인 8시간 근무에 적용하면 7.2시간이 필요한 것이 되며, 2인일 경우 3.6시간이 된다. 이러한 방식으로 3D 프린팅 공종별 공사기간을 산정할 수 있다. 다만 구축하고자하는 대상 규모와 투입하고자하는 인력에 따라 공사기간이 달라지므로 이를 사전에 정의하여야 한다.

##### 4.2 3D 프린팅 출력기간 산정

건축물 3D 프린팅의 공사기간을 산정하기 위해서 가장 중요한 인자는 노즐의 이동속도, 적층 두께이다. 본 연구에서는 3D 프린팅 장비에 종속된 파라미터로 노즐 직경, 적층 두께, 초당 압출량 등 3가지로 정의하였다. 압출량과 노즐직경에 따라 노즐의 이동가능거리가 산정된다. 예를 들어 1초에 100mm<sup>3</sup>의 압출량이고 노즐의 직경이 25mm인 경우, 노즐의 넓이가 490.6mm<sup>2</sup> 이므로 노즐 이동거리는 초당 203.8mm (약 20cm)가 된다.

$$\text{노즐이동속도} = \text{압출량} / \text{노즐 넓이} \quad (\text{식1})$$

건물의 규모에 따라 공사기간이 달라지므로 벽체길이와 층고값이 필요하다. 또한 적층두께에 따라 레이어의 수가 달라지며 홀벽, 겹벽, 트러스 등의 구조타입에 따라 총 이동길이가 달라진다. 해외 사례의 경우 보통 겹벽으로 출력하고 보강재를 삽입하거나, 트러스구조로 시공하여 자체적인 구조력을 확보하는 경우가 많다. 예를 들어 건물의 벽체길이 40m, 층고 3m, 레이저의 적층두께를 20mm라고 가정하면 식(2)에 따라 74,293초가 소요되게 되고, 이를 시간으로 환산하면 20.6시간이 된다. 장비운용시간을 8시간으로 한정하면 2.58일이 소요됨을 알 수 있다.

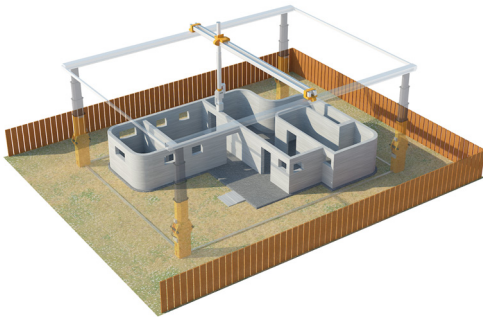
$$\text{콘크리트 출력기간} = \text{벽체길이} \times (\text{층고} / \text{적층두께}) \times \text{구조타입에 따른 가중치} \quad (\text{식2})$$

##### 4.3 테스트 적용

본 연구에서 개발한 3D 프린팅 주요 공정의 공사기간 산정방식을 그림 9와 같은 가상의 테스트 모델에 적용하였다. 테스트모델의 전체 벽 길이는 52m, 층고는 2.5m로 설정하였다. 본 연구의 범위에 맞게 수직 벽체를 대상으로 하였다. 벽은 트러스 구조로 45도 각도로 이어지는 구조로 정의하였다. 3D 프린팅 장비는 겐트리 방식의 장비이며 그림 9와 같이 4개의 기둥이 받치고 있는 형태이다. 상단에 박스형태의 프레임이 설치되며 프레임을 이동할 수 있는 노즐이 설치된다. 위와 같은 가정사항들을 정리하면 표 3과 같다.

**Table 3.** Assumption of Test Model

Category	Assumption
Scope	Concrete Work
3D Printing Type	Gantry Type
Nozzle diameter	25mm
Nozzle speed	200mm/sec
Length of Wall	52m
Thickness of layer	20mm
Floor to floor height	2.5m
Wall Type	Truss structure(45°)



**Fig. 9.** Test model and 3D printer image

이러한 테스트모델과 3D 프린팅 장비로 가정하여 앞서 도출한 3D 프린팅 시공 프로세스별로 공사기간을 표 4와 같이 산정하였다. 보강근 설치의 경우 3D 프린팅 타설 도중 작업자가 보강근을 출력물 사이에 고정하는 형식이므로 비교적 간단한 철근작업이다. 따라서 건축 공사 표준품셈 중 ‘철근조립(간단)’의 철근공 품인 0.75(ton)로 정의하였다. 보강근은 전문가의견 수렴을

통해 수평 20cm마다, 수직 20cm마다 D22 이형철근 하나씩 설치하는 것으로 가정하였다. 이를 52m 길이, 층고 2.5m에 적용하면 총 3,120개의 철근이 설치된다. 각 철근의 길이는 벽체의 두께보다 조금 적은 28cm로 가정하여 D22 이형철근의 물량은 874m이며 톤으로 환산하면 2.7톤이다.

콘크리트 출력속도는 벽길이 52m, 층고 2.5m를 식(1)과 식(2)에 적용하면 22.3 시간이 산정된다. 이를 하루 8시간 작업으로 고려하면 2.79일이 된다. 최종적으로 테스트모델에 소요되는 3D 프린팅 시공 시간은 8.71일이다. 그러나 3D 프린팅 타설과 보강근 설치, 개구부 가설물 설치의 동시에 이루어질 수 있는 작업이므로 이를 중복제외하면 6.44일이 된다. 이는 기존 콘크리트 시공 공법이 12일 소요됨을 감안하였을 때 약 절반 가량 공사기간이 단축됨을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 3D 프린팅의 건설분야 적용을 위해 공사기간 산정 방식을 제시하였다. 이를 위해 기존 콘크리트 시공 공법을 분석하고 3D 프린팅 방식이 적용되었을 때의 시공 프로세스를 도출하였다. 도출된 프로세스별로 기존의 표준품셈체계와 비교하여 유사한 공사를 매칭하여 공사기간을 산정하였다. 테스트모델을 적용하여 개발된 3D 프린팅 시공 프로세스 공사기간 산정 방식을 적용한 결과 기존 콘크리트 타설 공법 대비 약 46%의 공사기간을 단축하는 것으로 나타났다.

3D 프린팅을 실제로 시공한 것이 아니기 때문에 많은

**Table 4.** Estimated duration for test model

3D printing process	Similar work	Quantity	Standard		Input labor	Estimated Duration
			Quantity	Labor		
Check point to build	Marking for structural	130(m <sup>2</sup> )	0.009(m <sup>2</sup> )	1.17	1	1.17
Build to 3D printer	Erect steel frame	1.6(ton)	0.46(ton)	0.736	1	0.74
Connecting material mixer	-	-	-	-	1	0.5
Concrete extrusion	-	52m * 2.5m	-	-	1	2.79
Install rebar	Assemble rebar	2.7(ton)	0.75(ton)	2.03	2	2.03
Install shore structure	Install shore structure	4.8(m <sup>2</sup> )	0.05(m <sup>2</sup> )	0.24	0.5	0.24
Disassemble 3D printer	Erect steel frame	1.6(ton)	0.46(ton)	0.736	0.5	0.74
Cleaning to nozzle	Cleaning site	10(m <sup>2</sup> )	0.15(m <sup>2</sup> )	0.74	2	0.5
Total						8.71

가정사항이 포함되어 있으므로 향후 건설 3D 프린팅 기술 개발에 따라 가정사항을 줄여나가는 연구과정이 필요하다. 또한 공사기간 산정 뿐만 아니라 원가산정도 프로젝트 수행을 위해 매우 중요한 요소이다. 향후 3D 프린팅 건설 시 원가 산정에 대한 연구가 필요하다.

### References

- [1] B. S. Kim, J. G. Jeun, "A Study on Estimation Model of Construction Duration for Public Construction", *Korea Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 6, no. 6, pp. 142-151, 2005.
- [2] WINSUN, Available From: <https://futureofconstruction.org/case/winsun/> (accessed Oct., 31, 2017)
- [3] Aundrey Rudenko, Available From: <http://www.totalkustom.com/> (accessed Oct., 31, 2017)
- [4] Contour Crafting, <http://contourcrafting.com/>(accessed Oct., 31, 2017)
- [5] IMCRC Center, <http://imcrc.org/> (accessed Oct., 31, 2017)
- [6] Apis Cor., <http://apis-cor.com/en/>(accessed Oct., 31, 2017)
- [7] C. W. Koo, "A CBR-based Hybrid Model for Predicting Construction Duration and Cost based on Project Characteristics in Multi-Family Housing Projects", University of Seoul, 2007.
- [8] D. K. Seol, D. Y. Kim, D. Y. Kim, S. C. Jeong, Y. K. Huh, "Determination Model of Optimum Construction Duration of Apartment Structural Frameworks", *Journal of architectural institute of korea*, vol. 32, no. 12, pp. 61-68, 2012.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.5659/JAIK\\_SC.2016.32.12.61](http://dx.doi.org/10.5659/JAIK_SC.2016.32.12.61)
- [9] I. W. Choi, O. K. Kim, "A Study on Construction Duration Considering Qualitative Element", *Journal of architectural institute of korea*, vol. 18, no. 2, pp. 695-700, 1998
- [10] H. S. Koo, B. C. Choi, "A Study on the Estimation of Construction Period Considering Weather Factor in Building Construction", *Journal of architectural institute of korea*, vol. 15, no. 11, pp. 87-96, 1999.
- [11] Korea Land and Housing Corporation, Construction Standard Specification, 2003.
- [12] Korea Concrete Institute, Standard Concrete Specification, 2003.

### 박 형 진(Hyung-Jin Park)

[정회원]



- 2009년 8월 : 서울시립대학교 대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2015년 8월 : 서울시립대학교 대학원 건축공학과 (공학박사)
- 2016년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 박사후연구원

<관심분야>

건설 3D 프린팅, 가상현실, BIM, 건설관리

### 서 명 배(Myoung-Bae Seo)

[정회원]



- 2001년 2월 : 조선대학교 전자계산학과 (공학석사)
- 2003년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 ICT융합연구소 수석연구원
- 2016년 4월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 극한건설연구단

<관심분야>

건설정보, BIM, 가상현실, 3D 프린팅 건설, 극한건설

### 주 기 범(Ki-Beom Ju)

[정회원]



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

<관심분야>

3D 프린팅 건설, 건축, 건설관리, BIM, 가상현실