

건축물 3D 프린팅 설계지원도구 개발에 대한 연구

박형진, 서명배*, 주기범
한국건설기술연구원 미래융합연구본부

A Study on Development of Design Support Tool for Building 3D Printing

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

요약 3D 프린팅 기술은 공급자 중심의 대량 생산에서 수요자 중심의 다양한 디자인을 만족하게 하는 패러다임의 변화를 가져오고 있다. 건축분야 3D 프린팅 기술은 모듈러 건축과 더불어 기존의 습식공법을 대체할 수 있는 새로운 시공방법으로 기대되고 있다. 최근 북미, 유럽, 아시아 등 다수의 국가에서 모르타르 계열의 재료를 활용한 3D 프린팅 건축물 구축 사례가 경쟁적으로 발표되고 있다. 3D 프린팅 기술의 핵심은 3D 프린팅 장비, 재료, 3D 모델링 및 슬라이싱 기능이다. 건축분야에서는 기존 제조업에서 상용화된 슬라이싱 기능을 보완하여 사용하고 있다. 본 연구에서는 건축분야의 3D 모델링을 3D 프린팅 장비로 출력하기위해 슬라이싱 기능이 포함된 설계지원도구를 개발한다. 기존 제조업분야에서 3D 모델링 이후 출력까지의 과정을 분석하고, 특히 기존에 상용화된 슬라이싱 프로그램들의 기능을 분석한다. 또한 기존 사례 및 전문가 검토, 관련 문헌 등을 분석하여 건축분야에 필요한 슬라이싱 기능 7가지를 도출하였다. 도출된 기능들은 슬라이싱 기능에서 보다 확장하여 설계지원도구라고 명명하였다. 향후 도출된 기능들에 대한 상세한 알고리즘 및 프로세스의 개발이 필요하다.

Abstract 3D printing technology is changing the paradigm of consumer-oriented design in supplier-oriented mass production. 3D printing technology in construction is expected to be able to replace existing wet methods along with modular construction. Recently, a number of cases of building construction using 3D printing using mortar-based materials have been announced in many regions, including North America, Europe, and Asia. In this study, we developed a design support tool with a slicing function to output 3D modeling for architecture for a 3D printing machine. We analyzed the process and the function of slicing programs that are commercially available. Seven slicing functions required for the architectural field were derived by analyzing cases, expert reviews, and related literature. The derived functions were extended from the slicing functions to develop the design support tools. Detailed algorithms and processes need to be developed for future derived functions.

Keywords : Building 3D Printing, Design Support Tool, Slicing Program, 3D Printing Process, Pattern

본 연구는 국토교통부 도시건축연구사업의 연구비지원(19AUDP-B121595-04)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Myoung-Bae Seo(KICT)

email: smb@kict.re.kr

Received October 8, 2019

Accepted December 6, 2019

Revised December 4, 2019

Published December 31, 2019

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

3D 프린팅 기술은 기존의 CNC 장비와 대비되는 적층식 제조 방식(Additive Manufacturing, AM)[1]으로 생산 패러다임의 변화를 가져오고 있다. 3D 프린팅은 다품종 소량생산을 가능하게 하여, 공급자 중심의 대량 생산에서 수요자 중심의 다양한 디자인을 만족하는 소량 생산 시장을 이끌고 있다.

3D 프린팅 기술은 이미 원천기술에 대한 특허가 만료되어 기계부품 제작, 모형제작, 바이오 등의 분야에서는 실용화 단계로 진입하였으며[2], 최근 건축분야까지 확장되고 있다. 특히 3D 프린팅기반 건축기술은 모듈러건축 등의 프리팹(prefab) 기술과 더불어 기존의 습식공법을 대체할 수 있는 새로운 시공방법으로 활용될 수 있을 것으로 기대되고 있다[3]. 최근 유럽, 미국, 러시아, 중국 등을 중심으로 주택, 오피스, 조형물, 전시관 등 다양한 건축 사례가 나타나고 있으며, 최근 네덜란드에서는 3D 프린팅으로 만든 교량을 발표하는 등 토목 구조물까지 영역을 넓히고 있다[4].

건축 3D 프린팅은 기존 습식공정 대비 거푸집 및 동바리를 설치하고 양생하는 공정이 사라지므로, 이를 통한 공사기간 및 비용 절감이 가능할 것으로 판단된다[5]. 또한 기존 공법으로는 시공이 어려웠던 다양한 비정형 형태의 시공이 가능하며, 이로 인한 건축 디자인의 패러다임이 바뀌는 것을 기대해 볼 수 있다.

3D 프린팅의 주요 원천기술은 크게 3D 프린팅 장비, 3D 프린팅 재료, 3D 모델링 및 슬라이싱 기능 등이다. 건축 3D 프린팅은 대부분 모르타르기반의 재료를 사용하고 있으며, 장비의 종류는 겐트리(Gantry), 델타(Delta), 크레인(Crane), 다관절로봇 등 다양한 방식이 연구되고 있다[6]. 3D 모델링은 건축에서도 다양한 3D 모델링 도구들이 상용화되어있으나, 건축용 슬라이싱(Slicing) 프로그램은 구체적인 사례가 발표된 바가 없다.

기존의 3D 프린팅 슬라이싱 프로그램은 제조업을 중심으로 상용화되어 있다. 건축물을 3D 프린팅 할 경우 기존의 상용화 된 슬라이싱 프로그램을 사용할 수는 없다. 그 이유로는 건설 분야에는 아직 보편 상용화된 장비가 없기 때문에 슬라이싱 프로그램에서 장비의 특성을 반영할 수 없다. 또한 비교적 소형인 크기의 목적물에 비해 상대적으로 건축분야의 목적물은 매우 크다. 재료 또한 플라스틱계열 및 금속계열의 재료가 아니라 모르타르

를 기반으로 한 유동성이 높은 재료를 사용하기 때문에, 새로운 재료적 특성을 반영하지 못한다. 따라서 최근 발표되고 있는 건축물 3D 프린팅 시공 사례는 대부분 자체적인 슬라이싱 기능을 개발하거나, 수동으로 장비의 경로를 좌표로 지정하여 움직이는 방식으로 운영하고 있다. 따라서 건축의 특성(대형 목적물, 모르타르기반 재료, 구조적 안전성 등)을 반영한 슬라이싱 프로그램의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 현재까지 공개된 건축분야 3D 프린팅 사례들을 바탕으로 건축용 3D 프린터 슬라이싱 프로그램의 필요기능들을 도출하고, 주요 기능들의 기본적인 방향을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

건축분야의 3D 프린팅 방식은 거푸집을 프린팅하는 방식, 유닛 프린팅하여 조립 시공하는 방식, 현장에서 직접 프린팅 시공하는 방식 등으로 구분된다[7]. 3가지 방식 모두 슬라이서가 필요하지만 목적물에 따라 기능은 상이하다. 본 연구에서는 최근 가장 활발히 진행되고 있는 직접 프린팅 시공하는 방식을 대상으로 하여, 슬라이서 기능을 연구한다.

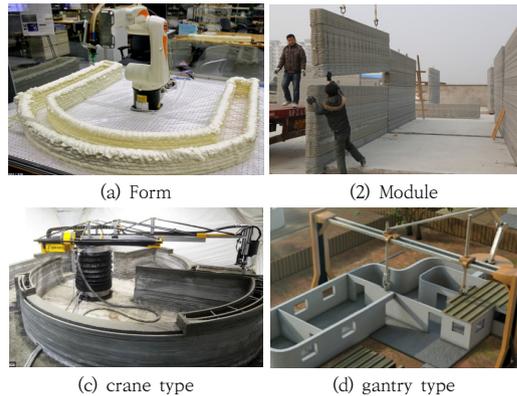


Fig. 1. Building 3D Printing method

직접 프린팅 시공하는 방식에는 3D 프린팅 장비의 특성에 따라 겐트리(Gantry), 델타(Delta), 크레인(Crane), 다관절로봇 방식 등으로 구분할 수 있다[6]. 슬라이서는 장비의 성능 및 움직이는 방식에 종속되므로, 위의 4가지 장비에 따라 슬라이서의 알고리즘은 각기 상이하다. 본 연구에서는 우선적으로 가장 일반적인 겐트리 타입을 대상으로 한다.

연구의 방법은 다음과 같다. 먼저 기존 제조업 분야 3D 프린팅의 출력과정을 분석하고 건축분야의 3D 프린팅 출력과정을 비교·분석한다. 이후 건축분야 3D 프린팅 슬라이싱의 필요기능을 도출하고 이를 도식화한다.

2. 예비적고찰

2.1 3D 프린팅 출력 프로세스

일반적으로 3D 프린팅으로 출력하는 과정은 그림 2와 같다. 먼저 3D CAD 모델을 작성한다. 3D 모델을 작성하는 다양한 상용 소프트웨어가 있으며, 건축분야에는 Autodesk사의 AutoCAD, Revit, 3D Maxs, CATIA, Inventro, MMaya, Trimble사의 Sketchup 등이 있다. 이러한 CAD 모델을 .stl 파일 포맷 형태로 변환하는 과정이 필요하다. stl 파일 포맷은 3차원 데이터를 표현하는 국제 표준 형식중 하나로, 대부분의 3D 프린터와 호환되어 3D 프린터 시장에서 가장 널리 사용되고 있다.



Fig. 2. 3D Printing Process

STL 파일 변환 후 변환 과정에서의 오류 또는 기존 모델이 기하학적으로 완벽한지를 검증하는 과정이 필요하다. 시각적으로는 문제가 없어 보이는 3차원 도면에는 객체가 중첩되거나, 두 점이 미세하게 만나지 않는 등의 오차가 있을 수 있다.



Fig. 3. MeshFix(Handy Tool) use case

따라서 핸드 툴(Handy Tool)을 통해 STL 파일의 무결성을 검증하고 문제가 생긴 부분을 수정, 보완한다. 이

러한 핸드 툴에는 MakePrintable, MeshFix, Meshmixer 등이 있으며 그림 3과 같이 기하학적인 오류를 찾아 이를 출력이 가능한 STL 파일 형태로 수정해 주는 기능이 있다.

출력이 가능한 STL의 주요한 조건은 다음과 같다[8]. 모든 Element, Polygon, edge, vertex는 중첩되지 않아야 하고, 모든 Polygon은 인접한 polygon이 존재하여야 한다. 또한 모든 edge는 폴리곤에 포함되어 있어야 하며, 모든 vertex 또한 모든 edge의 끝점에 위치하여야 한다. 즉 정확한 출력을 위해 불필요한 점, 선, 면은 없어야 하며, 모든 점과 선의 끝은 이어져야 한다고 볼 수 있다.

STL 파일 포맷 변환 후 슬라이싱 소프트웨어를 통해 슬라이싱 및 툴패스를 작성하는 과정이 필요하다. 이는 솔리드로 된 오브젝트를 출력하기 위해 3D 프린팅 장비의 노즐이 어떻게 움직이는지에 대한 경로를 생성하는 기능이다. 슬라이싱 소프트웨어로는 3DPrinterOS, Cura, Simplify 3D 등이 주로 사용되며, 장비의 특성(노즐 지름, 노즐 이동속도, 레이어 높이 등)을 반영하여 실제 3D 프린팅 장비가 이동해야 할 좌표와 그 속도를 결정하여 장비가 이해할 수 있는 G code를 생성한다. 슬라이싱 프로그램의 유무 차이는 결국 G Code를 슬라이싱 프로그램을 통해 자동 생성하느냐, 사람이 직접 장비의 경로를 계산하여 G code를 수동으로 작성하느냐의 차이라고 볼 수 있다.



Fig. 4. Slicer Concept (Cura)

2.2 건축 3D 프린팅 출력 시공 사례

본 연구에서는 2010년부터 2019년까지 국내외 건설용 3D 프린터 제작 사례 및 3D 프린터로 건축물을 출력한 사례를 조사하였다. 작은 조형물이나 실험 사례는 제외하고 건축물이라고 할 수 있을 정도의 크기를 출력한 사례를 조사한 결과 약 40여개의 사례가 조사되었으며, 미국, 덴마크, 네덜란드, 프랑스, 이탈리아, 스페인, 슬로베니아, 스위스, 러시아, 중국 태국 등 북미와 유럽을 중심으로 다양한 국가에서 시도되고 있음을 확인할 수 있었다[10-14].



Fig. 5. Building 3D Printing Case

미국 ICON에서는 겐트리 방식의 장비를 활용하여 2018년 주택 Chicon House를 출력하였고 이는 미국 최초 인허가 주택 사례이다. 이탈리아 WASP에서는 델타 방식의 장비와 흙과 석회재료를 활용하여, 주택 GAIA를 출력하였다. 네덜란드의 CyBe에서는 3D STUDIO 2030 프로젝트에서 내력벽과 MEP가 결합된 주택을 출력하였다. 러시아의 Apis Cor.에서는 크레인방식으로 수 차례 출력을 한 바 있으며 최근 NASA와 함께 우주에서 무인건설 관련 연구를 진행 중이다. 국내에서는 코로나에서 겐트리 방식으로 모르타르와 황토를 활용하여 다양한 조형물을 구축한 바 있다. 스페인의 IAAC에서는 보행자를 다리를 출력하였으며, 프랑스의 XtreeE에서는 상대적으로 정교한 조형물을 출력하였다.

과거 조형물 또는 단일 건축물의 출력 사례에서 최근 주택단지, 교량, 실제 인허가를 받은 주택, 실 거주자가 입주하는 사례 등 실제 사용이 가능한 수준에 이르고 있다.

3. 3D 프린팅 설계지원도구 기능 도출

프로그램의 기능을 도출하기 위한 일반적인 방식은 관련 전문가들의 설문조사를 통한 기능 우선순위 도출이나, AHP 기법, Delphi 기법 등이 사용된다. 그러나 건축 3D 프린팅의 경우 국내에서는 초기의 실험적 연구가 진행되고 있는 단계로서, 기존 건설 전문가들이 건축 3D 프린팅을 이해하고 있는 경우가 거의 없고 관련 연구를 진행하는 연구자 정도 뿐이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 정량적 방법으로는 기능 도출이 어렵다고 판단하여, 다음과 같이 3가지 방법으로 설계지원도구 기능을 도출하였다.

첫 번째는 기존 제조업 3D 프린팅 분야에서 사용하는 슬라이싱 및 3D 프린팅 지원 소프트웨어의 기능 분석이다. 두 번째는 이렇게 도출된 기능을 3D 프린팅 전문가 및 건설분야 실무자들과의 전문가 면담을 통해 건설에 적용하기 위해 추가로 필요한 기능을 도출한다. 마지막으로 기존 건축분야에서 발표된 연구 및 구축사례 분석, 그리고 본 연구진에서 개발한 겐트리형 3D 프린팅 장비 실험을 통해 기능을 도출한다.

일반적인 제조업 3D 프린팅의 슬라이싱 프로그램의 기능을 분석하기 위해, Cura, Simplify 3D의 기능을 분석하였다. 분석결과 주요 기능으로는 기존 상용화된 장비 선택 기능, Infill 패턴 적용하여 장비의 경로를 결정하는 기능, 적용된 패턴에 따른 투입 재료량, 출력시간을 산정하는 기능 등이 있다.

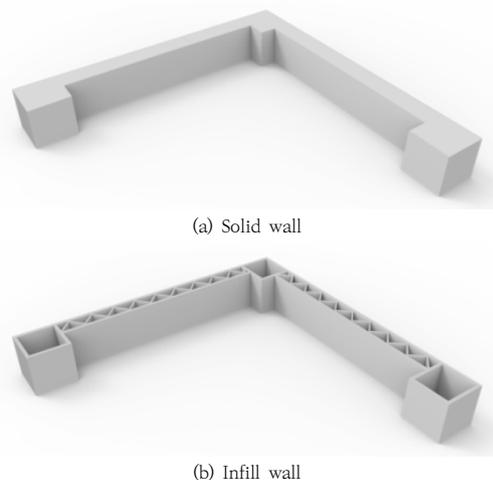


Fig. 6. Infill Pattern Concept

건축용 3D 프린팅 슬라이서에서도 기본적인 기능은 동일하게 필요하다. 즉 Solid 객체를 사전에 정의된 infill 패턴을 적용하여 장비의 경로를 정의해야하고, 장비의 성능에 따른 모르타르 투입량, 출력 시간 산정하는 기능이 있어야 한다. 다만, 건축 3D 프린팅은 현재까지 장비 단독으로 출력하는 방안 보다는 인력으로 보강을 하면서 진행하는 사례가 많다. 따라서 이러한 추가의 공정을 입력할 수 있는 기능이 필요하다. 또한 해당 3D 모델이 특정 3D 프린팅 장비로 출력이 가능한지, 3D 프린팅으로 출력한 구조물이 구조적으로 안정한지 등을 검토해야 한다.

따라서 기존 제조업 분야 3D 프린팅에서는 슬라이서라고 명명하지만, 건축분야에서는 슬라이서의 기능을 포함하여 보다 광범위한 기능이 필요하다. 본 연구에서는 이를 3D 프린팅 설계지원도구로 정의한다.

제조업 3D 프린팅 지원 프로그램의 기능을 건축 3D 프린팅에 적용하기 위해 3D 프린팅 전문가 5명, 건축시공 전문가 6명, 건축설계 전문가 3명으로 구성된 전문가 집단과의 면담을 진행하였다. 건축 시공 및 설계 전문가들의 3D 프린팅에 대한 이해를 돕기 위해 다양한 국외 사례, 3D 프린팅 구동원리, 실제 출력 과정 등을 시연한 후 기능도출을 위한 심층 면담을 진행하였다. 면담과정은 설계자, 시공자 입장에서 3D 프린팅으로 건물을 출력하고자 할 때, 소프트웨어적으로 필요한 기능을 단계적으로 검토하였다. 또한 최근 건축 3D 프린팅 분야에 대한 연구동향 및 구축사례를 분석하고, 본 연구진에서 개발한 장비를 통한 실험과정에서 도출된 기능을 정리하였다.

이러한 방법을 통해 도출한 3D 프린팅 설계지원도구의 주요기능 및 세부역할은 다음과 같다.

(1) BIM 데이터의 불러오기

건축에서는 이미 다양한 3D 모델링 도구와 BIM(Building Information Modeling) 도구가 상용화되어 있다. 이러한 모델링 도구들의 다양한 데이터 형식을 모두 수용하기 어려우므로, 3D 프린팅에 보편적으로 사용하는 STL 포맷을 로딩 할 수 있는 기능이 필요하다.

(2) STL 파일의 무결성 검토

BIM 및 CAD 도구에서 작성한 모델들은 시각적으로는 문제가 없는 듯 해 보이지만, 객체가 중첩되어 있거나, 불필요한 선과 점이 있을 수 있다. 따라서 연재진(2015)의 연구와 같이 STL의 무결성을 검토할 수 있는 기능이 필요하다. 다만 이러한 기능은 기존에 상용화된 핸드 툴

(Handy tool)을 사용하여 해결할 수도 있다.

(3) 3D 프린팅 장비 사양 입력 및 선택

무결성이 확인된 STL 파일의 3D 모델은 실제 장비의 성능에 따라 슬라이싱 된다. 따라서 노즐의 크기 및 형태, 압출량(최대, 최소), 이동속도(최대, 최소), 출력이 가능한 허용 크기(최대, 최소), 출력가능 수평각도 및 수직각도 등을 입력할 수 있는 기능이 필요하다. 또한 상용화된 장비인 경우 별도의 입력과정 없이 장비를 선택할 수 있는 기능도 필요하다. 이렇게 입력된 장비의 사양은 향후 출력가능성 검토 및 출력시간과 재료의 양을 산정하는데 활용 될 수 있다.

또한 장비의 성능에 따라, 노출의 출력부서 일시적으로 압출을 멈출 수 있는지 없는지 등의 정보도 필요하다. 이는 창호 등 개구부를 포함하여 출력할 경우 필요하다. 그리고 노즐의 형태 및 노즐이 회전할 수 있는지의 여부 또한 중요한 장비 사양 정보이다. 그림 6과 같이 노즐이 회전하지 않는 경우 twisting 현상[15]이 발생하여 무너지는 현상의 원인이 될 수 있다.



Fig. 6. 3D Printing Nozzle Rotate Function

(4) 3D 모델의 출력가능성 검토

로딩된 3D 모델이 사용자가 입력 또는 선택한 장비의 사양으로 안정적인 출력이 가능한지를 검토하는 기능이 필요하다. 특히 해당 3D 모델의 수평각도와 수직각도를 분석하여 선택한 장비의 사양으로 출력이 가능한지를 검토하여야 한다.

(5) 인필 패턴 선택 및 적용

기존 제조업분야의 3D 프린팅 과정에서는 다양한 인필 패턴이 개발되었다. 출력물의 형태에 따라 효율적인 인필 패턴을 선택하여 재료의 투입량을 줄이고, 안정적인 구조로 출력할 수 있다. 플라스틱 계열의 필라멘트 재료를 사용하는 경우 그림 7과 같이 육각형, 트러스형, 네모형, 마름모형 등 다양한 인필패턴이 존재한다[17].

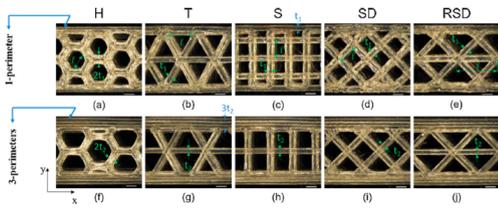


Fig. 7. Infill pattern of Filament[17]

건축의 경우 기존에 발표된 사례를 보면, 벽체를 양 바깥쪽에만 출력하는 2줄 형태가 있고, 그 2줄 사이를 이어주는 형태가 있으며, 일부 사례의 경우 3줄 형태가 있다. 또한 2줄을 이어주는 형태도, 보강재를 넣는 경우와 직선 형태로 트러스로 이어주는 형태, 곡선으로 이어주는 형태 등이 있다.

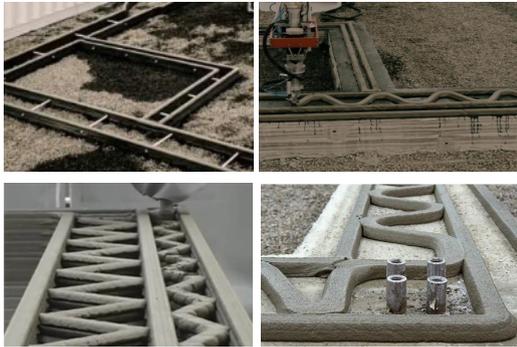


Fig. 8. 3D Printing Wall Patterns

건축 3D 프린팅에서 인필의 패턴은 구조적 안정성과 밀접하게 연관되어 있다. 따라서 인필 패턴에 따라 압축 강도 및 인장강도가 상이하며, 재료배합에 따라 강도는 달라진다. 따라서 인필 패턴별, 재료배합별 실험 및 사례 축적을 통한 부재 패턴별 라이브러리 구축이 필요하며, 이를 3D 프린팅 설계지원도구에 저장하여 사용자가 선택할 수 있도록 하는 기능이 필요하다.

(6) 출력기간 및 물량 산출

출력기간 및 물량산출은 장비 노즐의 이동속도, 압출량 등에 따라 3D 모델 및 인필 패턴을 해석하여 계산될 수 있다. 3D 프린팅 장비의 출력시간 외에 박형진(2018)의 연구와 같이 부지정리, 장비 설치 및 해체, 보강공법 시공, 재료 배합 및 타설 등의 공종을 모두 포함한 공종기간 산출 기능도 필요하다. 이러한 공종들의 재료비, 노무비, 경비가 포함되어 최종적인 물량산출내역이 도출되

어야 한다. 현재까지 3D 프린팅 관련 공종은 표준화 되지 않고 장비의 특성 및 출력물의 형태에 크게 의존하므로, 이를 사용자가 입력할 수 있도록 하는 인터페이스가 필요하다.

(7) 세부 조정 기능

반드시 동일한 압출량과 동일한 이동속도로만 장비를 이동할 수 있는 것은 아니다. 압출량과 이동속도 조절을 통해 형태 변환도 가능하다. 3D 프린팅 설계지원도구에서는 설계자의 다양한 디자인적 시도를 지원하기 위해 압출량과 이동속도 변환을 통해 디자인이 어떻게 달라지는지를 실시간으로 보여줄 수 있는 기능이 필요하다.

그림 9는 본 연구진에서 개발한 3D 프린터 장비(젬트리 타입)로 출력한 구조체이다. 실험 장비의 크기는 폭 2M×1.5M이며, 높이 1M까지 출력 가능하다. 그림 9의 구조체는 초당 100mm의 속도로 이동하였으며, 레이어 간 두께는 10mm이다. 그림과 같이 직각으로 꺾이는 부분(A)에서는 장비의 이동속도가 일시적으로 줄어들기 때문에, 압출량이 동일할 경우 뭉쳐지는 현상이 발생한다. 이를 곡선으로 완만하게 경로를 생성(B)할 경우 이러한 현상을 줄일 수 있다. 또한 C의 경우와 같이 이동속도를 늦춤(초당 50mm)으로써 비드폭이 넓어지는 효과를 줄 수 있다.

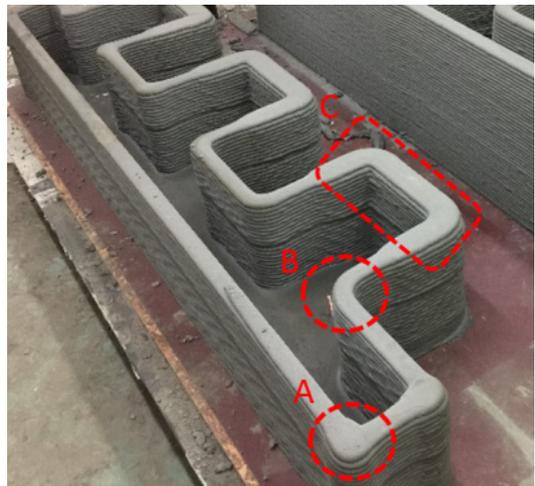


Fig. 9. Change of nozzle speed

지금까지 도출한 3D 프린팅 설계지원도구의 주요 기능을 연결한 흐름도는 그림 10과 같다. 먼저 상용화된 3D 모델링 도구에서 설계자는 3D 모델을 작성한다. 이

를 STL 파일 형태로 변환 한 후, 설계지원도구에서 로딩한다. 기존의 상용화된 3D 프린팅 장비를 사용하는 경우는 DB에 저장된 프린터 목록 중 선택을 하게 되고, 없는 경우 새로운 장비의 사양을 등록한다. 이후 설계지원도구에서는 해당 장비사양으로 출력이 가능한지를 검토한다. 검토 후 문제가 없게 되면, 인필패턴을 선택하여 적용한다. 인필패턴은 다양한 실험 및 사례에서 도출되어야 하므로 이를 등록 할 수 있는 기능이 있다. 그리고 3D 프린팅 출력외에 인력이 투입되어 보강을 하거나, 선행 후행 공정이 필요한 경우 사용자가 직접 입력한다. 마지막으로 3D 프린팅 하는데 소요되는 시간과 재료의 투입량을 확인한다.

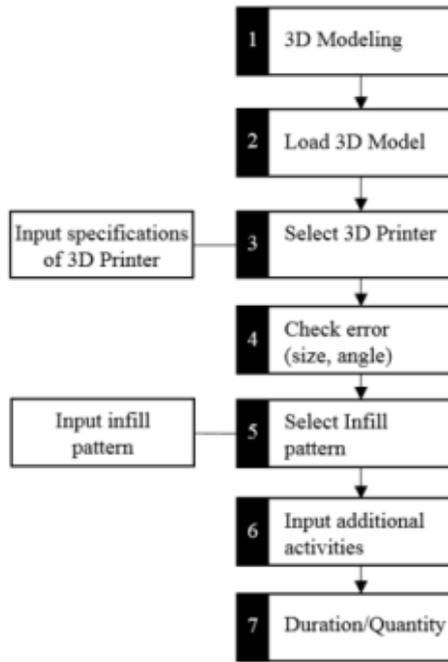


Fig. 10. Process of 3D Printing design support tool

4. 결론

본 연구에서는 건축분야 3D 프린팅 설계지원도구의 필요성을 인식하였다. 따라서 기존 제조업 분야의 슬라이싱 프로그램 분석, 3D 프린팅 및 건축 시공/설계 관련분야 전문가 검토, 기존 건축물 출력 사례 및 관련 문헌 분석, 3D 프린팅 실험 등을 통해 주요 기능을 도출하였다. 도출된 기능들은 (1) BIM 데이터의 불러오기, (2) STL

파일의 무결성 검토, (3) 3D 프린팅 장비 사양 입력 및 선택, (4) 3D 모델의 출력가능성 검토, (5) 인필 패턴 선택 및 적용, (6) 출력기간 및 물량 산출, (7) 세부 조정 기능 등이다.

향후 이러한 기능들을 바탕으로 각 기능들의 세부적인 알고리즘 구축 및 인터페이스 및 시스템 개발이 필요하다. 특히 인필 패턴 적용을 위해 다수의 출력 실험을 통한 재료배합별, 인필패턴별 강도를 축적하여, 라이브러리화 할 필요가 있다.

References

- [1] ASTM F2792-12a, Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies, F42.19, Ed. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2012. Available From: : www.astm.org (accessed Oct. 07, 2019)
- [2] J. Y. Shin, J. S. Won, K. B. Ju, M. B. Seo, H. J. Park, The Perception of 3D Printing Technology for Adoption in Domestic Architecture Industry, *Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol.18, No.11, pp. 731-739, Nov. 2017
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.11.731>
- [3] Keating, S. J., Leland, J. C., Cai, L., Oxman, N., "Toward site-specific and self-sufficient robotic fabrication on architectural scales", *Science Robotics*, 2, eaam8986, 2017.
- [4] Wu, P., Wang, J., & Wang, X., "A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry", *Automation in Construction*, 68, p.21-31, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.005>
- [5] K. B. Ju, M. B. Seo, H. J. Park, "A Development of Work Breakdown Structure and Link to Standard Estimation System for 3D Printing Building", *Journal of the Korea Academia-Industrial*, Vol.19, No.12, pp.702-708, Dec. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.12.702>
- [6] 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 the Korea Academia-Industrial*, Vol.18, No.12, pp.200-207, Dec. 2017.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.12.200>
- [7] S. J. Jung, T. H. Lee, "Study of Trends in The Architecture and The Economic Efficiency of 3D Printing Technology", *Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol.15, No.10, pp. 6336-6343, Oct. 2014
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.10.6336>
- [8] J. J. Yeon, *A Study Converting BIM Data into 3D Printing Data*, Master's thesis, University of Seoul,

Seoul, Korea, pp.19-20, 2015.

- [9] Ultimaker-cura, <https://ultimaker.com/> (accessed Oct. 07, 2019)
- [10] 3DPrinthuset, <https://cobod.com/bod2/> (accessed Oct. 07, 2019)
- [11] WASP, <https://www.3dwasp.com/> (accessed Oct. 07, 2019)
- [12] ICON, <https://www.iconbuild.com/technology> (accessed Oct. 07, 2019)
- [13] CyBe, <https://cybe.eu/3d-concrete-printers/> (accessed Oct. 07, 2019)
- [14] Apis Cor., <https://www.apis-cor.com/> (accessed Oct. 07, 2019)
- [15] T. A. M. Salet, F. P. Bos, R. J. M. Wolfs, Z. Y. Ahmed, "3D concrete Printing - A structural Engineering Perspective", *Proceedings of the 2017 fib Symposium*, pp.51-57, Jun. 2017
DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-59471-2>
- [16] R.J.M. Wolfs, F.P. Bos, T.A.M. Salet, "Early age mechanical behaviour of 3D printed concrete: Numerical modelling and experimental testing", *Cement and Concrete Research*, Vol.106, pp.103-116, Apr. 2018
- [17] C. Lubombo, M. A. Huneault, "Effect of infill patterns on the mechanical performance of lightweight 3D-printed cellular PLA parts", *Materials Today Communications*, Vol. 17, pp.214-228, Dec. 2018
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2018.09.017>

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

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

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 선임연구원

<관심분야>

3D 프린팅 건설, 건축, 건설관리, BIM, 가상현실