

특집

3D 프린팅과 건설산업

3D 프린팅의 진화 - 건축 · 건설이 제조업화하나

강 태 옥 | 한국건설기술연구원 수석연구원
laputa9999@gmail.com

제조부문의 혁신, 3D 프린팅

3D 프린터에 관한 해외 언론보도가 나온 지 2년이 되어 가는 시점에서 다시 3D 프린팅 기술을 건설에 적용하는 것이 어떤 의미를 지니고 있는지, 또한 어떠한 한계가 있는지를 조망해보려 한다. 언론에서도 여러 번 보도된 바와 같이 3D 프린팅 기술을 이용해 간단한 생활용품부터 장난감, 자전거, 디자인 소품까지 집에서 간단히 3D 프린터로 제작해 활용하는 모습이 소개되었다. 총기 3D 모델을 다운받아 3D 프린터로 보내 만든 총을 실제로 사격할 수 있는 정도로 완성하여 사회적 문제가 되기까지 했고, 3D 프린팅 규제 법안도 만들어야 한다는 여론이 형성되기도 하였다.

지금까지는 대규모 설비를 가진 대기업 공장에서

찍어낼 수밖에 없었던 제작품들이 이제는 약간의 비용으로 시간을 들이면 본인이 만들고 싶은 것들을 만들어낼 수 있는 시대가 된 것이다. 실제 3D 프린터의 가격은 처음 조립식 제품인 Cube의 경우 1,300달러였던 것이, 최근 20만원대까지 내려가고 있다. 재료도 단가가 많이 내려가 1kg에 몇 만원 정도에서 구입할 수 있다. 3D 프린팅 기술은 제품 기획부터 개발까지 전 생애주기 시간을 획기적으로 줄일 수 있으며, 재료도 금속, 도자기, 유리 등이 가능하기 때문에 산업용 등급 제품도 개발할 수 있다. 모두가 계획 · 설계부터 구현 · 사용까지 모든 프로세스를 경험할 수 있는 예술가, 공예가, 연구자, 개발자, 제조업자, 건축가가 될 수 있는 것이다.

3D 프린팅은 제조 분야의 혁신이라 할 수 있다. 이

는 대중화된, 즉 가격이 저렴해지고 3D 프린트 제품 완성도가 높아진 데다, 디지털 기반 인프라의 보급, 가상 3D 모델링을 만들 수 있는 스케치업과 같은 툴들을 무료로 사용할 수 있게 된 결과라 할 수 있다.

2013년 2월 유니언 연설에서 오바마 대통령은 3D 프린팅 기술은 미국 경제 성장을 촉진할 것이라고 하였으며, 3D 프린트 산업 발전을 촉진할 기술의 중요성을 강조했다. 제조업을 일본, 한국, 중국에 놓쳐 버린 미국은 고용 부문과 관련해 크게 기대를 거는 모습이었다. 디지털 소프트웨어 기술은 아직 미국이 큰 경쟁력을 가지고 있고 이 기술을 기반으로 한 3D 프린팅 기술은 미국에 유리하다는 판단을 하고 있는 듯하다. 3D 프린팅 공공·민간 분야 협력 기관이 만들어지고 있는데, 이 그룹에는 록히트 마틴, GE, 노스롭 그룹사 및 미국 유명 대학 연구소 등이 포함되어 있다.

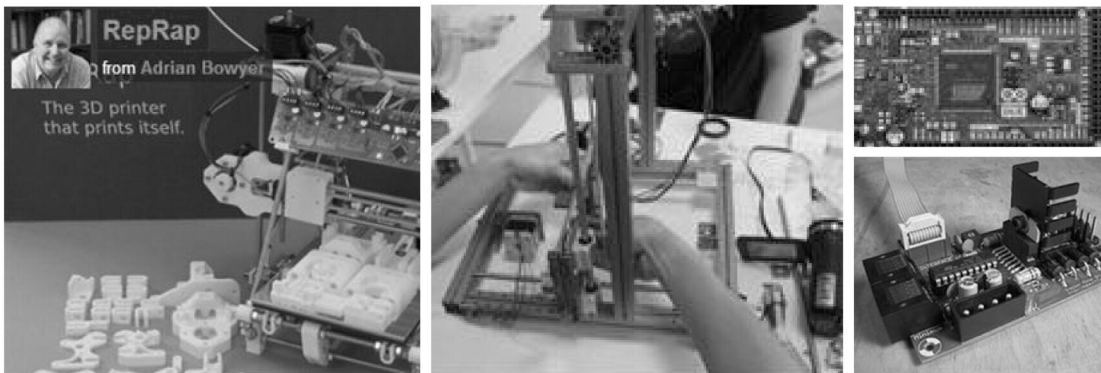
언론에 소개된 3D 프린팅 기술은 그 원리가 생각보다는 간단하다. XYZ 3축을 움직일 수 있는 구동축을 스테핑 모터를 통해 움직이며, 그 움직임을 아두이노(arduino)와 같은 소형 컴퓨터를 통해 제어한다. XYZ축의 움직임을 재료를 쌓아서 만드는 적층형, 깎

아서 만드는 절삭형, 레이저 등으로 재료를 녹여서 만드는 응고형 등에 따라 달라진다.

적층형은 노즐에서 출력되는 재료를 등고선 형태로 XY축을 통해서 제도하듯 그려 나간다. 적층하는 두께는 노즐에서 출력되는 재료의 두께에 따라 다르며, 이는 재료가 식으며 응고될 때 줄어드는 두께도 함께 고려해야 한다. 만약, 재료의 일부가 중공 형태로 떠 있는 구조인 경우, 서포트와 같은 지지대를 출력하고, 그 위에 재료를 적층해야 구조가 무너지지 않는다.

절삭형은 적층형의 노즐 부분이 드릴로 대체된다. 단단한 재료를 드릴로 깎아서 만들며, 3축으로는 한 쪽 면으로 가공할 수 있다. 360도 가공을 위해서는 제조업에서 사용되는 6축 로봇을 이용한 가공 기술이 필요하다. 절삭형은 드릴 말단을 잘못 제어할 경우, 원재료 자체가 크게 손상되고 안전의 위험도 있으므로, 미리 가공 시뮬레이션을 통해 올바른 제어가 되었음을 확인하고 가공을 진행하는 경우가 많다.

응고형은 적층형에 비해 좀 더 정밀한 가공이 가능하다. 노즐 부분이 레이저 발광부로 대체된다. 파우더 형태의 재료를 레이저 등으로 가열해서, 해당 재료를 녹여서 응고함으로써 형상을 만들어 나간다. 재료를



좌로부터 오픈 소스 기반 3D 프린터 개발 사이트(<http://reprap.org/>), DIY 개발 사이트(<http://www.makeblock.cc/>)와 오픈 소스 하드웨어 컴퓨터 아두이노(arduino) 및 모터 구동 드라이버.

특집 3D 프린팅과 건설산업



2014년 3D 프린팅 주택(Dara Kerr, 2013. 1. 21). Rapid Construction, China Style : 10 Houses in 24 Hours(THE WALL STREET JOURNAL, 2014. 4. 15).

녹여 응고시키므로 재료의 밀도가 높아져 단단하고 표면이 매끄러운 가공이 가능하다. 하지만 재료와 장비가 비싼 경우가 많다.

앞서 언급한 유형들은 각 구동축을 제어할 때, STL과 같은 벡터 형태 포맷을 받아들여, 노즐이나 드릴 말단의 3차원 위치를 제어하는 방식이 3D 프린터 자체 내에 내장된 소형 컴퓨터에 구현되어 있다. STL과 같은 벡터 자료가 저장된 파일은 스케치업과 같은 일반적인 3D 모델러에서 모델링한 후 변환할 수 있다. 원리적으로 보았을 때 레이저 절삭기에 사용되는 CNC(Computer Numerical Control), 산업용 로봇 6축 제어와 동일한 기술이 사용된다. 특히, 적층형 3D 프린팅 기술은 도구와 방법들이 대부분 오픈 소스화 되어 있어, 일반인들이 오픈 소스 소프트웨어와 하드웨어를 이용해 저렴한 가격으로 조립해 사용하는 경우도 많으며, 3D 프린터 제작 교재들도 출판되어 있을 정도로 대중화된 상황이다.

가공 시간과 밀도에 따라 가공된 결과물의 품질은 높아지며, 상품성이 필요한 제품을 만들기 위해서는 3D 프린팅할 제품의 크기에 따라 수 시간에서 수 일 이상의 기간이 걸리는 경우가 빈번하다. 표면 연마 등

후처리 가공이 필요한 경우가 많다. 현재, 건설에서 3D 프린팅 기술 및 사례로 많이 알려져 있는 것은 상대적으로 기술이 오픈되어 있고 구현이 쉬운 적층형 기술이다.

건설과 3D 프린팅 기술

건설과 3D 프린팅 기술의 관계를 최근 예를 들어 살펴보고자 하자. 해외 언론보도에 의하면 Janjaap Ruijssenaars 건축가는 2014년 3D 프린트 주택을 시공하여 완공하는 프로젝트를 진행하고 있다. 2년 안에 완공하는 것을 목표로 하고 위 그림과 같은 형태의 건축물을 디자인하였다(Dara Kerr, 3D 프린터 to carve out world's first full-size building. A Dutch architect sets to work creating a two-story "Landscape House" built entirely from a 3D프린터, CNET, 2013. 1. 21). 제안 모델에서는 피비우스 띠와 같은 형상을 가지고 있으며 한쪽 면이 천장과 바닥이 되는 디자인이다. 이와 관련해 유럽 15개 국가가 주요 건축가들이 2년 동안 이 프로젝트에 참여할 것으로 발표되었다. Winsun New Materials사(중국)는 3D 프린팅 하우스를 시공하였으며, 적층식 프



D-Shape 프린터로 프린팅한 비정형 건축물(D-Shape).



Contour craft 기술과 Michael Dunham, Rapid Manufacturing and Prototyping with Concrete(Digital Design and Manufacturing, 2012. 8. 1).

린팅으로 벽체를 만들어 조립하였다. 벽체는 유리섬유와 시멘트를 혼합해 만든 재료 등을 이용해 프린팅하였으며, 10채의 집을 24시간 동안 시공하였다고 발표했다. 앞서 언급한, 3D 프린팅 주택에 사용할 D-Shape이란 기술은 이탈리아 발명가 Enrico Dini가 개발하였으며, 사람의 개입 없이 Full-Size Sandstone 빌딩을 건축할 수 있는 기술을 보유하고 있다고 밝히고 있다.

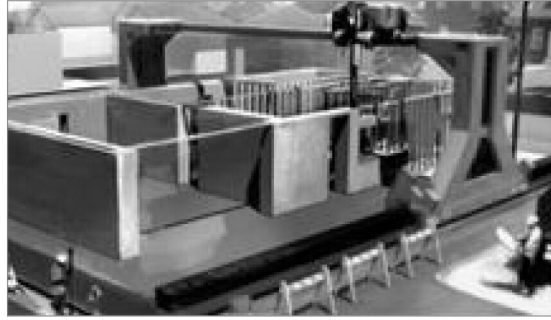
3D 프린팅의 활용은 인간의 상상력을 자극하는 속성이 있다. 가상 객체 공간에서 실제 현실로 객체를 사영하여 찍어내 맵핑하는, 시공을 초월한 객체 정보 전송 기술 같은 느낌을 준다. 이런 관점에서 BIM은 3D 프린팅 기술과 관련성이 높은 기술이다. 위 사진

은 이 기술을 이용해 재료를 적층하는 형태로 프린팅하는 모습을 보여주고 있다.

다음 사진은 TED에서도 발표되었던 3D 프린팅 기술을 사용한 달 기지 건설 프로젝트다. 이 프로젝트는 유럽과 미국 NASA, 주요 대학 연구진에 의해 진행되고 있다(ESA, Foster + Partners).

여기에 참여하고 있는 연구진들은 달의 흙이 블록을 찍어낼 수 있을 만큼의 재료적 속성을 지니고 있다면 3D 프린팅 기술을 이용해 달 기지를 비용 효과적으로 건설할 수 있다고 생각하고 있다. 이와 관련해 이전 테스트에서 달의 흙을 이용해 1.5톤의 빌딩 블록을 목업하는 시뮬레이션을 수행하였으며, 이를 3D 프린팅 로봇이 수행할 수 있도록 하는 기술을 연구하고

특집 3D 프린팅과 건설산업



moonbase construction project using 3D 프린팅(Charlie Osborne, Next up for 3D 프린팅 : a moonbase?, CNET, 2013. 2. 1).

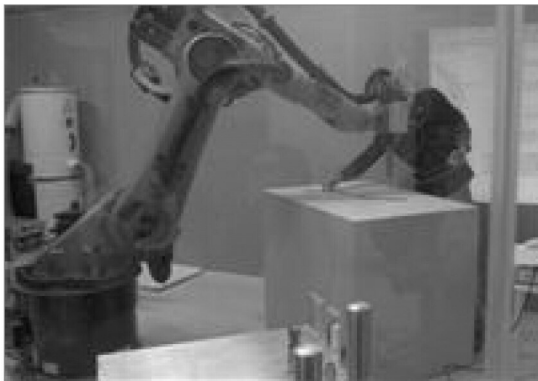
있다.

이와 같이 우리는 건설과 건축이 제조업화되는 시점에서 있다. 차량 제조 공장에서 사용되는 산업용 로봇이 디자인과 건축에 프로토타입으로 적용되고 있다(Arch daily, 5 Robots Revolutionizing Architecture's Future). 아래 사진에서 보듯, 화면 뒤로 로봇을 제어하는 스크립트 코드가 보인다. 그 아래에는 Rhino의 Grasshopper 컴포넌트인 KUKA/prc를 이용해 로봇을 제어하여, 프로토타입을 만들고 있다. 3D 프린팅 기술은 크게 보면, 이와 같은 로봇틱스 기반 디자인·시공 기술의 하나이다.

참고로, 로봇틱스 기반 시공은 이미 자동화 시공을

실현하려는 많은 개발자와 연구자들에 의해 다양한 형태로 구현되고 있는데, 최근 이슈가 되고 있는 쿼드콥터와 같은 UAV(Unmanned Aerial Vehicle) 기반 연구들은 3D 프린팅과 또 다른 시공 자동화의 통찰을 주고 있다. 그럼에도 불구하고 3D 프린팅 기술이 많은 가능성이 있으나, 건설 분야에 적용하기 위해서는 아직 다음과 같은 기술의 개선이 필요하다.

1. 적절한 강도와 경화 속도를 가진 다루기 쉬운 3D 프린팅 재료
2. 효과적인 3D 모델 패널 변환 및 적층 변환 기술
3. 3D 모델링 및 비정형 스크립팅 기반 모델링 기술



Robots Revolutionizing Architecture's Future(Arch daily, 2013. 2) 기사와 Visual, modular robot programming and direct simulation using KUKA/prc and Grasshopper(<http://www.robotictomorrow.com>) 기사 일부 이미지.

- 4. 효과적인 3D 프린팅 노즐 경로 및 패턴 처리와 사전 제작 부재-Prefabrication 연계 건설 기술
- 5. 3D 프린팅 전/후 검증 기술
- 6. 프린팅 후처리 기술
- 7. 로보틱스 기술
- 8. 기타 관련 기술과 연계시 문제-BIM, 모듈러 시공, 역설계 기술 등

몇몇 기술들은 대부분 오픈 소스화되었고 대중화되어 있지만, 아직 3D 프린팅을 위한 적절한 구조, 재료 및 시공 방법을 찾는 것은 큰 이슈이다. 국내에서는 모듈러 기술 연구단 등 시공 자동화와 관련된 연구들에서 시범적으로 적용해본 사례가 있으며, “건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계 기술 개발 기획(진흥원), “3D 프린팅 기반의 차세대 건설 융합 기술 개발(한국건설기술연구원)” 등의 국가 R&D 과제가 기획 중에 있다.

고려해야 할 사항은

3D 프린팅 기술이 무엇인지, 현재 어떻게 전개되고 있는지, 관련 사례와 기술에 대해 이야기해 보았다. 3D 프린팅 기술을 건설에 적용할 때, 다음과 같은 부분을 고려할 필요가 있다.

첫째, 3D 프린팅 건설의 ROI이다. 가끔, 우리는 무조건적인 기술 예찬으로 가장 기본적인 것들을 놓치는 경우가 있다. 3D 프린팅 건설은 아직은 그 결과물의 구조적 문제, 미적 문제, 재료적 문제 등으로 한계가 많은 기술들이다. 이 기술이 효과적으로 쓰일 수 밖에 없는 왜곡이 심한 비정형 모델, 극한지와 같이 노동력을 동원하기 어려운 프로젝트, 시공 품질이 크게 문제 되지 않는 프로젝트, 모듈러 및 사전 제작 검

토용 목업(mockup), 건설 교육 등과 같이 기술을 적용할 때 의미를 찾을 수 있는 곳을 찾아서 우선 적용해보는 것이 필요하다. 좋은 프린팅 건설 재료가 개발되었더라도 시공 비용이 비싸고 품질에 하자가 발생한다면 ROI는 떨어질 수 있다.

둘째, 사용성과 환경의 고려다. 3D 프린팅과 같은 건설 자동화를 위한 로보틱스 기술은 사용 목적과 환경에 따라 그 구조, 재료 및 프로세스가 크게 달라질 수 있다. 시공하는 환경에 맞는 재료적 특성이 뒷받침되지 않은 상태에서 급하게 3D 프린팅 기술을 응용하려 한다면 많은 문제가 발생할 것이다. 콘크리트 재료라면 양생 온도와 속도는 주변 기온 등 환경에 크게 영향을 받는다. 건설에 사용하는 3D 프린터의 하드웨어도 규모 및 시공 지역에 따라 설치, 관리 및 해체가 큰 이슈가 될 수 있다. 주거 용도라면, 구조적 문제가 없이 창문과 같은 개구부, 난방을 위한 배관, 공조, 배선, 마감 등은 어떻게 처리할지도 고려해야 한다.

셋째, 기술의 전략적인 활용 문제다. 3D 프린팅 기술도 로보틱스 기반 건설 자동화 기술 중 하나이다. 3D 프린팅 기술을 좀 더 크게 바라보고 응용하는 시도가 필요하다. 만약, 적층식의 시공이 문제가 있다면, 로보틱스 시공 기술 중 하나로 모듈러 등 다른 적절한 방식으로 시공 자동화를 고려할 수 있을 것이다. 이런 기술들은 기존에 많이 연구되고 있고 일부 응용되고 있다. 굳이, ROI가 떨어지는 영역에 적층식, 절삭식 3D 프린팅 기술만을 고집할 필요는 없다.

3D 프린팅 기술은 건설을 하는 사람 입장에서는 매력적으로 다가온다. 이 기술 또한 적합한 영역에서 합리적으로 사용할 때 사회적 의미를 찾을 수 있을 것이다. CERIK