

3D Printer – 건설 생산방식의 혁신



문현석 한국건설기술연구원 ICT융합연구실 수석연구원

1. 건설분야 3D Printing 기술 적용 필요성

최근 새로운 형태의 디지털 생산방식인 3D Printing 기술이 각광을 받고 있다. 미국의 시사주간지 Times와 CNN은 2012년과 2013년에 3D 프린터를 최고의 발명품으로 선정하였고, 다양한 방송매체나 Wired지와 같은 잡지들은 3D 프린터의 관련 기사를 양산하여 3D프린터 기술의 확산에 촉매역할을 하고 있다.



그림 1. CNN에 소개된 2013년도 최고 기술 (3D Printer)

특히 앨빈 토플러는 ‘부의 미래’에서 3D 프린터 기술은 상상 그이상의 무엇이든 만들 수 있는 강력한 창의적 생산 도구로 예측하였다.

이러한 가운데 건설 분야에서는 3D 프린터를 활용한 건축물 모형 시공, 철근 사출 및 콘크리트 블록 생성 등의 분야에 기술을 적용하기 위한 다양한 기술적 시도를 하고 있다. 건설은 현장에서 주로 거푸집에 의한 콘크리트 타설을 통해 주요 구조물을 만드는 아날로그 생산방식을 따른다. 향후 건설 생산방식은 모듈화를 통한 설계 및 시공프로세스를 추구하므로, 구조물의 급속 시공, 동일한 형태의 반복적 시공을 통

한 생산성 증대를 위한 미래 시공방식의 대안으로 3D 프린터가 주목을 받을 수 있을 것이다. 이에 본 고에서는 3D 프린터의 기술 및 동향을 알아보고, 국내외에서 진행 중인 건설 분야의 3D 프린터 기술 및 적용 사례를 살펴본 후 향후 건설 시공환경에서 3D 프린터를 활용하기 위해 요구되는 다양한 이슈의 검토 및 응용 서비스 모델을 제시한다.

2. 3D Printing 기술 및 동향

1) 3D 프린터 개요 및 작동방식

3D 프린터는 1984년 미국의 발명가인 Charles W. Hull에 의해 개발된 기술이며, 3D 시스템즈의 설립과 함께 주요 핵심 기술을 개발하기 시작하였다. 1986년 액체 플라스틱 소재를 연속적으로 층을 쌓는 방식으로 고형의 물체를 인쇄하는 기술인 Stereo Lithography Apparatus (SLA)라는 방식의 기술을 개발하여 특허를 출원하고 1998년 이 기술을 최초로 상용화한 신속조형 기술 시스템을 개발하였다.



그림 2. MakerBot사의 Replicator_2 3D 프린터 (MakerBot Co., 2014)

3D 프린터는 기존 CNC와 유사한 구조를 갖는다. 최근 Fused Deposition Modeling(FDM)의 3D 프린팅 방식이

이미 특허가 만료될 예정이어서 레이저 소결방식은 2014년 특허가 만료되고, 관련 기술을 적용한 다양한 3D 프린터 시장이 더욱 활성화 될 것이다. 3D 프린터는 프레임에 장착된 베드와 압출기(분사노즐), 압출기의 위치를 조정하는 스테퍼 모터 및 이들을 전자적으로 제어하기 위한 제어보드로 구성 될 수 있다. 여기서 압출기는 3D 프린터의 핵심 부품으로서 원료를 노즐을 통해 공급받고 이를 녹여서 제품이 생성되는 베드에 쌓는 역할을 담당한다.

3D 프린터를 활용하여 실제 제품을 제작하는 방식은 Autodesk 123D와 같은 3D모델링 프로그램을 통해 새로운 3차원 모델을 구축하고 3D 프린터가 인식할 수 있는 포맷으로 변환한다. 그런 다음 이를 3D프린터로 전송하고 제어보드에 의해 입력된 데이터를 기반으로 모델에 맞게 소재들을 층을 연속적으로 쌓아가면서 실제 제품처럼 물리적 형태로 완성해 나간다. 마지막으로 후처리과정을 통해 최종 제품을 완성한다. 이러한 과정은 프린터 압출기의 x, y, z 움직임을 제어하면서 위치를 조절하여 제품화된다. 이를 기반으로 제품형식 및 사용분야에 따라 다양한 기술이 적용되고 있다. 재료를 녹여 층층이 쌓아서 만드는 광경화 수지조형 방식, 금속 분말(파우더)과 같은 고온 가루를 사용하여 층을 아래로 쌓아가면서 레이저로 응고시켜 출력하는 선택적 레이저 소결 조형 방식 및 열가소성 플라스틱 소재를 노즐에서 녹여 얇은 층으로 적층시켜 제품을 완성하는 용융수지 압출 적층 조형방식으로 구분된다. 이러한 방식들은 사용하는 제품의

특성에 따라 달리 적용할 수 있으며, 사용되는 재료가 무엇 이냐에 따라 그 활용범위가 광범위하다. 주로 사용되는 재료 는 물성에 따라 ABS, PLA 수지, 금속, 세라믹 등 다양하며, 최근 건축용 콘크리트 블록을 제작하기 위한 재료를 개발한 사례도 있다.

2) 일반산업 분야 적용 현황

3D 프린터의 활용범위에는 한계가 없는 듯하다. 최근 다 양한 매체들을 통해 여러 분야에 3D 프린터를 적용한 새로 운 창의적인 아이디어 제품과 기술을 쏟아 내고 있다. 최근 Youtube를 통해 소개된 3D 프린터를 활용하여 Urbee II라 는 자동차를 개발하였으며, 우주인을 위한 식품을 개발한다 거나, 인체 조직을 프린트하여 인공 귀나 턱뼈 및 손가락 등 사람의 인체 및 손상부위를 대체하는 기술을 실용화하는 단 계에까지 이르고 있다.



그림 4. 3D Printer의 대표적 적용 사례

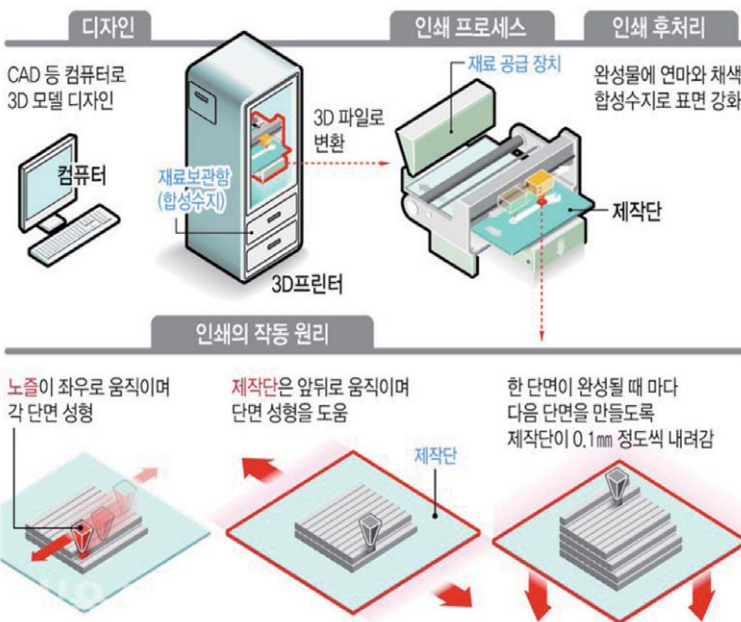


그림 3. 3D Printer의 작동원리 (3D Systems 및 연합뉴스 2013)

3. 건설분야 3D Printing 동향 분석

이와 같이 다양한 산업분야에 3D 프린터를 적용하는 가운데 건설 분야에서 이를 새로운 건설

생산방식으로 적용하기 위한 관련 기술의 개발과 실제 건축물을 축조하는 관련 프로젝트들이 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다.

1) 국내 적용 현황

2006년 경희대학교에서는 교육 및 연구차원에서 3D 프린터를 활용한 건축 설계안의 물리적 모형 구축을 시도한 사례가 있다. 주로 건축물의 축소화된 목업 모델을 제작하거나 소형 시제품 개발 및 제품 복원을 위한 사례가 주를 이루고 있다. 이와 같이 국내건설 분야에서는 아직 초보적인 기술 적용단계로서 실제 스케일의 건축물을 짓거나 교량 시공에 관한 3D 프린터 적용 연구는 현재 진행된 사례가 미흡하다. 최근 국내의 한 건축 모델링 서비스 업체는 용산지구 전체의 개발 지역을 3D 프린터를 사용하여 축적 모형을 제작한 바 있다.

2) 국외적용 현황

네덜란드 암스테르담에 위치한 Universe Architecture라는 건축회사는 2014년 말에 세계최초로 3D 프린터를 활용한 실물 크기의 건축물인 Landscape House를 완성하겠다는 야심찬 프로젝트를 준비하고 있다. 여기에 D-Shape라는 3D 프린터를 활용하고 있으며, 약 600만 달러의 비용이 들 것으로 보고하고 있다. 그리고 영국의 Loughborough University에서는 건축의 Freeform시공을 위해 필요한 구조물을 만들기 위해 콘크리트를 재료로하는 3D 프린팅 기술을 활용하여 실물크기의 빌딩 Component를 개발한 사례가

있다.

특히, Southern California 대학의 Behrokh Khoshnevis 교수는 3D 프린팅 기술을 탑재한 Contour Crafting이라는 건축용 로봇을 개발하여 대형 건물을 실제 스케일로 만들어 내기 위한 실제 프로젝트를 수행하고 있다. 이는 로봇에 탑재된 노즐의 프린트 헤드로부터 섬유보강 시멘트를 재료로 하여 압출기로부터 압력을 가해 벽체 등의 콘크리트 제품을 만들어내고 있다. 이를 실현하기 위한 프로토타입을 개발하였으며, 실제 시공 프로세스를 구현하기 위한 시뮬레이션 모델도 개발한 바 있다. 여기에는 기타 건축자재들도 동시에 시공할 수 있는 기술을 포함하고 있다. Khoshnevis는 이 기술이 완성되면 20시간 안에 한 채의 집을 지을 수 있다고 공언하고 있다.

2011년 영국의 Markus Kayser는 사막에 적합한 3D 프린터를 개발하고 적용하기 위한 Solar Sinter Project를 진행하고 있다. 그는 사막의 모래를 재료로 하여 태양빛을 모아 모래를 녹여 제트 분사 시스템으로 분사한 다음 액체 접착제로 굳혀 건물을 만들 수 있는 3D 프린터를 개발하였다. 이 기술은 풍부한 모래와 강한 태양이 있는 곳이면 어디서든 적용할 수 있는 특징이 있다. 만약 모래로부터 유리를 추출하여 이를 녹여 유리가 필요한 건축부재를 만들 수 있다면 더욱더 유용한 가치를 창출할 수 있을 것이다. 이와 유사한 방식으로 진행 중인 프로젝트로는 스페인의 Stone Spray Project가 있다. 이는 모래와 같은 흙을 재료로 활용하는 로봇으로서 모래를 표면에 분사하고 이를 응집하기 위해 응고제를 혼합하는 방식을 활용한다. 이를 통해 실제 크기의 건



네덜란드 Universe Architecture의 건축용 3D Printing 사례
(www.universearchitecture.com2014)

영국 Loughborough University의 비정형콘크리트 벽체용 3D Printing 구현사례
(www.buildfreeform.com2014)

미국 Southern California 대학의 Contour Crafting 3D프린터 로봇 활용 예
(www.contourcrafting.org2014)

스페인 Stone SprayProject에 의한 3D Printer 구현사례
(www.stonespray.com2014)

그림 5. 건설분야 3D 프린터 해외 적용 사례

축물 객체를 만들었으며, 모래와 태양광에 의한 적은 양의 에너지를 소비하여 LEED인증을 받은 대표적인 사례이다. 이러한 기술들은 3D프린팅의 유사한 프로세스를 통해 달에 구조물을 건설하는 파일러 프로젝트를 시도해볼 수 있을 것이다.

이 외에도 미국의 웨스트 버지니아 공과대학(WVU)의 Bill Javins와 Jim King교수는 주의사당의 행사 진행시 주지사 및 타 주요 인사의 경호와 안전 계획을 수립할 목적으로 주의사당 캠퍼스 모형을 해당 경호팀으로부터 요청받아 3D Mock up 모델을 구축한 사례가 있다.

4. 건설분야를 위한 3D Printer 응용서비스 모델

상기의 건설 분야 3D프린터 기술은 인간의 삶에 유용한 창의적 가치를 만드는 도구로 활용되며, 건설의 새로운 디지털 생산방식으로 전환될 수 있는 기반이 된다. 이를 활용하기 위한 다양한 서비스 모델을 개발하고 일부 기술적 개선이 이루어진다면 작업자의 안전을 확보한 무인화된 시공현장을 구축할 수 있고 획기적인 시공기술로 자리잡을 수 있다. 건설분야의 주요 서비스모델은 다음의 영역에서 적용될 수 있다.

1) 피난민을 위한 임시거주시설 구축

만약 초대형 태풍이나 지진 및 쓰나미에 의해 피해를 입은 피난민을 수용하기 위해 거주지를 신속하게 구축하기 위한 기술로 활용될 수 있을 것이다. Southern California 대학에서 개발한 Contour Crafting이라는 로봇을 이용할 경우 동일한 건축물을 신속하게 원하는 위치에 만들 수 있다. 이를 위해 콘크리트 벽체설계 및 지붕구조의 단순화를 통해 설계모델을 간략화하고 관련 부재들의 설치를 위해 로봇을 동시에 활용할 수 있다면 임시 피난시설의 효율적 시공과 기반시설의 조기 구축이 가능해진다. 이러한 경우 크레인 형태의 콘크리트 압출기와 콘크리트 타설 펌프 및 노즐 등이 필요하고 구조물 프린팅 동안 신속하게 강도를 가질 수 있는 새로운 재료에 의한 배합설계가 요구된다.

2) 교량의 모듈형 Segment 시공 분야

현재 PSC 거더교 등 공장 제작을 통해 만들어지는 교량 Segment의 경우 해당 3차원 모델을 표준화하고 3D 프린터를 통해 제작한다면 모듈로 다수의 Segment를 동시에 시공할 수 있다. 특히 3D 프린터를 통한 시공이 가능하도록 교량

의 설계기술을 개선하여 고강도의 경량화된 구조를 만들 수 있다. 또한 현장에서 사장교와 같이 Cable에 연결되는 상판 구조가 시공될 경우 데릭크레인과 같은 구조를 변경하여 이를 3D Printer용 로봇으로 대체한다면 현장의 급속시공을 가능하게 하며, 별도의 Segment 제작장이 필요 없이 시공할 수 있어 공사비를 절감할 수 있는 효과가 있다. 또한 시공의 무인화를 구현할 수 있을 것이다.

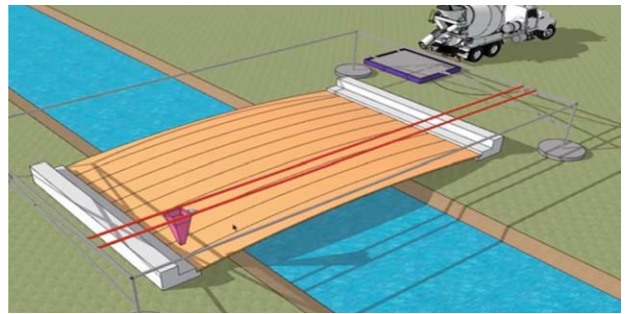


그림 6. 교량의 3D Printer 적용 시뮬레이션
(www.tallbridgeguy.com 2014)

3) 도로의 급속 포장 기술

최근 도로 포장기술의 발전과 함께 급속포장 및 도로 포트홀(Pot Hole)과 같은 손상을 최소화하거나 이를 효율적으로 유지관리할 수 있는 기술에 관한 연구들이 진행되고 있다. 특히 도로의 시공시 포장단계에서 콘크리트 및 아스팔트 피니셔나 크롤러 장비를 필수적으로 활용하고 있다. 그러나 이를 대체할 수 있는 3D Printer 형태의 급속 포장 로봇을 개발한다면 기존 기계가 단지 얇던 부분까지 정밀한 포장을 가능하게 할 것이다. 또한 롤러와 같은 다짐 장비가 필요 없게 될 수 있으므로 시공의 효율성을 가질 수 있게 된다. 특히 급속 포장 재료의 개발과 함께 포트홀 부분을 신속하게 유지보수할 수 있는 기술로 적용될 수 있을 것이다.

4) 건설 유지보수 분야

건설 유지보수 분야에서는 노후 교량이나 도면이 존재하지 않는 시설에 대해 레이저 스캐너를 통해 복원된 3차원 모델링을 활용하여 해당 손상 부위를 대체할 수 있는 3D 프린팅된 보강부재 및 구조물을 신속하게 만들 수 있다. 3차원 스캔과 동시에 물리적 구조물을 만들어 내므로 유지보수에 필요한 부재를 신속하게 제작하는데 활용될 수 있을 것이다. 이를 위해 급속경화 시멘트나 세라믹 재질의 건설용 재료의 개발이 필요하다.

5) 건설용 3D Printer 로봇 개발

건설분야에 3D Printer를 활용하기 위해서는 적용 대상 시설 및 공법에 맞는 새로운 로봇의 개발이 필요하다. 최근 자동차 제작에 활용하는 산업용 로봇을 건설용 로봇 팔로 제작하여 곡면을 갖는 다양한 비정형 형상의 콘크리트 벽체를 신속하게 구축할 수 있는 3D 프린팅 기술이 개발되고 있다. 건설용 3D Printer는 이동성이 용이해야 하므로 차량에 탑재할 수 있는 수준의 경량화와 최적 설계가 필요하다. 건축의 경우 레일을 활용한다면 동일한 건축구조물을 적시에 시공할 수 있을 것이다. 3D 프린터를 구성하는 노즐은 콘크리트 벽체를 신속하고 부드럽게 만들 수 있도록 설계되어야 한다. 현재의 기술로는 파이프나 기타 배선 등과 같은 중요한 부가 시설을 동시에 만들 수 없다. 그러므로 철근이나 기타 부속시설을 프린팅할 수 있는 신규 노즐 장치를 복합적으로 탑재할 필요가 있다. 또한 타 부재를 설치할 수 있는 로봇을 동시에 탑재한다면 콘크리트 벽체를 시공함과 동시에 신속한 부재의 시공이 가능할 수 있다.

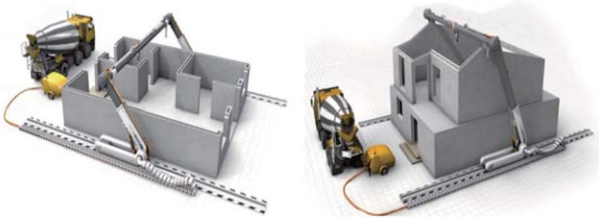


그림 7. 주택건설용 3D Printer 장비 예
(www.contourcrafting.org 2014)

6) 복합재료를 활용한 3D 프린팅 기술

건축물이나 교량의 경우 콘크리트 내부에 철근 및 기타 배관 등이 포함된다. 이와 같이 복합재료가 동시에 노즐을 통해 프린팅 될 경우 콘크리트 내부에 다양한 부재를 포함시킬 수 있다. 이를 위해 복합재료가 동시에 프린팅 될 수 있는 위



그림 8. 3D Printer를 활용한 달 기지 건설 개념
(www.contourcrafting.org 2014)

치 및 속도 제어기술과 최적의 압출기 및 노즐기술을 개발할 필요가 있다. 최근 철근을 중공 상태에서 만들 수 있는 철근용 3D프린터를 개발한 사례도 있다. 이는 압출기 내에서 용융된 상태의 철을 사출하여 입력된 경로에 따라 노즐을 통해 철이 사출되고 공기상태에서의 경화를 통해 철근이 완성되는 형태가 된다.

이 외에도 우주 건설을 위한 3D 프린팅 로봇을 개발한다면 언젠가 달이나 화성 탐사시 현지 재료를 이용하여 거주 공간을 구축할 수 있을 것이다.

5. 향후 제약 및 고려사항

이러한 3D 프린터가 건설 산업에 널리 적용되기 위해서는 기술적 문제뿐만 아니라 특허 및 저작권에 관한 법적 문제 등이 개선되어야 할 것이다.

3D 프린터가 건설용으로 전환되기 위해서는 관련 기술의 특허권에서 자유로워야 한다. 최근 FDM이라는 3D 프린팅 방식이 특허가 만료되어 이를 활용한 다양한 3D 프린터 제품이 출시되고 있다. 특히 3차원 모델의 경우 저작권에서 구속을 받는다. 구조물의 설계모델의 경우 특정 설계사 또는 개인의 무형 지적자산이므로 이의 유통에 관하여 법적 보호를 받아야 한다. 3D모델의 특성상 온라인을 통해 공유가 되는 경우가 많으므로 모델의 다운로드에 대한 DRM(Digital Rights Management) 권한이나 구매를 통해 적절한 범위에서 활용 가능하도록 제약을 둘 필요가 있다.

또한 3D프린터 기반으로 건설 생산 방식이 변화한다면 이에 요구되는 건설 프로세스 등이 재설계 되어야 하며, 관련 장치에 대한 기술과 함께 소프트웨어 및 시공관리(Construction Management) 기술 개발도 이루어져야 한다. 최근 BIM(Building Information Modeling) 기술의 도입과 함께 3D스캐너의 도입이 활발히 증대되고 있음을 고려하면 3D 프린터 기술도 동시에 발전될 수 있는 기반이 될 것이다.

6. 결론

본 고에서는 3D 프린터 기술과 관련 동향을 살펴보고 건설 분야에서의 3D 프린터 적용 사례를 확인하여 주요한 서비스 모델을 제시하고 있다.

미국 오바마 대통령은 2013년 연두교서에서 생산방식의

혁명적인 변화를 가져올 것이라 예견하고 있고 중국은 3D 프린팅 기술 개발에 국가적 투자 지원을 약속하고 있다. 이제는 3D 프린터 기술이 고가의 장비로 취급되지 않고 기술의 개방을 통해 1인 생산자의 생태계를 구축하고 있다. 다양한 3D 목업 모델을 인터넷에 올리고 이를 구매하여 요구에 따라 수정 후 원하는 모양으로 신속하게 만들어 낼 수 있는 (Rapid Prototyping) 온라인 클라우드 기반 제작 환경도 구축되고 있다. 여기서 개인이 만들어 올린 아이디어 즉 3D 모델은 적절한 검증을 통해 다수에게 판매될 수 있으며, 모델링에서부터 3D프린팅 까지 원스탑(One-Stop) 서비스를 지원할 수 있다.

이러한 창의적 생산방식이 건설에 도입된다면 개인이 Opensource를 통해 개발된 3D 프린터를 활용하여 숙련공이나 고비용 없이 개인이 직접 집을 짓는 날도 도래할 것이다. 가까운 시일에는 3D 프린터만으로 필요한 건설 자재를 집에서 만들어 낼 수 있을 것이다. 또한 한번 만들어진 장비는 재활용할 수 있어 건설용 3D프린터 장비를 임대하는 사업이나 이를 활용하여 시공하는 기업들도 생겨날 수 있을 것이라고 기대한다. 이를 통해 건설의 생산방식이 디지털로 혁신적으로 변화되고 Zero 재해를 달성하는 안전한 건설현장의 구축과 무인화를 통해 건설생산 체계의 혁신을 가져올 것이라는 기대감을 조심스럽게 가져본다. 이제 건설은 3D 프린터라는 새로운 시공장비를 통해 구조물을 싸고 빠르게 무한으로 만들 수 있는 세상을 가져올 것이다.

(본고는 한국건설기술연구원에서 수행중인 “(14주요-임무) Infra BIM 정보모델 표준 및 검증 기술 개발” 연구의 지원에 의해 수행되었습니다.)

■ 문현석 e-mail : hsmoon@kict.re.kr

참고문헌

- 1) TIME Tech., The 2013 Consumer Electronics Show: 8 Trends To Watch, <http://techland.time.com/>, 2013
- 1) MakerBot, <http://www.makerbot.com/>, 2014
- 2) Universe Architedcure, <http://www.universearchitecture.com/>, 2013
- 3) 3dsystems, <http://www.3dsystems.com/>, 2014
- 4) 3D프린터의 작동원리, 연합뉴스, <http://www.yonhapnews.co.kr>, 2013

- 5) 허제, 3D 프린터의 모든 석, 동아시아, 2014
- 6) Hod Lipson and Melba Kurman, The New World of 3D Printing, John Wiley & Sons, 2013
- 7) 크리스엔더슨, 메이커스, RHK, 2013