

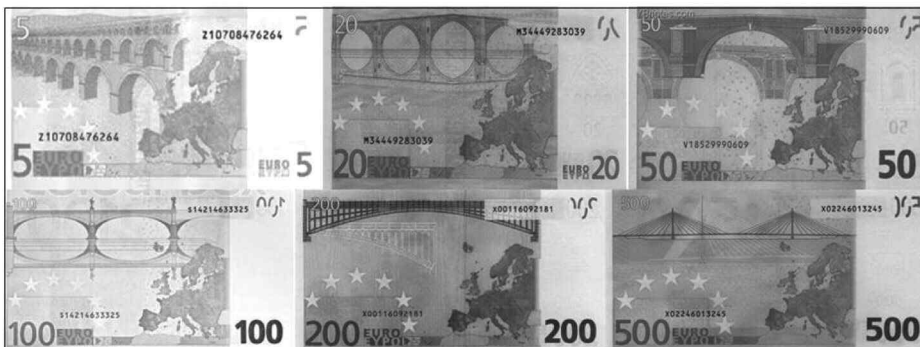
토목 구조물의 3D 프린팅 적용, 어디까지 가능할까

심 창 수 | 중앙대 사회기반시스템공학부 교수

건 설 분야에서 토목 시설물은 건축물과 달리 디자인적 요소가 우선적으로 고려되지 않고 구조적 효율성과 비용적인 측면을 우선하는 경우가 대부분이다. 특히, 우리나라와 같이 경제적인 성장을 가속화하는 시기에는 더욱 그러하다. 이로 인해 우리 주변을 둘러싼 많은 시설물들이 미래 세대의 자산이 되기보다는 부담이 될 가능성이 높아지고 있다. 유럽의

통화인 유로화에 사용된 이미지가 모두 교량인 것을 보면 이전 세대의 시설물이 다음 세대의 자산이 되는 좋은 사례를 볼 수 있다. 최근에 국내에서도 교량의 조명이나 주변 조경을 변경해서 도시 미관을 개선하는 노력이 이루어지는 등 변화 조짐이 있어서 다행스럽다.

토목 구조물의 조형미는 힘의 흐름을 최적화하는



유로화의 교량 이미지.

특집 3D 프린팅과 건설산업

데서 구하는 것이 효과적인 접근 방법으로 알려져 왔지만, 국내 시설물의 수명 주기가 다시 시작되는 시점에서 신규 건설의 감소는 설계자로 하여금 혁신적인 시도를 요구하고 있다. 이런 시점에 대두되고 있는 3차원 프린터 기술은 제조업뿐만 아니라 건설산업에도 큰 전환점을 제공할 수 있는 가능성을 갖고 있다.

일반 제조업과 달리 토목 시설물은 긴 수명 주기가 요구되기 때문에 100년 내구성을 갖춘 구조물에 적용하기 위해서는 해결해야 하는 과제들이 많이 있다. 그럼에도 불구하고 다음 세대에 물려줄 부담이 아닌 유산으로 시설물을 바라보기 위해서는 새로운 시각이 필요하고 3차원 프린팅 기술은 여러 난관에도 불구하고 적극적으로 시도할 가치가 있는 기술 영역이다. 이 글에서는 토목 시설물 분야의 3차원 프린팅 기술의 현황을 살펴보고 현재 진행 중인 국책 과제에서의 실제 적용 사례를 제시하였다.

대형 토목 구조물 적용 사례 없어

3차원 프린팅이 최초로 구현된 것은 미국에서 1984년에 입체 인쇄술 특허로부터 시작되었고 디지털 테이터로부터 3차원 물체를 만들 수 있게 되었다. 잉크

젯 프린터처럼 3차원 프린터는 디지털 파일로부터 물체를 적층하여 원하는 재료로 만들게 된다. 레이저가 재료를 고체화하게 되는데 층별로 원하는 형상을 만들어 올라가는 형태이고 재료로는 플라스틱, 레진, 티타늄, 폴리머 등이 사용되고 있다. 가장 대중적인 형태는 플라스틱 재질의 필라멘트 방식으로 특정 온도로 녹여서 재료를 적층해 가면서 형태를 만드는 것이다.

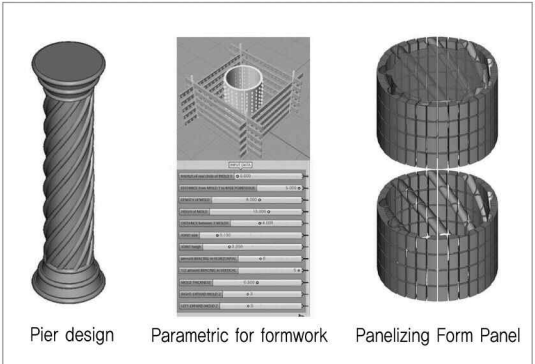
건설 분야에서 이러한 적층 방식의 기술에 주목한 것은 달(moon) 기지 건설과 같이 인력으로 구조물을 만들기 힘든 여건에서 기계화 시공을 하는 데 있어서 콘크리트 재료 활용이 가능할 수 있다는 점이다. 3차원 콘크리트 프린터가 가장 활발하게 개발되고 있고 일부 주택을 프린팅하는 사례들이 나타나고 있다. 제조업과 달리 건설산업은 규모가 크고 재료, 부재, 연결에 이르는 부분들이 표준 및 기준에 포함되어야 할 뿐만 아니라 강도, 사용성, 내구성 등 성능 요구 사항이 다양하고 장기간에 걸쳐 있다는 과제가 있다. 현재까지의 적용은 주로 단기간에 사용될 시설물 위주로 시도되고 있다.

3차원 프린팅 기술은 3차원 설계 기술에 기반해야

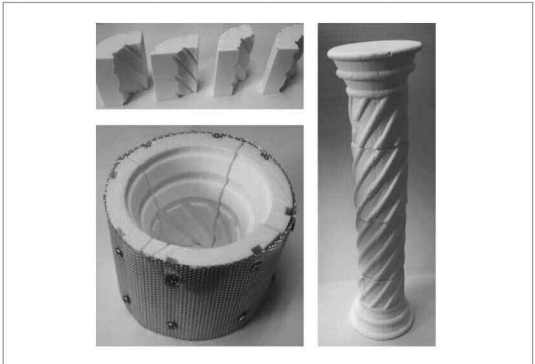


포스트텐션이 가능한 3차원 콘크리트 프린팅 구조물 사례(영국 Loughborough University).

변수 모델링과 3차원 프린팅 패널을 이용한 교각 거푸집 적용 사례



3차원 프린팅 거푸집을 이용한 교각 제작 예시



한다. 최근 건설 분야에서 BIM(Building Information Modeling) 기술이 도입되고 있고, 이로 인해 설계 분야에서 3차원 모델 기반의 실무가 늘어나고 있다. 비정형 구조물의 설계가 증가하는 추세에 맞추어 이를 제작하고 시공하는 기술 분야에서 IT 기술과 기계화 혹은 로보틱스가 활발하게 연구되고 있다. 섬유나 금형 기술을 활용한 구조물 제작이 다수 시도되고 있지만 토목 분야에서 대형 구조물에 적용된 사례는 아직 없다. 이로 인해 현재까지의 주요 적용 사례는 대상 프로젝트의 축소 모형을 3차원 프린팅으로 제작하여 마케팅이나 협업에 활용하는 수준에 있다. 주목할 부분은 건설 분야에 활용 가능한 자재 개발이다. 섬유강화 석고, 특수 유리섬유 시멘트 등의 개발은 모듈화 기술과 함께 3차원 프린팅 기술의 건설 분야 적용성 확장의 기반을 제공할 것으로 기대된다.

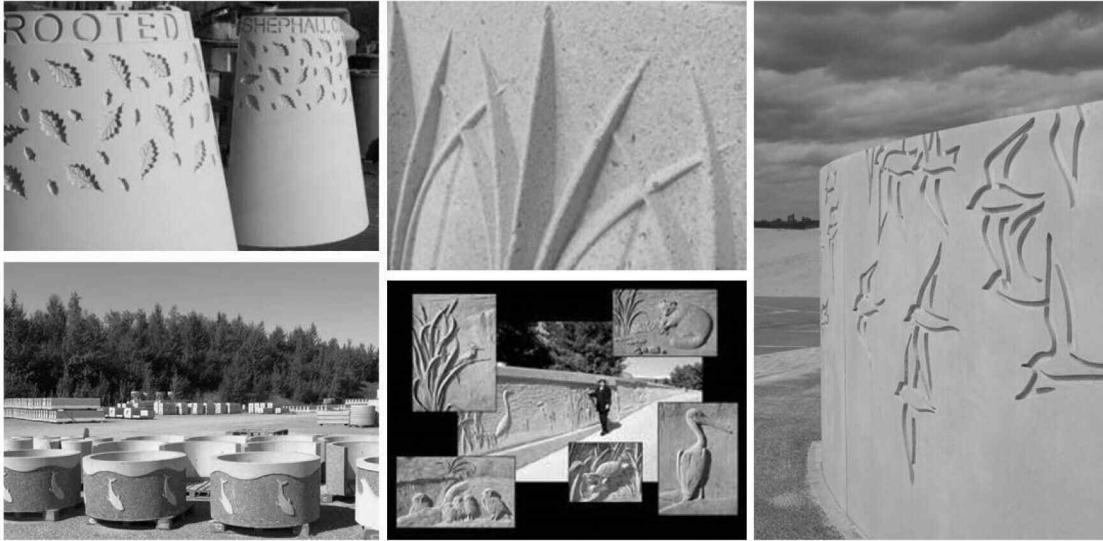
조립식 교각 개발에 활용

국토교통부에서 ICT 기반 건설 기술을 교량 분야에서 개발하기 위해 연구단을 지원하고 있고, 그 연구 프로그램의 일부로 조립식 교각 개발에서 3차원 프린

팅 기술을 활용하여 설계, 제작한 사례가 있다. 콘크리트 분야에서 3차원 콘크리트 프린터가 시도되고 있지만 현실적으로 구조물이 지녀야 하는 강도, 사용성, 내구성 등을 만족시키는 품질을 확보하는 것은 아직 어렵다. 특히, 연성을 담보하는 철근 배근의 제약은 극복되어야 하는 부분이다. 따라서, 이 연구 프로그램에서 시도되고 있는 것은 다양한 디자인을 적절한 비용 범위 내에서 가능하게 하기 위해 콘크리트 거푸집의 일부를 3차원 프린팅으로 구현하는 것이다.

3차원 설계 기술이 매우 중요한데 현재의 프린터가 가진 규모의 한계로 인해서 필요한 거푸집의 패널라이징 기술이 요구된다. 이는 교각의 3차원 모델링과 기존 강재 거푸집을 활용할 수 있도록 강재 거푸집에 대한 모델이 필요하고, 이로부터 필요한 최적의 거푸집 패널 모델을 생성한다. 프리캐스트 콘크리트 부재 제작에서 가장 큰 비용 요인이 강재 거푸집이기 때문에 토목 구조물 분야에서 혁신적인 디자인이 현실적으로 시도되지 않고 있다. 이러한 제약 사항을 극복하고 창의적인 디자인을 실현하기 위해 3차원 비정형 거푸집 기술이 개발되고 있다.

특집 3D 프린팅과 건설산업



프리캐스트 제품 디자인 사례(Bespoke Precast, Linda Patterson Design, Prekaston, Malaniejacks).

플라스틱 소재의 필라멘트 적층 방식 3차원 프린터를 활용하여 소규모 교각의 축소 모형을 디자인하고 이로부터 최적 거푸집 단면을 패널라이징하여 분할 제작한다. 분할 제작시에는 거푸집의 설치 및 탈형을 용이하게 하는 상세를 고려한다. 이렇게 제작된 거푸집 패널은 강판에 설치되고 이 강판을 강성이 충분한 강재 거푸집 내부에 설치하여 거푸집을 완성한다. 완성된 거푸집에 콘크리트를 타설하여 특정 형상을 갖는 프리캐스트 세그먼트를 제작한다. 제작 오차에 대한 검토와 함께 증기 양생에 따른 프린팅 패널의 변형 문제 등의 연구를 진행하고 있다.

해외의 사례에서도 주로 양각과 음각의 문양을 디자인하여 구조물의 미적인 측면을 강조하는 예가 있지만 토목 구조물에는 아직까지 형태를 창의적으로 반영한 예가 없는 것으로 파악되고 있다. 국내 연구에서 교각의 축소 모형으로 800mm 직경의 단면에 대해서 목업 테스트가 진행 중에 있고 실제 구조물의 미

학적 설계를 반영한 실제 교각 및 교각 두부 설계, 거더 및 교대 등의 다른 구조물 형태로 확장하는 시도가 이루어지고 있다.

맺음말

3차원 프린팅 기술을 활용한 토목 구조물의 적용은 짧은 수명 주기의 구조물을 대량 반복 생산해서 사용하는 방향성과 예술적 가치를 높이고 고내구성 재료를 활용하도록 하여 100년 이상의 유산으로 남을 수 있는 시설물을 지향하는 방향성이 있다. 건설 프로젝트가 줄어들고 지속 가능한 개발이 사회적 이슈가 되고 있는 상황에서는 후자의 선택이 좀 더 나은 방향으로 보인다. 기술 개발도 3차원 프린팅에 적합한 소재 개발, 디자인 기술 개발, 프리캐스트 제작 및 가설 기술, 로봇틱스를 포함한 기계화 시공 기술 개발로 이어져야 한다. CERIK