

3차원 프린팅 기술을 이용한 건설 연구 동향



연재흠 Texas A&M University - Commerce 공학기술학과 조교수, jaeheum.yeon@tamuc.edu

I. 서론

최근 3차원 프린팅 기술은 건설분야의 생산성 향상을 위하여 적극적으로 다양한 연구가 진행 중이다. 우리가 흔히 사용하고 있는 상용 3차원 프린터는 필라멘트를 용융출력하여 설계한 물체를 3차원 형태로 얻을 수 있다. 이 3차원 프린터의 노즐이 x, y, z 축 방향으로 움직이면서 출력하는 과정은 별도의 조립과정 없이 출력 즉시 사용한 가능한 3차원 물체를 얻을 수 있기 때문에, 시간과 비용이 절감되는 장점을 가지고 있다. 즉, 복잡한 형태를 가진 설계물의 가공과정이 생략되기 때문에 인간이 상상하는 기하학적 디자인을 그대로 반영한 물체를 만들 수 있다. 게다가 이 3차원 프린팅 기술은 3차원 스캐닝 기술과 연결하여 사용하면 이미 존재하고 있는 물체를 복제가 가능하다. 이러한 3차원 프린팅의 장점은 그림 1에서 보이는 바와 같이 의학분야, 문화재 복원 등의 다양한 영역에서 활발히 활용되고 있다.

II. 건설분야에 적용된 3차원 프린팅 기술

건설분야 역시 3차원 프린팅 기술을 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 건설업계에서 3차원 프린팅 기술은 필라멘트 대신 콘크리트를 출력재료로 사용한다는 특징이 있다.

1. Contour Crafting

3차원 프린터를 이용한 콘크리트 구조물 출력공정의 개념은 1988년에 University of Southern California의 Behrokh Khoshnevis에 의하여 개발되었다. 이는 건물의 벽을 콘크리트와 3차원 프린팅 기술을 이용하여 출력하는 기술이며, Contour Crafting으로 불린다. 이 기술이 소개된 후 건설업계에서는 이 기술을 적용하려는 시도가 활발히 진행 중이다. 이는 기존의 노동 집약적인 현장건설방식에서 자동화 건설이라는 새로운 건설 패러다임의 열 수 있는 가능성을 보여주었다. 또한 이는 심미적 설계가 반영된 기하학적인 구조물도 건설이 가능하기 때



그림 1. 3차원 프린팅 기술을 이용한 문화재 복원 및 치아 복원 (3DPRINTSONDEMAND and Roland 2018)



그림 2. Contour Crafting 3차원 프린터 (John Newman 2013)



그림 3. D-Shape의 3차원 프린터 (Jonbailey 2010)

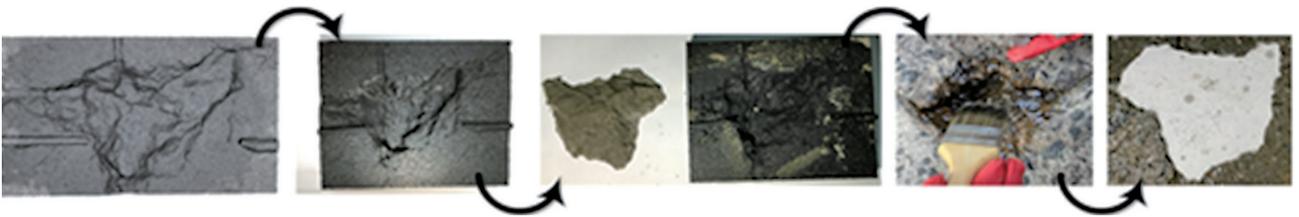


그림 4. 3차원 스캐닝과 3차원 프린팅 기술을 이용한 스폴 보수법 (Yeon et al 2017)

문에 건축설계의 유연성을 가능하게 하였다. (Khoshnevis, B., & Bekey, G. 2002)

2. D-Shape

건설분야에 적용가능한 또 다른 형태의 3차원 프린터는 Enrico Dini가 고안했다. D-Shape에서 고안한 프린터는 에폭시-레진 접착제를 평평한 표면에 골고루 퍼진 모래 입자위에 분사하여 3차원 구조물의 단면을 한층씩 구성한다. 한 층이 완성되면 모래가 다시 다른 층에 고르게 뿌려지고 필요한 곳에 접착제가 도포된다. 이 과정을 반복하여 적층되어 최종 3차원 구조물을 얻게 된다. 이 경우 3차원 프린터의 역할은 필요한 영역에 접착제를 도포하는 것이다. (Y.W.D. Tay et al. 2017)

3. Spall Damage Restoration

아스팔트 도로에 파트홀이라고 불리는 그릇형태로 파여진 손상을 흔히 볼 수 있다. 아스팔트는 빨리 굳는 특성이 있기 때문에 파트홀을 아스팔트로 메우는 데는 비교적 신속한 보수가 가능하다. 하지만 콘크리트 도로에 파트홀과 비슷한 형태를 가진 손상이 있으며 이는 스폴이라고 불린다. 파트홀을 보수하기

위하여 아스팔트가 사용되듯, 콘크리트 도로의 손상인 스폴을 영구히 보수하기 위해서는 모재와 같은 콘크리트를 사용해야 한다. 하지만 콘크리트의 물성치는 아스팔트의 물성치와 달리 기본적으로 양생되는데 상당한 시간이 걸린다. 즉, 타설된 콘크리트가 양생이 완벽히 되기 전까지는 차량을 반드시 통제해야 한다. 즉, 차량은 보수구간을 우회해서 지나가야하기 때문에 교통흐름이 원활하게 이뤄지지 않는 원인이 된다. 하지만 콘크리트를 현장이 아닌 다른곳에서 양생할 수 있다면, 차량이 보수구간을 우회하지 않아도 됨을 쉽게 가정 할 수 있다. 이를 위하여 그림 4에서 보이는 것과 같이 3차원 스캐닝 기술을 이용하여 스폴 손상을 스캔한 후, 3차원 프린터를 이용하여 출력하면 스폴 손상형태를 그대로 복제할 수 있다. 출력된 스폴 손상형태 위에 그대로 콘크리트를 타설하여 양생하면 미리 만들어진 3차원 형태의 콘크리트 세그먼트를 얻을 수 있다. 이처럼 생산된 3차원 콘크리트 세그먼트를 현장에 가져간후, 스폴 손상 위에 끼우면 현장양생을 하지 않아도 된다. 또한 3차원 콘크리트 세그먼트가 스폴 손상 위에 오랫동안 붙어있기 위해서는 에폭시-레진 접착제를 사용한다. 또한 3차원 프린팅 기술을 이용한 스폴 손상 보수법은 별다른 중장비 없이 단순히 콘크리트 세그먼트를 끼워 손상공간을 채움으로써 보수가 완료가 가능하기 때문에 경제적 측면에서도 장점이 있을 것으로 예상된다. 서론에 소

개된 Contour Crafting과 같은 3차원 콘크리트 프린터를 이용하여 돌기들이 그대로 있는 복잡한 스폴 손상 단면을 메우기 위한 콘크리트 세그먼트를 정교하게 직접 출력하기 위해서는 한계가 있다. 따라서, 현재 기술의 한계를 감안하면 필라멘트를 이용한 상용 3차원 프린터 출력물은 콘크리트 손상의 돌기까지 정교히 출력이 가능하기 때문에 이 출력물을 그대로 콘크리트용 거푸집으로 이용하는 것이 가장 합리적인 방법이다. (Yeon et al 2018)

Ⅲ. 결론 및 향후 연구과제

3차원 프린팅 기술은 이미 건설분야에 비용절감 및 공기단축을 위하여 적용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 콘크리트는 압축에는 강하지만, 인장에는 취약하다. 이를 보완하기 인장에 강한 철근을 콘크리트와 함께 이용한다는 개념인 철근 콘크리트가 건설산업에 널리 사용되고 있다. 하지만 3차원 콘크리트 프린터는 철근을 함께 이용할 수가 없다. 따라서, 현재는 출력을 일시 중단하고 철근을 출력된 단면에 접착한다. 하지만 이러한 경우에는 철근과 콘크리트가 완벽한 합성거동을 하지 못하기 때문에 진정한 철근 콘크리트 구조물이라고 볼 수가 없다. 또한 별도의 조립과정을 요구하기 때문에 완벽한 자동화 건설이라고 볼 수가 없다. 따라서, 이 맹점을 보완할 방안을 고려해야한다. 또한 실제로 구조물의 안정성이 건설규정에 부합되는 강도가 발현되는 콘크리트가 출력이 가능한지 여부를 규명할 연구가 충분히 뒷받침 될 필요가 있다. 이는 구조물의 안정성과 연결되기 때문에 3차원 콘크리트 프린터를 이용한 건설에 관한 규정확립이 필요하다. 경제적인 측면을 고려하여 콘크리트 구조물을 만들 때는 골재를 채움으로써, 시멘트 사용을 줄인다. 하지만 3차원 프린터를 사용하면 단면의 매끄러움을 위하여 굵은 골재를 사용할 수 없다. 따라서, 3차원 콘크리트 프린터를 이용한 건설방법을 기존의 건설방법과 경제적 관점에서 그 타당성을 따져볼 필요가 있다. 마지막으로 3차원 프린팅 기술을 이용한 스폴 손상 보수법 역시 실제 도로에 적용하여 장기간 관찰함으로써 그 실용화 가능성을 알아볼 필요가 있다. 이렇게 현실적으로 해결해야 할 문제점이 존재하지만, 3차원 프린팅 기술은 건설에 적용할만한 가치와 실용가능성은 충분히 존재한다. 기존의 콘크리트 구조물과 같이 시방서 규정하에 안정적이고 체계적인 건설방법으로 거듭나기 위해서는 본 연구에서 소개된 3차원 프린터를 이용한 건설방법에 대해 다각도의 추가적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- 3DPRINTSONDEMAND (2018). "Cultural heritage preservation." 3Dprintsondemand. <https://3dprintsondemand.eu/cultural-heritage-preservation>.
- Roland (2018). "CAD/CAM dental milling machines." Roland. <https://www.rolanddga.com/applications/dental-cad-cam>.
- Khoshnevis, B., & Bekey, G. (2002). Automated construction using contour crafting: Applications on Earth and beyond. 19th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Gaithersburg, MD, USA.
- John Newman (2013). "Contour crafting plans to 3D print a house in 24 hours." Rapid ready. <http://www.rapidreadytech.com/2013/02/contour-crafting-plans-to-3d-print-a-house-in-24-hours/>.
- Y.W.D. Tay, B. Panda, S.C. Paul, N.A. Noor Mohamed, M.J. Tan, K.F., Leong, 3D printing trends in building and construction industry: A review, Virtual and Physical Prototyping, Vol. 12 (no. 3), (2017), 261-276.
- Jonbailey (2010). "Rapid prototyping." Archimorph. <https://archimorph.com/2010/01/15/rapid-prototyping-d-shape/>.
- Yeon, J., Kang, J., Yan, W. (2018) "Spall damage repair using 3D printing technology", Automation in Construction, Elsevier BV, Vol. 89 266-274.
- Yeon, J. and Kang, J. (2017) "Spall repair using a 3D printer and epoxy resin adhesive", International Structural Engineering and Construction.