3D 프린팅 건설분야에서의 특수성 문헌조사

KICEM

전성현 아주대학교 건설시스템공학과 학부연구생, tjdgus9496@ajou.ac.kr
이세복 아주대학교 건설시스템공학과 학사과정, sbsi1364@ajou.ac.kr
문성곤 아주대학교 건설시스템공학과 부교수, skmoon@ajou.ac.kr

1. 서론

4차 산업 혁명의 시대에서 살아가고 있는 지금, 건설 분야에 활용이 가능한 신기술은 3D 프린팅, IoT (Internet of Things), AI (Artificial Intelligence), 빅 데이터 등이 있다. 그중에서도 3D 프린팅 기술은 3차원 공간에 실제 사물을 인쇄하는 기술로 직접 뽑아내어 구현할 수 있다는 점에서 건설 분야에 사용하기에 용이하다. 2021년 정보통신산업진흥원에서 발표된 보고서에 따르면, 세계적으로 3D 프린팅 시장 규모는 코로나바이러스감염증-19 이후 2021년도 3D 프린팅 시장규모는 136억원 정도로 측정되었다 [1]. 또한 연평균 18%씩 성장하여 2025년도에는 302억달러의 시장 규모 형성될 것으로 예측되었다. 이에 맞춰 최근 국토교통부에서도 건설 분야에 3D 프린팅 기술 개발 연구과제를 지속적으로 추진하고 있다. 따라서 3D 프린팅을 활용한 시장의 수요 증가가 예상됨에 따라, 이를 주요 수요자의 입장에서 특수성을 조사할 필요가 있다. 본 원고에서는 기존 문헌고찰을 토대로, 3D 프린팅 기술을 활용하여 지은 건축물과 모형을 살펴보고 그 특수성을 알아보았다.

2. 비정형 구조물

비정형이란 정형과 반대로 일정한 형태나 형식이 없어, 기하학적인 질서나, 대칭성 등 정형에서 보여주는 기존의 틀을 깨는 자유로운 형태를 가진다는 개념이다 [2]. 세계 곳곳마다 랜드마크로서 지역을 대표하고 있는 비정형 구조물들은 사회적, 경제적으로 파급 효과가 상당하다. 세계 5대 설계사를 기준으로 정형 대비 비정형 건축물의 비율은 증가하는 추세를 보인다 [3].

표 1. 정형과 비정형 개념 특성의 차이 사진

종류		내용
정형		1. 일정한 형식이나 틀 [5] 2. 질서, 비례, 대칭, 동질적 요소 [3] 3. 유클리드 기하학 [3]
비정형		1. 일정한 형태이나 형식이 정하여지지 아니한 것 [5] 2. 프랙탈 카오스 [3] 3. 비유클리드 기하학[3]

*사진자료 출처 [4]

〈표 1〉은 문헌고찰을 통해 정형과 비정형의 개념적 차이와 특성을 보여주고 있다. 비정형 구조는 정형화된 구조에 비해 거푸집으로 철근콘크리트를 사용하여 시공한다는 것은 경제적인 면과 기술적인 면에서 효율적이지 못하다 [6]. 만일 정형건축공법으로 비정형 곡면 건축물의 마감재를 제작하거나 시공하게 된다면 시공 면에 하자가 발생해 문제점을 야기할 수 있다 [7]. 따라서 이러한 문제점을 발생시킬 수 있는 전통적인 공법들을 대신하여 비정형 구조물에 3D 프린팅 기술을 적용할 수 있다면, 보다 효율적으로 비정형 건축물 구축이 가능할 것으로 보인다. 비정형 형상을 갖는 건축물에 3D프린팅 기술을 활용한 시공법을 적용하기 용이하며, 개별 유닛을 프린트하여 조립하는 방식으로 시공하는 경우가 존재한다. 이러한 방법은 공장에서 동시에 여러 대로 프린트하여 생산성을 높일 수 있고, 다양한 구조물 제작에 활

용할 수 있다. 3D 프린팅 기술을 활용한 구조물의 예시로는 다음과 같은 구조물이 있다.

2.1. Bloom Pavilion

캘리포니아 버클리 대학에서 실시한 프로젝트인 Bloom Pavilion은 11개의 프린터로 프린트 팜(Print Farm)을 구축하여 시공한 것이다. <그림 1>은 Bloom Pavilion의 일부를 보여준다. Nematollahi에 따르면 '가로 3.66m, 세로 3.66m, 높이 2.74m이고, 840개의 3D 프린팅 블록으로 구성된 독립형 구조물이다.'[8]. 온실가스를 50% 정도 줄이는 효과를 낼 수 있는 UV 저항 폴리머를 사용하였고, 유리 산화물 포틀랜드 시멘트를 사용하여 일반 색상보다 밝은색을 내게 하였다 [9].

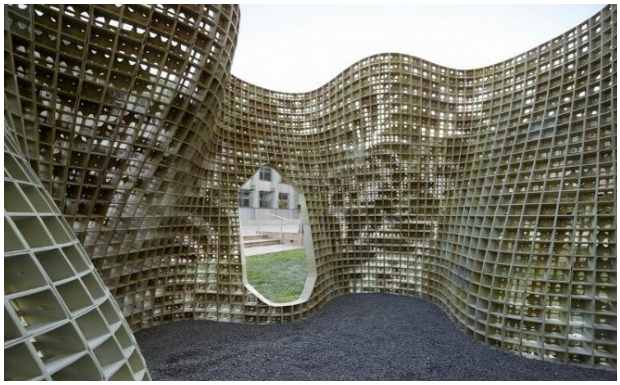

그림 1. Bloom Pavilion 사진 [10]

이와 같은 3D 프린팅 기술을 활용하여 비정형 건축물을 시공한 사례를 보면, 해당 기술이 자유로운 형상의 구조에 합리적인 기술임을 보여준다. 또한 재료를 다양하게 섞어서 콘크리트를 압출할 수 있어, 해당 사례에서는 유리 산화물 포틀랜드 시멘트를 사용하여 온실가스 절감의 효과를 주었듯이, 재료에 변화를 준다면 다양한 효과를 기대해 볼 수 있을 것으로 예상된다.

2.2. 한화 갤러리아 광교

한화 갤러리아 광교점은 3D 프린팅 기술이 적용된 국내 커튼월 공사 중 한 사례이다. 그리고 이 공사에서 사용된 1,652개의 커튼월은 모두 모양과 치수가 다양하여 고난도 기술을 요구하는 공사였다 [11]. 해당 공사에 비정형 구조인 갤러리아 루프는 3D 프린팅 기술이 접목되었다. 비정형 구조인 커튼월 구조물을 설계하면서 가장 취약하고, 중요한 부분은 노드 부분이라고 할 수 있다. 기존 커튼월에서 쓰이는 노드는

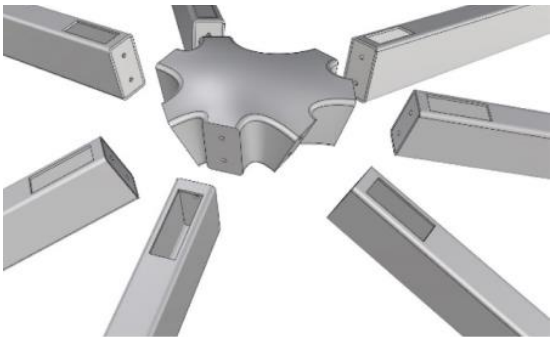

그림 2. 3D 프린터로 뽑은 스마트 노드와 철골 접합 [12]

급격하게 꺾이는 형상일 경우 유리판을 끼우는 작업인 Glazing System과 마찰이 생긴다 [12]. 또한 여러 문제점 때문에 여러 구조 부재를 하나의 노드에 결합할 수 없다. 광교 갤러리아 백화점의 케이스에서는 비정형 커튼월을 사용하기 때문에 급격하게 꺾이는 부분이 다수 존재한다. 해당 케이스에서는 3D 프린트를 이용한 스마트 노드를 활용하여 다면체 꼭지점 탈락 현상(Vertex Deflection Phenomenon)을 완화하고 Glazing System의 복잡성을 해소하게 하는데 도움을 주는 사례이다 [13]. <그림 2>는 노드와 철골의 접합을 이미지로 표현하고 있다.

앞에서 언급한 스마트 노드는 기존 커튼월에서 쓰이는 노드 각도의 한계를 벗어나 구조부재를 제어시키는 노드이다. 광교 갤러리아 사례는 노드마다 3차원적인 개별적인 설계를 하고, 몰드를 설계한다 [12]. 여기서 몰드는 규사에 접착제를 3D 프린팅하여 제작하였고, 이를 활용하여 구조성능을 향상할 수 있었다. 결과적으로 기존 노드의 제약을 벗어나 형태가 자유로운 노드 제작이 가능했다.

스마트노드 시스템은 비정형 커튼월에서 발생하는 문제점을 해결할 수 있는 방안이 되며 한화갤러리아 광교점의 스

그림 3. 한화 갤러리아 광교 사진 [14]

마트노드 시스템 적용사례를 바탕으로 후속 연구가 진행된다면 더욱 정밀한 비정형 커튼월 시공이 가능해질 것이다. 따라서 〈그림 3〉에서 보이듯, 사회적 경제적으로 파급 효과를 갖는 랜드마크 건설에 도움을 줄 것으로 예상된다.

3. 극한 환경 건축

인간의 손이 쉽게 닿을 수 없는 환경에서 건축을 하는 일은 알맞은 인부를 투입하거나, 재료를 조달하기에 많은 어려움이 따른다. 이와 비슷하게 달에 서식지를 건설하는 일은 지구 건축에 비해 난관이 많다. 난관들은 주로 극단적인 온도〈표 2〉, 대기가 없는 환경으로 인한 강한 방사선과 같은 혹독한 환경으로부터 온다 [15]. 그래서 이러한 환경에서, 인부들을 고용하여 달 환경에 맞는 건축을 한다는 것은 물리적으로 불가능하다. 따라서 직접적으로 구조물을 시공하는 것이 아닌 간접적인 방법으로 시공하는 3D프린터를 활용한 건축 방법이 발전됨에 따라 달뿐만 아니라 인간이 개척해야 할 오지의 환경에서 유용하게 사용될 것으로 예측된다.

표 2. 달과 지구의 중력 및 온도 비교 [16]

특성	달	지구
적도에서의 중력	1.62m/sec^2	9.81m/sec^2
표면 온도	-233℃ ~123℃	-89℃ ~58℃

이에 따라 유럽우주국(ESA)에서는 3D프린팅 기술을 활용한 달 기지 건설 계획을 발표하였으며, 이 계획은 'Foster+Partners (건설회사)' 및 'Monolite (3D프린팅 기술 업체)'와 함께 진행되는 것으로 알려졌다 [18]. 〈표 4〉는 그들의 생각을 표현한 기본 구조의 이미지 이다. 기존의 달 기지 건설 계획은 지구에서 건설재료를 달까지 우주선을 통해 운반하기에 경제적으로 효율성이 떨어졌다. 이들의 달 기지 건설 계획은 달의 표토를 활용하는 방식으로 기존의 관념을 깨는 계획이다. 달 기지 구조물의 외부는 운석 충돌과 극한의 환경으로부터 우주인을 보호하지 못한다. 따라서 외부를 보완해야 할 필요성이 존재하는데, 이를 달의 표토를 재료로 하는 3D 프린터로 인쇄물을 구조물 외부에 압출하여 구조물의 외부를 보완한다. 이렇게 보완된 외부 구조물은 충격과 하중을 충분히 견딜 수 있어 외부의 위험으로부터 적절하게 보호할 수 있다 [18].

각종 연구를 통해서 달과 화성 및 극한의 환경에 알맞은 건축 기술을 개발하려는 노력이 계속되는 중이다. 이 사례처럼 3D 프린터를 활용한다면 현장에서 인력의 투입이 최소화되기 때문에 3D 프린터는 이러한 극한의 환경에 알맞은 건설 기술로 보인다.

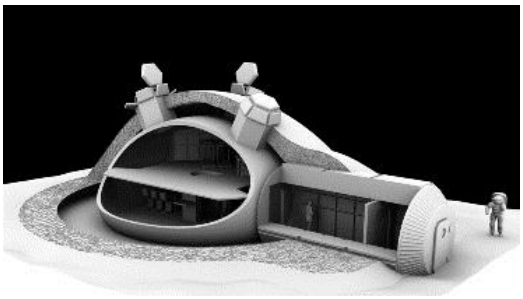

그림 4. 유럽우주국(ESA)에서 발표한 건설 계획 [18]

4. 결 론

아직 3D프린터를 활용한 건축 기술은 초기 단계에 입각해 있어 건설 분야에 적극적으로 적용하기에 한계가 분명하다. 앞에서 살펴본 사례들은 3D프린터 건축 기술의 이점을 보여주었다. 비정형 건축물의 사례들로 보았을 때 3D 프린팅 기술의 그 이점은 건축물의 형상이 자유롭다는 점이다. 3D 프린팅은 기존의 전통적인 콘크리트 제조방식으로는 구축할 수 없는 비정형 건축물 구현이 가능하며, 또한 개별 유닛을 프린트하여 조립하는 방식으로 생산성을 높일 수도 있다.

한화갤러리아 광교점의 사례로 보았을 때도 역시 마찬가지로 비정형 구조인 커튼월에서 노드를 개별적으로 설계하고 제작할 수 있어 구조적으로 자유롭다는 이점이 있다. 비정형 커튼월은 형상이 복잡하고 부재 간 만나는 각이 다양하여 연결부위인 노드의 형태가 다양해지기 때문에 시공의 정밀성과 마감 품질에서 문제가 발생할 수 있는데, 한화 갤러리아 광교점의 케이스는 앞서 말한 비정형 커튼월에서 발생하는 문제점을 3D 프린팅을 활용한 스마트노드 시스템을 사용하여 그 문제점을 극복한 사례이다.

마지막 케이스인 유럽우주국(ESA)에서의 달기지 건설 계획을 살펴보면 3D 프린팅 기술의 건설재료를 현지에서 얻은 재료 혹은 재사용할 수 있는 재료를 활용할 수 있으며, 로봇을 이용한 자동화 건설이 가능하여 인부 투입이 불가능한 지역에서도 건설이 가능하다는 것이다.

조사를 통해서 알게 된 3D 프린팅 건설 기술의 특수성은 자유로운 형태 구축이 비교적 용이하다는 점과 인부가 투입될

수 없는 극한의 환경에서 건축이 가능하다는 점에 있었다. 3D 프린트를 활용한 건설의 특성을 조사하는 향후 연구에서는 역학적인 면을 더 고려한다면, 3D 프린터를 활용한 건설분야의 활성화에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

1. '2021년 3D프린팅산업 진흥 시행계획,' 정보통신산업진흥원(nipa), pp. 2-8, 2021.
2. 박상준, 홍관선, '비정형공간 디자인에 있어서 Digital 도구의 활용에 관한 연구,' 한국기초조형학회, pp. 185-200, 2011 .
3. 이강, '비정형 건축의 시공 문제점들,' 대한건축학회, pp. 63-65, 2008.
4. Pexels, https://www.pexels.com/, Accessed 28 September 2022
5. 국립국어원 표준국어대사전, https://stdict.korean.go.kr/main/main.do, Accessed 28 September 2022
6. 이동윤, 이동민, 조훈희, 강경인, 'LOM 방식 3D 프린터를 이용한 비정형 콘크리트 부재 생산 프로세스 및 Mock-up test,' 한국건축시공학회지, pp. 89-98, 2018.
7. 김성진, 박영미, 박정준, '비정형 건축물 구형을 위한 Digital Fabrication의 활용방법 연구 -롯데월드타워 3D 포디움 시공사례-,' 한국건축시공학회, pp.52-53, 2017.
8. Nematollahi, B., Xia, M., & Sanjayan, J. 'Current progress of 3D concrete printing technologies,' IAARC Publications, 2017.
9. 이지은, 이기홍, 최준영, 전승민, 김지민, '건축분야에 3D프린팅 기술 적용을 위한 기초조사연구,' 한국토지주택공사 토지주택연구원, pp 75-76, 2015.
10. Parametric House: Architecture, Art & Design, https://parametrichouse.com, Accessed 28 September 2022
11. 김동희, '한화갤러리아 광교점 신축공사, 엔지니어링 리포트,' pp. 1-4, 2022.
12. 나상호, 유승규, 박영미, 박정준, 김성진, '자유형상 커튼월 구현을 위한 3D 프린팅을 활용한 스마트노드 시스템의 연구,' 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집, pp. 8-9, 2018.
13. Na, Sangho, Sungjin Kim, and Sungkon Moon, 'Additive manufacturing (3D Printing)-applied construction: Smart node system for an irregular building façade,' Journal of Building Engineering, 2022.
14. 갤러리어 공식사이트, https://dept.galleria.co.kr/, Accessed 28 September 2022
15. Serdar Ulubeyli, 'Lunar shelter construction issues: The state-of-the-art towards 3D printing technologies,' Acta Astronautica, pp. 318-343, 2022.
16. D Vaniman, R Reedy, G Heiken, G Olhoeft, 'THE LUNAR ENVIRONMENT,' Lunar Sourcebook, pp. 27-60, 1991.
17. 유럽 우주국 https://www.esa.int/ Accessed 28 September 2022.
18. 서명배, '달에서 현지재료를 활용한 극한 우주건설 기술,' 건축, 60권 5호, pp. 56-60, 2016.