

콘크리트 폼라이너 제작을 위한 3D프린터 활용

김현기*, 전일섭**, 유승운***

*전 가톨릭관동대학교 에너지플랜트공학과 교수

가톨릭관동대학교 토목공학과 석사과정, *가톨릭관동대학교 토목공학과 교수, 교신저자
e-mail:swyoo@cku.ac.kr

Utilizing 3D Printers to Manufacture Concrete Foam Liners

Hyun-Gi Kim*, Il-Sup Jun**, Seung-Woon Yoo***

*Dept. of Energy and Plant Engineering, Catholic Kwandong University

**Dept. of Civil Engineering, Catholic Kwandong University

요 약

4차 산업시대에서는 건설분야의 탈현장 생산방식과 디지털데이터 중심의 업무변화를 가속화 시키고 있으며, 혁신기술과의 융복합 연구가 활발하게 진행되고 있다. 건설분야의 3D프린팅 기술은 콘크리트 3D프린팅, 비정형 거푸집의 제작, 디자인 폼라이너 제작 등의 주제로 나눌 수 있으며, 본 연구는 3D프린팅 기술의 적용현황과 연구동향을 고찰하고 콘크리트 폼라이너 제작과 적용성 검토에 대한 기초적인 연구를 수행하였다. 3D프린팅 출력, 프로토타입 제작 및 검토 등의 각 단계별 프로세스를 적용하여 완성도 높은 시작품을 출력하였으며, 실용성과 확장성을 평가하기 위해 콘크리트 부재에 실증하여 기술적 완성도를 검증하였다.

1. 서론

4차 산업혁명 관련기술이 건설기술과 융복합 되는 생산성 향상기술 개발이 이어지고 있으며, 철근콘크리트 부재에 적용되고 있는 3D프린팅 활용기술도 그 중 하나로 볼 수 있다 [1,2]. 이와 관련된 최근의 연구는 콘크리트 3D프린팅, 비정형 거푸집의 제작, 디자인 폼라이너 제작 등의 주제로 나뉘어 진행되고 있다[5]. 본 연구는 3D프린터를 활용한 폼라이너 제작 분야중에서 상징성 있는 문양이나 형태의 연출을 위해 재사용을 고려하지 않으며, 3D프린팅 기술의 장점을 최대한 활용하여 낭비요소를 제거할 수 있는 일회용 문양거푸집 개발의 기초적인 연구를 수행하였고, 개념정의, 기본설계, 3D프린팅의 과정에서 변수연구를 위한 반복적인 출력과 수정을 거쳐 최종 시작품을 출력하였고, 그 결과물을 콘크리트구조물에 실증하여 실용성과 확장성을 검토하는 사례연구를 수행하였다.

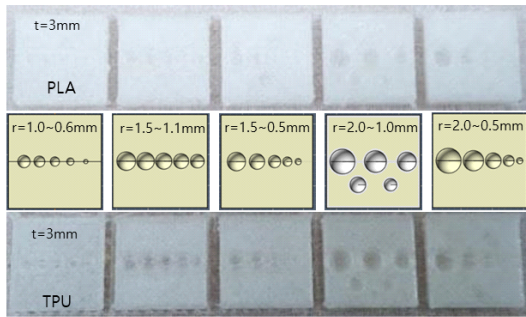
2. 콘크리트 폼라이너 설계

철근의 부착강도를 저해하지 않도록 설계기준에 따라 확보

되어야 하는 콘크리트의 피복두께에 영향을미치지 않도록 하는 것이 폼라이너 개발에서 가장 중요한 고려 항목이다. 쉽게 구할 수 있고 일반화된 3D프린팅 사용재료의 검토도 요구된다. FDM방식으로는 얇은 스킨형 제작이 어렵고, 강성 재료로는 콘크리트부재의 곡선 적용이 불가하므로 분할제작과 웹에 대한연성이 풍부한 재료의 검토도 필요하다[3,4].

따라서, 최종시작품 출력전 요구조건을 고려한 사전 변수 연구가 수행되었다. 모델링시 사전분할 작업과 출력시 최소 입자단위를 고려하여 모판의 두께와 깊이를 설정하였고, 분할제작 후 접합을 위한 다양한 실험과 사전 출력을 통해 단계별로 변수를 소거하는 작업을 수행하였다. 목재 거푸집에 부착될 스킨의 두께는부착성과 단차를 최소화하기 위해 1mm 두께로 결정하였으나 돌출부위와 평면부가 90도를 이루는 모서리부는 탈형시 콘크리트의 탈락의 방지, 출력시의 정밀도, 고무재질 재료의 적용성 등을 고려하기 위해 다양한모델링과 출력을 통한 테스트를 실시하였다.

[그림 1]는 다양한 곡선 연출형태를 모델링하고 PLA과 TPU재료로 동일하게 출력한 결과를 나타낸다. 고무재질의 TPU의 경우 입자가 거칠고 마감이 매끈하지 못하여 PLA보다 정밀도는 떨어지지만 박리제 없이도 탈형이 가능하고 적용할 구조물의 크기나 곡선연출 시 효과적이며 목표하는 정밀도를 유지할 수 있을 것으로 평가되었다.



[그림 1] PLA를 사용한 다양한 곡선 연출

[그림 2]과 같이 찰흙을 사용하여 음각이나 양각으로 형성되는 모양을 확인하는 적용성 테스트를 추가적으로 수행하였고, 폼라이너 제작의 로고면은 양각, 글씨는 음각으로 제작되어야 실제 문양을 효과적으로 연출할 수 있음을 확인하였다. 여러 변수에 대한 모델링과 출력결과를 분석한 결과, 모각기의 범위는 최대 0.7mm로 제한하고 폭에 비해 음각의 깊이가 클 경우 콘크리트 탈락이나 내구성에 문제가 발생하므로 돌출깊이를 연출할 선형의 폭이 12mm일 경우에 깊이를 5mm로 설정하여, 시작품 제원의 폭과 깊이의 비를 1:2.4 비율로 적용하도록 결정하였다.



[그림 2] 찰흙을 사용한 적용성 시험

3. 시작품 출력 및 현장적용

BIM모델링 데이터를 기초로 시작품을 출력할 3D프린터는 FB-Z420모델이며 PLA, ABS, TPU등의 다양한 소재를 활용할 수 있는 전문가용으로 대학 내 3D프린팅 교육센터에 보급되어 있는 장비를 활용하였다. [표 1]는 3D프린터의 주요 특성을 나타내며, 최대출력크기 W265×D200×H420(mm)를 고려하여 9분할된 모델의 각 파트 최대 크기는 200mm×200mm이고, 한 개의 파트씩 출력이 이루어졌다.

3D프린터에 사용되는 대표적인 재료는 아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌(acrylonitrile butadiene Styrene, ABS)와 폴락틱엑시드(PLA: polylactic acid), 열가소성 폴리우레탄(TPU: thermoplastic polyurethane)가 있으며 ABS의 경우 2차가공성이 우수하나 출력 시 균열이나 휨 현상이 발생할 수 있고 PLA의 경우 원재료의 유해요소가 적고 열변형에 의한

수축이 적지만 내구성이 약하고 2차가공이 어려운 단점이 있다.

[표 1] FINEBOT Z420 스펙

Division	Contents	Appearance
Size	W480×D400×H665(mm)	
Weight	About 27kg	
Printout Size	W265×D200×H420(mm)	
Bed	Aluminum+Removable heating bed	
Nozzle Diameter	0.4mm	
Stacking Thickness	0.05~0.3mm	
Filament Type	PLA / ABS / TPU (D1.75mm)	
File Format	STL, OBJ, DAE, AMF, Gcode	



[그림 3] 3D 프린터로 제작한 폼라이너

TPU의 경우 우수한 탄성과 기계적강도, 내마모성과 투명성이 우수하다[21]. 본 연구에서는 변수 연구를 위한 출력에는 PLA를 사용하였고, 최종 시작품은 곡선부에도 적용할 수 있도록 TPU소재로 적용하였다. [그림 3]과 같이 잔여 소재를 이용한 가절력과 매칭 테스트를 통해 마지막으로 모델링에 대한 수정이 이루어진 후 TPU소재를 적용한 최종 파트를 출력하고 본딩시켜 폼라이너를 완성 하였다.

3D 프린터로 최종 출력된 폼라이너(일회용 문양거꾸집)를 콘크리트 에코필라 사방댐의 성능실험을 위해 제작되는 실물 모형 측면부에 적용하여 거꾸집내부의 설치과정과 탈형후의 문양연출정도 및 적용성 등을 검토하였다.[그림 4]과 같이 콘크리트 거꾸집 탈형 후 남아 있는 폼라이너를 제거한다.



[그림 4] 거꾸집을 제거한 후의 폼 라이너

4. 결 론

본 연구는 3D프린터를 활용한 일회용 문양거푸집 개발의 기초적인 연구를 수행하였다. 개념정의, 기본설계, 3D프린팅의 프로세스로 일회용 문양거푸집 개발의 변수연구를 수행하여 최종 시작품을 출력하고, 실제 콘크리트구조물에 적용하여 실용성과 확장성을 분석한 연구를 통해 아래와 같은 결론을 얻었다.

콘크리트 양생과정에서 건조수축에 따른 변위를 수용할 수 있는 재료의 사용, 음각부를 기준으로 콘크리트 피복두께의 확인, 콘크리트 표면의 내구성을 확보하기 위한 기하학적 변수고려 등 3D프린터로 제작된 콘크리트 폼라이너가 갖추어야 할 기본 요건을 연구를 통해 제시하였다.

상징적이고 독창적인 콘크리트 문양의 연출은 일회용으로 사용되는 사례가 많아 기존의 폼라이너 제작방법 보다 3D프린터를 활용할 경우 경제성과 디자인 자유도를 높일 수 있음을 확인하였다. 또한, 폼라이너의 실증 시공을 통해 확인된 문제점은 설계단계에서부터 개선이 필요하나, 연성재료의 효과로 박리제 없이도 탈형이 충분히 가능하였고 균열이 전혀 발생하지 않았다.

of Building Construction Conference, The Korean Institute of Building Construction, Jeju, Korea, pp.33-34, May 2018.

참고문헌

- [1] S. G. Hong, J. S. Park, N. H. Kim, "Structural Stability in Concrete 3D Printing Construction", Journal of The Korea Concrete Institute, Vol.30, No.4 pp.345-352, Aug. 2018.
- [2] D. H. Kim, J. H. Lee, "Status and Direction of Development on the 3D Printing Technology for BRP(Building Rapid Printing)", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.15, No.3 pp.61-68, Sep. 2015.
- [3] D. Y. Lee, D. M. Lee, H. H. Cho, K. I. Kang, "The Production Process and Mock-up Test of Freeform Concrete Segments using LOM type 3D Printer", Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol.18, No.1 pp.89-98, Feb 2018.
- [4] T. A. M. Salet, F. P. Bos, R. J. M. Wolfs, Z. Y. Ahmed, "3D concrete printing - a structural engineering perspective", Proceedings of the 2017 fib Symposium, Springer, Maastricht, Netherlands, pp.43-57, June 2017.
- [5] S. H. Son, J. Y. Lim, Y. J. Na, S. K. Kim, "A Basic Study of Production Management of Free-form Concrete Panels", Proceedings of the Korean Institute