

3D프린터를 활용한 콘크리트 폼라이너 제작 및 응용 : 캡스톤디자인 교육 사례 제안

김현기¹, 유승운^{2*}

¹가톨릭관동대학교 에너지플랜트공학과, ²가톨릭관동대학교 토목공학과

Manufacture and Application of Concrete Form Liner Using 3D Printer: Proposal of Capstone Design Education Model

Hyun-Gi Kim¹, Seung-Woon Yoo^{2*}

¹Department of Energy Plant Engineering, Catholic Kwandong University

²Department of Civil Engineering, Catholic Kwandong University

요약 포스트 코로나 환경은 건설분야의 탈현장 생산방식이나 디지털데이터 중심의 업무변화를 가속화 시키고 있어, 4차산업 관련 혁신기술과의 융복합 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 현장중심형 인재양성과 산업체 수요에 대응하기 위한 건설분야 캡스톤디자인 교육방향과 과정의 변화도 요구받고 있다. 본 연구는 3D프린팅 기술의 건설분야 연구동향을 고찰하고 일회용 콘크리트 폼라이너 제작과 적용성에 대한 기초연구를 수행하였다. 기업의 미래산업을 이끌 융합형 인재 육성이라는 관점에서 연구개발의 단계별 프로세스를 캡스톤디자인 교과내용으로 구성하고 실행하였다. BIM모델링, 3D프린팅 출력, 프로토타입 제작 및 검토 등의 각 단계별 프로세스를 적용하여 완성도 높은 시작품을 출력하였으며, 실용성과 확장성을 평가하기 위해 콘크리트 부재에 실증하여 교육적 경험과 기술적 완성도를 검증하였다. 연구결과 3D프린터로 제작된 콘크리트 폼라이너가 갖추어야 할 기본 요건을 제시하였고, 콘크리트 표면문양을 연출하는 기하학적 설계조건과 범위에 따른 변수연구를 통해, 완성도 높은 시작품을 제작하고 실증하여 연성재질의 폼라이너 제작특성과 적용효과를 가지적으로 확인하였고, 실용성과 확장성을 검증하였다. 교양수업 교과목과 차별화되는 건설분야 융복합에 기술에 기초한 캡스톤디자인 수업은 학생들의 집중과 관심을 유발하고 완성도 높은 성과물을 도출하였다. 본 연구의 결과는 건설분야 3D프린팅 응용기술의 연구개발 확대와 교육성과 평가에 대한 후속연구의 기초자료로 활용될 수 있고, 건설산업을 선도할 융복합 연구를 경험한 학생들의 취업과 창업에 기여할 것으로 판단된다.

Abstract The post-corona environment is accelerating the change in business methods of off-site construction and digital data. So, convergence research with innovative technologies is actively conducted, and changes in the process of capstone design education are also studied with great demand. This study considered the research trends of 3D printing technology in the construction field and performed basic research on the production and applicability of concrete form liners. From the perspective of fostering convergence-type talents leading the future, a step-by-step process of R&D was composed and implemented as the content of the capstone design curriculum. As a result, the basic requirements for a concrete form liner manufactured with a 3D printer were presented. Moreover, through a study of variables according to the geometric design conditions and the scope to produce a concrete surface pattern, the characteristics of the flexible material form liner production and the effect of its application were visually confirmed. Such a study also verified the practicality and expandability of flexible material form liner production. The results of this study can be used as basic data for further research on the expansion of 3D printing applied technology and for the evaluation of educational performance in the construction field. It is also expected to contribute to the employment and business startup of students.

Keywords : 3D-Printing, Concrete Form Liner, Capstone Design, Construction, BIM Modeling

*Corresponding Author : Seung-Woon Yoo(Catholic Kwandong Univ.)

email: swyoo@cku.ac.kr

Received July 13, 2021

Revised August 24, 2021

Accepted January 7, 2022

Published January 31, 2022

1. 서론

포스트 코로나시대의 건설산업은 건설현장, 인력, 자재 등을 비롯한 대부분의 영역에서 뉴노멀 시대에 맞는 형태로 변화가 일어나고 있으며, 디지털 데이터에 기반한 생산기술의 혁신과 OSC생산방식의 개발이 가속화되고 있다[1,2]. 4차 산업혁명 관련기술이 건설기술과 융복합 되는 생산성 향상기술 개발이 이어지고 있으며, 철근콘크리트 부재에 적용되고 있는 3D프린팅 활용기술도 그 중 하나로 볼 수 있다. 이와 관련된 최근의 연구는 콘크리트 3D프린팅, 비정형 거푸집의 제작, 디자인 플라이너 제작 등의 주제로 나누어 진행되고 있다.

콘크리트 3D프린팅 분야는 재료, 프린터, 출력형상, 구조안전성 등에 대한 개별연구와 상호복합성을 규명하기 위한 연구가 진행되고 있고[3-5], 아피스코어(Apis Cor)사는 두바이에 2층 건물을 독자적인 기술로 시공하였다[6]. 콘크리트 비정형 부재의 생산은 거푸집 제작이 관건이며 강재, 나무, 스티로폼, 텍스타일 등의 다양한 재료들을 이용한 주조기술과 생산관리에 대한 연구가 수행되고 있다[7,8]. CNC 가공으로 제작된 EPS 플라이너는 거푸집 내부에 설치되어 경제적이지만 콘크리트 측압에 의한 왜곡 발생문제를 해결하기 위해 최근 3D프린터를 이용한 플라이너의 출력과 품질관리에 대한 연구가 진행되고 있다[9,10]. 콘크리트 구조물에 문양을 연출하는 방식과 관련된 기초적인 연구는 실리콘 이용을 전제로 콘크리트 재료의 적정배합을 찾기 위한 실험적 연구[11,12]와, 3차원 설계프로그램을 이용한 모델링과 3D프린터로 출력된 거푸집에 폴리우레탄 용액을 사용하여 2단계의 작업방식으로 플라이너를 제작한 연구[13]가 있으나, 출력물을 그대로 현장에 적용할 수 있는 효율적인 방법의 연구가 요구된다.

한편, 현장 중심형 인재양성과 산업체 수요에 대응하기 위해 많은 대학에서 개설한 캡스톤디자인 교과목은 다양한 문제점을 나타내고 있다. 기업들은 빠르게 변화하는 산업환경에 대응하기 위해 글로벌 경쟁 속에서 4차산업혁명과 같은 미래사회를 견인할 융복합인재의 양성을 원하고 있기 때문에 기존과 같이 산업체 수요에 대응하는 실무능력 향상에 중심을 둔 캡스톤디자인 교과목 형태에서는 창의성이 결여되고 전공교과목의 연장이라는 인식을 바꿔 효과적인 수업이 되게 하기는 한계점이 있다.

따라서, 본 연구는 3D프린터를 활용한 플라이너 제작 분야 중에서 상징성 있는 문양이나 형태의 연출을 위해

재사용을 고려하지 않으며, 3D프린팅의 장점을 살려 낭비요소를 없앨 수 있는 일회용 문양거푸집 개발의 기초적인 연구를 수행하였고, 그 과정들을 캡스톤디자인 수업과정에 적용하였다. 이를 통해 기업이 적응해야 될 미래산업을 이끌 융합형 인재 육성이라는 관점에서 캡스톤디자인 교육의 방향을 설정하여, 단계별 개발과정을 경험하고 창의적으로 문제를 해결할 수 있도록 실행하였다. 개념정의, 기본설계, BIM모델링, 3D프린팅의 과정에서 변수연구를 위한 반복적인 출력과 수정을 거쳐 최종 시작품을 출력 하였고, 그 결과물을 콘크리트구조물에 실증하여 실용성과 확장성을 분석하는 사례연구를 수행하였다.

2. 캡스톤디자인 교육

기존의 공학교육은 이론교육에 치우쳐 실무설계 및 도구 활용능력 부족, 문제해결 능력 부족, 적응력 취약, 의사전달 및 공동작업 능력이 부족하였고[14], 산업계의 추가적인 교육에 대한 막대한 비용지출을 초래하게 되어, 많은 대학에서 캡스톤디자인 교과목을 개설하고 운영하고 있다. 그러나 산업체 수요에 대응하기 위한 교과목의 구성은 창의성이 결여되고 짜 맞추기식 전공과목의 연장된 수강과목으로 여겨지고 있다[15]. 캡스톤디자인 교육의 문제점을 해결하기 위한 다양한 연구가 수행되고 있지만[16], 공학 분야에서 수행되고 있는 연구는 대부분 전공분야의 종합설계에 기초한 표준화 교육법이나 교육 모형의 개발, 교육도구의 활용, 교육과정의 제안과 평가를 위주로 이루어지고 있다[17-19]. 건설분야의 경우 현업에서는 기존의 2D도면을 대신해 BIM도구를 이용한 3차원 데이터로 설계와 시공, 유지관리를 수행하는 디지털 데이터기반의 기술들이 급속히 적용되고 있고, 사업모델도 빠르게 변화하여 산업체가 원하는 기술자에 대한 역량기준도 달라지고 있는 것에 반하여, 대학 교육은 충분한 대응을 하지 못하고 있는 것이 현실이다. 4학년 학생을 대상으로 창의적 종합설계의 개념으로 진행했던 기존의 캡스톤디자인 수업은 토의를 통한 무제한의 아이디어 도출, 아이디어의 선정 및 구체화, 설계 결과물의 도출, 토의 및 평가의 과정으로 진행하여, 그동안 배운 전공지식을 바탕으로 스스로 아이디어를 도출하고 문제를 해결해 가도록 교육과정을 구성하였으나, 전공분야와 관련된 주제를 도출하는 단계에서부터 무제한적 범위, 팀원간 합의 실패 등의 이유로 선도적이고 실용적인 아이

디어 도출은 사실상 어려웠고 목표수준의 하향이 불가피하였다.

본 연구는 디자인씽킹 기반의 캡스톤디자인 과정을 운영한 결과로 창의적 문제해결 역량이 증진된 연구사례 [20,21]를 참고하여, 최종결과물이 수요자의 요구에 맞도록 시작품제작과 현장 적용성 검토를 포함하는 교육과정을 Table 1과 같이 구성하였다. 4차 산업혁명과 건설 분야의 기술혁신에 관련된 융복합 주제를 먼저 제시하고 업계의 트렌드와 필요성에 대해 공감하고 목표를 설정하는 과정과 아이디어 도출, 시작품제작이 가능하도록 구성하였으며, BIM모델링, 3D프린팅 출력, 프로토타입 제작 및 검토의 과정으로 진행되는 실습을 중심으로 팀 단위의 수업으로 계획 하였다.

본 논문은 다수의 팀 중에서 가장 우수하게 성과물을 도출한 팀의 결과물에 바탕을 두고 작성되었으며, 대조되는 수업모델의 단계별 진행현황과 결과물을 비교하는 방식으로 정량적 교육성과 분석에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Table 1. Sessions and Practices Activities

Week	Contents
0	Introduction
1	Teamwork fundamentals
2	Empathizing: Identification of a relevant need
3	Empathizing: Target user identification
4	Empathizing: user persona, user journeys
5	Definition: Final goals(concrete form liner)
6	Definition: Goal setting, objectives
7	Ideate: Brainstorming
8	Ideate: Short-list of solutions: Parametric study
9	Prototyping: 1 st week
10	Prototyping: 2 nd week
11	Prototyping: Second project production
12	Prototyping: 3 rd week
13	Prototyping: 4 th week
14	Test: Third project production
15	Test: Project closure
16	Final evaluation: Commercial availability

3. 콘크리트 폼라이너 설계

3.1 설계변수 연구

소성재료인 콘크리트에 적용하여 내구성을 확보할 수 있는 일회용 문양거푸집의 개발을 위해서는 보급형 3D 프린터를 이용한 제작방법을 비롯하여, 음각 또는 양각

에 대한 적정두께의 설정, 콘크리트 노출면에 대한 문양 연출 깊이 등의 설계변수 설정이 필요하다. 특히, 철근의 부각강도를 저해하지 않도록 설계기준에 따라 확보되어야 하는 콘크리트의 피복두께에 영향을 미치지 않도록 하는 것이 폼라이너 개발에서 가장 중요한 고려 항목이다. 쉽게 구할 수 있고 일반화된 3D프린팅 사용재료의 검토도 요구된다. FDM방식으로는 얇은 스킨형 제작이 어렵고, 강성 재질로는 콘크리트 부재의 곡선 적용이 불가하므로 분할제작과 휨에 대한 연성이 풍부한 재질의 검토도 필요하다. 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 두께는 부착성과 단차를 최소화하기 위해 1mm두께로 결정하였으나 도출부위와 평면부가 90도를 이루는 모서리부는 탈형시 콘크리트의 탈락의 방지, 출력시의 정밀도, 고무재질

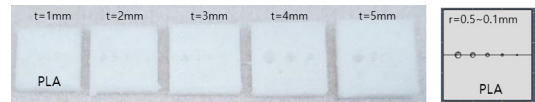


Fig. 1. Visual distinction test of curved form using PLA

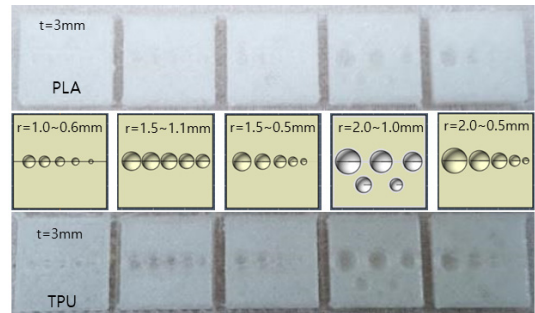


Fig. 2. Visual comparison of curved form output using PLA and TPU

재료의 적용성 등을 고려하기 위해 다양한 모델링과 출력을 통한 테스트를 실시하였다. Fig. 1은 곡선형태의 유관식별 테스트를 위해 저렴한 PLA재료로 두께 1~5mm, 곡선반지름 0.1~0.15mm 로 출력한 결과를 나타내며, t=3mm이상 r=0.3mm 이상일 때 유관으로 식별이 되는 것으로 평가되었다. Fig. 2는 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.

Fig. 3과 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 발생 하므로 돌출깊이를 연출 할 선형의 폭이 12mm일 경우에 깊이를 5mm로 설정하여, 시작품 제원의 폭과 깊이의 비를 1:2.4 비율로 적용하도록 결정하였다.



Fig. 3. Confirmation of shape production and applicability test using clay



Fig. 4. Adhesive comparison for connecting parts of TPU
(a)Alteco-ACE-D (b)LOCTITE 401
(c)3M-Plastic (d)Sico Met 8300

분할된 파트의 접합을 위해 Fig. 4와 같이 쉽게 구입이 가능한 시아노아크릴레이트(cyanoacrylate) 계열의 경질과 연질 제품에 대해 검토하고 테스트를 수행하였다. 순간접착제로 잘 알려져 있으며, 대부분 고무나 플라스틱에 대해 빠른 접착력과 유동성을 가지고 있으나, 접착 후 휨과 내구성 측면에서 우수한 성능을 보인 LOCTITE 401을 최종적으로 사용하였다.

3.2 BIM 모델링

3D 프린팅의 모델링을 지원하는 소프트웨어는 3차원

그래픽을 구현하는 다양한 툴이 있으나, 교육적 차원에서 건설분야의 디지털데이터 전환을 이끌고 있는 BIM 툴을 이용하였다. 모델링 대상은 콘크리트 부재 중 지역의 상징적 문양이나 로고를 적용하는 산사태 예방을 위한 친환경 에코필러 사방댐을 선정하고, Fig. 5와 같이 기둥단면의 표면부에 가톨릭관동대 로고를 상징적으로 연출하는 것을 목표로 설정하여, 모델링을 수행하였다 [22].

프리카스트로 제작되는 중공트랙형 기둥단면의 크기는 가로 1,500mm, 세로 1,000mm 이므로 곡선부가 없는 기둥 측면부(폭 500mm)에 로고의 세로 크기를 600mm로 한정하고 축적에 따라 가로폭을 결정하였다. 모델링 완료 후 출력을 위해 가로 200mm 세로 200mm 크기의 9개 파트로 최종 분할하였다. 한 번의 과정으로 성공적으로 제작하기는 학생들의 경험과 실험자료가 부족하므로 BIM모델링을 라이브러리 형태로 제작하고 상세한 치수들은 변경하면서 여러번의 프로토타이핑을 통해 최종 결과물을 출력하도록 계획하였다. 상용 BIM 툴에서 새로운 라이브러리 제작은 전문적인 프로그래밍 기술이 동반되어야 가능하므로 제한된 수업시간 내에 시작품을 제작하기 위해서 난이도를 조정하였다.



Fig. 5. Eco-pillar debris barrier and test specimen

비주얼 프로그래밍은 사용자들에게 향상된 직관성을 제공하여 소요되는 프로그래밍 시간을 대폭 감소시키며 코딩능력이 없는 초보자도 쉽게 사용하도록 지원된다 [23]. 학생들에게 최소한의 BIM 모델링과 비주얼 프로그래밍 기법을 교육하고 폼라이너를 디자인 미션을 부여하였다.

모델링 교육은 Fig. 6의 절차에 따라 거푸집의 베이스 패널 제작을 위한 다각형의 솔리드 모델링을 시작으로 패널 상단 폼라이너의 외곽선을 입히고 기본 형태를 생성시켰다. 외곽선에서 다각형 내부로 오프셋(off-set)하고 외곽선과 내각선을 로프트(loft)하여 솔리드 객체를 생성하고 문양의 음각 높이를 결정하였다.

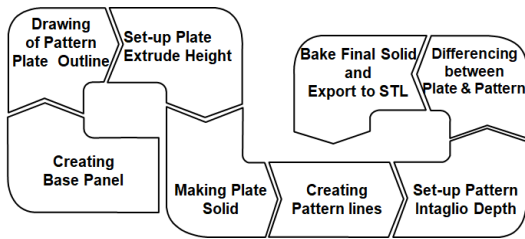


Fig. 6. Modeling education procedure for form liner

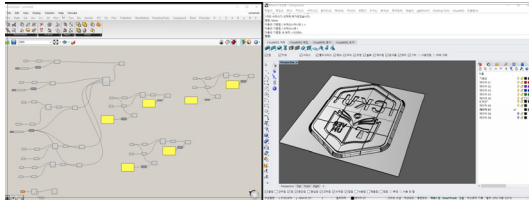


Fig. 7. Visual programming and Modeling using BIM tool

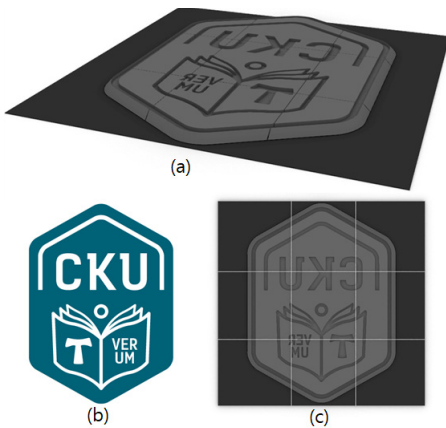


Fig. 8. Modeling results for 3D printing
 (a)3D Model (b)Original logo
 (c)Divided model into 9 parts

폼라이너의 패턴 라인을 생성하기 위해 로고의 평면 이미지 파일은 불러오기(import) 명령 후 축적(scale)을 설정하게 된다. 로고 평면 이미지를 면(face)으로 변환하고 양각 깊이를 설정하여 솔리드 객체로 생성한 후 음각 솔리드에서 제거하여 모델을 완성하고 저장 후 STL파일로 내보내기(export) 과정으로 종료하였다. 모델링은 Rhino를 이용하였고 CADIAN 3D 소프트웨어를 사용하여 STL확장자로 변환하였다. Fig. 7은 프로그래밍과 모델링 수행 화면이며 Fig. 8은 완료된 3D 모델과 평면 분할도를 나타낸다.

4. 시작품 출력 및 현장적용

4.1 3D프린팅

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.

Table 2. Main Specifications for FINEBOT Z420

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	



Fig. 9. Disposable form liner printed by 3D printer

Table 2는 3D프린터의 주요 특성을 나타내며, 최대 출력크기 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 폴리락틱엑시드(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.

TPU의 경우 우수한 탄성과 기계적강도, 내마모성과 투명성이 우수하다[24]. 본 연구에서는 변수 연구를 위한 출력에는 PLA를 사용하였고, 최종 시작품은 곡선부에도 적용할 수 있도록 TPU소재를 적용하였다. Fig. 9와 같이 잔여 소재를 이용한 가출력과 매칭 테스트를 통해 마지막으로 모델링에 대한 수정이 이루어진 후 TPU소재를 적용한 최종 파트를 출력하고 본딩시켜 플라이너를 완성하였다.

4.2 현장적용

3D 프린터로 최종 출력된 플라이너(일회용 문양거푸집)를 콘크리트 에코필라 사방댐의 성능실험을 위해 제작되는 실물모형 측면부에 적용하여 거푸집내부의 설치과정과 탈형후의 문양연출정도 및 적용성 등을 검토하였다. Fig. 10과 같이 콘크리트 거푸집 탈형 후 남아 있는 플라이너를 제거하여, 최종적으로 완전하게 형성된 로고를 Fig. 11에서 확인할 수 있다.



Fig. 10. Attached form liner after removal of concrete form



Fig. 11. Final logo clearly engraved on concrete columns

실증과정을 통해 얻은 개선점과 특징은 먼저, 거푸집에 플라이너를 설치하는 과정에서 베이스 지지면 두께 1mm는 콘크리트 양생 후 탈락한 경우가 있으므로, 1mm 이상으로 적용 되어야하고 두께변화로 인한 단차발생이 고려되어야 한다. 또한, 9분할 출력된 각 파트가

연결되는 부위에서 콘크리트 박리발생 가능성이 높고 시각적 단절느낌을 개선하도록 출력과 연결작업의 정밀도 향상이 요구된다. TPU의 재료의 선택은 분리제 도포 없이도 콘크리트 손상이 전혀 없는 상태로 탈형이 가능하게 했을 뿐 아니라, 재료의 연성특성이 양생과정에서 발생하는 건조수축 응력을 흡수하여 균열을 방지하였고 향후 콘크리트 노출부의 내구성을 확보하는데 큰 효과를 보일 것으로 예상된다.

한편, 구조물의 규모에 따라 음각, 양각의 높이차와 폭에 대한 변수연구가 콘크리트의 재료특성을 고려하여 반드시 수행되어야 시행착오를 최소화 할 수 있으며, 내구성 향상을 위해서는 탈형 후 장기 마모상태의 관찰이 요구된다. 일회용으로 사용된 문양을 금형제작 할 경우 비용이 많이 들게 되나, 3D 프린터를 사용하여 가장 경제적인 방법으로 상징물 제작이 가능할 것으로 기대된다.

추가적으로, 앞선 3차원 모델링과 프린팅의 압축된 교육과정을 통해 시작품을 제작하고 콘크리트 구조물에 직접 실증을 수행하여, 첨단기술과 융합된 콘크리트의 특성과 기술의 활용성에 대한 사례를 충분히 체험하는 교육이 수행되었다. 특히, 직접적인 현장경험으로 현업 활용 및 확장 가능성이 가시적으로 검증되었고, 첨단기술과 융합된 건설분야 캡스톤디자인 교육의 방향성 설정이 실용적인 측면에서의 교육적 효과를 충분히 나타낼 것으로 예상된다.

5. 결론

본 연구는 3D프린터를 활용한 일회용 문양거푸집 개발의 기초적인 연구를 수행하였고, 단계별 개발과정을 고려한 캡스톤디자인 수업과정을 제시하였다. 개념정의, 기본설계, BIM모델링, 3D프린팅의 프로세스로 일회용 문양거푸집 개발의 변수연구를 수행하여 최종 시작품을 출력 하고, 실제 콘크리트구조물에 적용하여 실용성과 확장성을 분석한 연구를 통해 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 콘크리트 양생과정에서 건조수축에 따른 변위를 수용할 수 있는 재질의 사용, 음각부를 기준으로 콘크리트 피복두께의 확인, 콘크리트 표면의 내구성을 확보하기 위한 기하학적 변수고려 등 3D프린터로 제작된 콘크리트 플라이너가 갖추어야 할 기본 요건을 연구를 통해 제시하였다.
- 상징적이고 독창적인 콘크리트 문양의 연출은 일회

- 용으로 사용되는 사례가 많아 기존의 제작법 보다 3D프린터를 활용할 경우 경제성과 디자인 자유도를 높일 수 있음을 확인하였다. 또한, 폼라이너의 실증 시공을 통해 확인된 문제점은 설계단계에서부터 개선이 필요하나, 연성재질의 효과로 박리제 없이도 탈형이 충분히 가능하였고 균열이 전혀 발생하지 않아 최종 시제품 실용성과 확장성은 충분히 검증되었다.
- 3D프린팅과 연계한 BIM모델링 교육은 건설산업의 디지털변화를 이끌고 있는 도구의 활용범위 및 현황과 전반적인 사용법을 학습하고 3D프린터와 연계되는 실습을 통해 가상의 3차원 모델의 실체를 확인할 수 있는 경험을 제공하였고, 교양수업에서 개설되는 3D프린팅 교육과는 차별화되는 건설분야와의 융복합 기술에 기초한 교육의 효과는 수업의 집중과 관심을 유발하여 완성도 높은 성과물을 도출하였다.
 - 건설분야에 도입되고 있는 3D프린팅 관련기술의 개발 및 적용현황을 고찰하고, BIM 모델링과 연계한 폼라이너 제작에 대한 연구개발 과정을 캡스톤디자인 수업에 적용하여 교육과정을 제시하고 실행하였을 뿐만 아니라, 시제품개발과 실증을 통해 목표한 성과를 달성하였으나, 교육적 성과와 관련된 정량적 평가는 본 연구에서 다루어지지 않아 후속 연구가 필요할 것으로 사료된다. 그럼에도 불구하고 본 연구의 결과는 향후 급속히 발전하는 디지털중심의 사회변화 속에서 융복합 연구를 경험한 학생들의 취업과 창업에 기여할 뿐만 아니라, 산업을 선도하는 인재육성에 맞춘 다양한 커리큘럼 개발의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] M. G. Kim, "Minimizing Impact of COVID-19 on Construction Industry in Korea", *Korean Society of Civil Engineers Magazine*, Vol.68, No.9, pp.12-13, Sep. 2020.
- [2] Y. D. Lee, "Construction Industry in the New Normal Era after COVID-19", *Review of Architecture and Building Science*, Vol.64, No.8 pp.46-48, Aug. 2020.
- [3] 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.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2018.30.4.345>
- [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] 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.
DOI: <https://doi.org/10.9712/KASS.2015.15.3.061>
- [6] M. Alderton, A Brave New World of Construction 3D Printing Needs Brave New Building Codes[Internet]. Autodesk Inc, c2021 [cited 2021 Jun 6], Available From: <https://redshift.autodesk.com/3d-printing-building-codes> (accessed Jun. 6, 2021)
- [7] G. J. Kim, D. H. Lee, S. K. Kim, "Development of Casting Technology for Freeform Concrete Segments", *Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference*, The Korean Institute of Building Construction, Yeosu-City, Korea, pp.66-67, May 2014.
- [8] 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 of Building Construction Conference*, The Korean Institute of Building Construction, Jeju, Korea, pp.33-34, May 2018.
- [9] 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.
DOI: <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2018.18.1.089>
- [10] D. Y. Lee, J. H. Hong, H. H. Cho, K. I. Kang, "A Preliminary Study to Develop Manufacturing System of Free-Formed Form using QFD", *Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference*, The Korean Institute of Building Construction, Korea Maritime University, Korea, pp.60-61, May 2017.
- [11] H. J. Lim, G. K. Kim, B. C. Kim, W. J. Kim, J. W. Jung, S. J. Jung, "A Fundamental Study for Developing Design Forms Application in Building Constructions", *Proceedings of the Korea Concrete Institute Conference*, KCI, Korea, pp.1053-1058, November 2001.
- [12] J. K. Oh, M. H. Gong, S. Y. Cho, K. H. Jung, S. J. Jung, J. Y. Jung, "Properties of Surface Grossing on the Design-Concreat by Developing of Design-Forms for Building Wall", *Journal of the the Korea Institute of Building Construction*, Vol.3, No.1 pp.131-138, Mar 2003.
DOI: <https://doi.org/10.5345/JKIC.2003.3.1.131>
- [13] S. J. Park, N. S. Dong, H. R. Kang, C. S. Shim, "Design and Constructability Improvement of 3D Concrete

- Formworks through Analysis of Construction Applications”, *Journal of KIBIM*, Vol.7, No.1 pp.1-8, Feb 2017.
DOI: <https://doi.org/10.13161/kibim.2017.7.1.001>
- [14] D. J. Song, “On the problems and improvement directions of engineering education (focused on the case of the Department of Mechanical Engineering, Yeungnam University)”, *Engineering education and technology transfer*, Vol.10, No.2 pp.85-92, 2003.
- [15] T. S. Lee, Y. J. Jun, D. W. Lee, B. C. Chang, “Present Situation and Student Satisfaction of Engineering Capstone Design Course in Engineering Colleges of Korea”, *Journal of Engineering Education Research*, Vol.12, No.2 pp.36-50, 2009.
- [16] S. H. Han, “A Fundamental Study on Development of a Capstone Design Instructional Method: Based on ISO 10015,” *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, Vol.6, No.12, pp.133-141, Dec. 2016.
DOI: <http://doi.org/10.35873/ajmahs.2016.6.12.012>
- [17] S. H. Park, J. Y. Jung, Y. H. Ryu, “Development of Instructional Activity Support Model for Capstone Design to Creative Engineering Education”, *Journal of fisheries and marine sciences education*, Vol.20, No.2 pp.184-200, 2008.
- [18] H. J. Kang, *A Study on the creative convergent human resource model of PBL-based in Wikifactory environment*, Master’s thesis, Dept. IT Convergence Engineering Graduate School of Gachon University, Seongnam, Korea, 2016.
- [19] K. Park, “Applications of 3D CAD and 3D Printing in Engineering Design Education”, *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol.31, No.12, pp.1085-1091, Dec. 2014.
DOI: <https://doi.org/10.7736/kspe.2014.31.12.1085>
- [20] J. H. Jeon, “Study of a Case of the Operation of a Capstone Design Camp applying Design Thinking”, *Korean Society of Mechanical Engineers Spring and Autumn Conference*, KSM, pp.204-205, November 2017.
- [21] T. Brown, K. Barry, “Change by Design”, *Journal of product innovation management*, Vol.28, No.3, pp.381-383, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2011.00806.x>
- [22] H. G. Kim, “Development of Precast Concrete Method for Eco-Pillar Debris Barrier with Hollow Cross-Section”, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.19, No.3 pp.542-552, Mar 2018.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.3.542>
- [23] J. H. Hong, *The Development of Physical Progress Measurement Model base on Visual Programming*, Master’s thesis, Graduate School of Kyung Hee University, Seoul, Korea, pp.1-69, 2019.
- [24] Y. J. Han, J. J. Kim, “A Study on the Mechanical

Properties of Knit Fabric Using 3D Printing -Focused on PLA, TPU Filament-”, *Journal of Fashion Business*, Vol.22, No.4 pp.93-105, Sep 2018.
DOI: <https://doi.org/10.12940/jfb.2018.22.4.93>

김 현 기(Hyun-Gi Kim)

[정회원]



- 2013년 9월 : 건국대학교 대학원 사회환경시스템공학과 (공학박사)
- 2005년 10월 ~ 2012년 11월 : (주)동호 기술연구소/구조부 부장
- 2016년 3월 ~ 2019년 8월 : 가톨릭관동대학교 에너지플랜트공학과 교수
- 2019년 9월 ~ 현재 : 다스코(주)기술연구소 상무

<관심분야>

구조공학, 해상풍력발전, 교량공학

유 승 운(Seung-Woon Yoo)

[종신회원]



- 1985년 2월 : 연세대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : KAIST 토목환경공학과 (공학박사)
- 2005년 7월 ~ 2006년 8월 : 위스콘신대학교 방문교수
- 1995년 3월 ~ 현재 : 가톨릭관동대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

구조공학, 합성구조, 구조물유지관리