

국내 건축분야 3D 프린팅 기술의 실무 도입에 관한 인식

신재영, 원지선, 주기범*, 서명배, 박형진
한국건설기술연구원

The Perception of 3D Printing Technology for Adoption in Domestic Architecture Industry

Jaeyoung Shin, Jisun Won, Ki-Beom Ju*, Myoung-Bae Seo, Hyung-Jin Park
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 오늘날 3D 프린팅 기술은 다품종 소량 생산 및 맞춤형 생산, 생산 비용 및 시간 절감의 가능성이 가시화되고 있으며, 그 활용 범위가 제조업분야에서 건축분야로 확장되고 있다. 최근 국외를 중심으로 3D 프린팅 기술을 이용한 건축물, 건축 부재 및 부품을 제작한 사례가 등장하고 있으며, 국내에서도 건축 설계 및 시공 기술과 3D 프린팅 재료 및 장비 등 제반 기반 기술 개발이 이루어지고 있다.

건축분야의 3D 프린팅 기술은 도입 초기 단계로 시제품 제작 수준이나, 향후 상용화 단계로 발전하기 위해서는 현 업계의 실정을 고려한 현실적이고 체계적인 도입 전략이 필요하다. 이에 본 연구는 국내 건축분야 3D 프린팅 기술이 상용화 단계로 도입하기 위한 기반 연구로서, 3D 프린팅 기술의 도입에 대한 실무자 인식에 대한 현황을 파악하고자 설계, 시공, 자재 및 3D 프린팅 전문가를 대상으로 설문조사 및 면담을 실시하였다.

인식 현황 분석 결과, 실무에서는 3D 프린팅 건설 기술이 일반 건설시장의 대체 형태보다는 비정형 건축물, 특수한 디자인 형태의 소형 건축물, 인테리어 시장 중심으로 상용화될 것으로 전망하고 있었다. 상용화가 기대되는 3D 프린팅 건축 상품은 부재 및 부품 단위 수준으로 제한적이며, 경제성과 기능성보다는 심미성이 상품 경쟁력의 가장 큰 요인으로 인식하고 있었다. 향후 시설물 단위의 상품으로 상용화 가능성을 높이기 위해서는 재료와 장비의 성능, 안정성 확보와 함께 건축에 특화된 공법 및 정책과 제도가 요구되는 것으로 파악되었다.

Abstract As Additive Manufacturing (AM), so-called 3D printing technology, has become visualized, its potential for Mass-Customization, production costs and time savings has extended the scope of utilization to the architecture domain. Several cases that produced facilities, building elements and components using 3D printing technology have been announced mainly on the outside. There is also the development of foundation technologies including 3D printing-specific materials and equipment in Korea.

As 3D printing technology in the architecture domain is currently in the early stages of adoption, realistic and systematic strategies are needed to advance it to the commercialization stages, considering the current circumstances of the industry. With this background, this study surveyed experts to investigate the status of the perception of 3D printing technology for adoption in domestic architecture industry.

3D printing technology is expected to be commercialized in areas of irregular-shape buildings and interior markets rather than general construction area. 3D printed products expected to be commercialized are limited to the level of building elements and the aesthetic factor is regarded as the most competitive factor. To enhance the possibility of the commercialization of 3D printed products, the 3D printing-specific construction method, related policies and systems are required along with the performance and stability of the materials and equipment.

Keywords : Architecture industry, Perception of the professionals, Questionnaire, 3D printed-product, 3D printing technology

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 17AUDP-B121595-02).

*Corresponding Author : Ki-Beom Ju (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

Tel: +82-31-910-0141 email: kbju@kict.re.kr

Received October 10, 2017

Revised November 2, 2017

Accepted November 3, 2017

Published November 30, 2017

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

Computer Aided Manufacturing(CAM) 기술의 일종으로서 Additive Manufacturing(AM, 적층식 제조기술) 기술, 통칭 3D 프린팅 기술 [1]은 시간·공간적 제약에서 벗어나 소비자 지향적이며, 잉여 재료를 줄이는 등 친환경적인 생산방식과 이로부터 생산비용 절감 등을 장점으로 국내외에서 차세대 제조 기술의 하나로 집중되고 있다 [2,3]. 3D 프린팅 기술은 완성품에 근접하게 생산 가능한 수준으로 정교해지면서 제조업 외에도 건축분야까지 활용 범위가 확장되고 있다[3]. 또한, 건설 자동화 관점에서 로봇 기술을 접목한 새로운 시공 접근 방법의 하나로써 활용될 수 있을 것으로 기대되고 있다[4].

최근에는 건축 모형 외에도 시설물, 부재 및 구조체, 조형물 등 자체 생산 가능한 수준으로 3D 프린팅 기술을 적극적으로 도입 및 활용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 관련 시장이 형성되고 있는 추세이다. 특히 국외를 중심으로 조형물, 건축 부재 및 부품과 시설물을 제작한 실증사례가 발표되고 있으며, [4-27]최근 국내에서도 3D 프린팅 기반 건축 설계 및 시공기술, 폴리머기 및 모르타르 기반 특화 재료 및 장비 개발 등 관련 기반 기술 개발이 이루어지고 있다 [2,28]. 제조업에서와 마찬가지로 기성제품이 아닌 맞춤형 주문 제작에 유용하며[29], 설계와 시공이 연계되어 기존 공사기간을 단축하는 등 건축분야와 3D 프린팅 기술 접목 효과가 가시적으로 입증되고 있다[2,3,5].

제조업 분야의 경우, 3D 프린팅 기술의 활용 단계가 상용화 수준으로 들어섰으며, 항공기의 구조 부품 등 특수한 부품을 찍어내기 위해 3D 프린팅 기술을 이용한 금형 및 맞춤형 제품 생산을 실용화하고 있다[30]. 또한, 소비자 중심의 맞춤형 디자인 상품에 대한 수요가 증가함에 따라 맞춤형 디자인 콘텐츠 상품 개발을 위한 새로운 디자인 비즈니스 모델이 등장하고 있다[31].

반면, 건축분야는 최근에 3D 프린팅 기술을 도입하기 시작하여 현재는 시제품 제작 수준의 단계에 있다[32]. 국내 건축분야 3D 프린팅 시장이 시제품 단계에서 상용화 단계로 발전하기 위해서는 업계의 환경과 실정을 고려한 현실적이고 단계적인 도입 전략이 요구된다. 이를 위해 우선적으로 기술 수요자인 건축실무자의 시각에서 현재의 3D 프린팅 기술 수준과 도입에 대한 인식을 진

단할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 국내 건축분야에서 3D 프린팅 기술의 실무 도입과 상용화에 대한 실무자의 인식 현황을 살펴보고, 이를 기반으로 국내 실정에 맞는 건축분야의 3D 프린팅 상품 및 기술 개발 방향을 모색하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 건축실무자 관점의 3D 프린팅 기술 인식 파악을 위하여 장비와 출력방식, 재료 보다는 시공 대상 즉, 3D 프린팅 출력물을 중점적으로 다루었다. 3D 프린팅 방식으로 출력되는 건축물과 전통 방식으로 시공되는 건축물을 구분하기 위해 3D 프린팅 건축 상품으로 표현하였다. 이는 3D 프린터로 출력되는 건축물과 건축물을 구성하는 부위, 부재 및 부속품 등을 포함하는 개념이다.

본 연구에서는 3D 프린팅 건축 상품의 유형을 기성제품의 제작방식을 변경하는 대체상품과 3D 프린팅 방식에 최적 설계되어 개발된 신상품으로 구분한다. 현재 건설에 특화된 3D 프린팅 기술의 수준이 초기라는 판단하에 대체상품을 우선적으로 다루었다.

이와 같은 연구범위와 개념을 바탕으로 국내 건축분야 3D 프린팅 기술 실무 도입에 대한 인식 현황 파악을 위해 다음과 같은 절차로 연구를 수행하였다.

첫째, 국외의 3D 프린팅 건축 사례를 조사하여 국외에서 시도되고 있는 3D 프린팅 건축 상품의 종류와 수준을 파악하였다.

둘째, 국내 건축분야 3D 프린팅 기술에 대한 인식 조사를 위해 실무 도입 시기와 전망, 상용화가 기대되는 3D 프린팅 건축 상품, 정착을 위한 저해요소를 주제로 상세 설문항목을 구성하였다.

셋째, 건축분야의 3D 프린팅 기술 적용에 대해 이해가 높은 설계, 시공, 자재 및 3D 프린팅 전문가를 대상으로 설문과 면담을 진행하고 그 결과를 분석하였다.

넷째, 설문 및 면담 결과로 도출된 인식 현황을 바탕으로 국내 건축분야 3D 프린팅 기술 도입을 위한 요건 등 해결방향을 제시하였다.

2. 국외 3D 프린팅 건축 사례 조사

건축 분야의 3D 프린팅 기술은 ‘시간/공간적 제약’,

‘기술의 제약’, ‘시장의 제약’, ‘생산의 제약’ 등이 존재하는 현 건축 산업을 극복할 수 있는 하나의 기술로서 주목되고 있으며[2], 2000년대부터 미국, 영국, 네덜란드, 이탈리아, 중국 등에서 핵심기술을 개발해오고 있다. 최근에는 국외를 중심으로 관련 시장이 형성되고 있는 단계이며, 시설물, 부위, 부재 및 부속품 등을 제작하기 위한 시도를 하고 있다. 본 장에서는 국외 3D 프린팅 건축 사례[4,8-27]분석을 통해 3D 프린팅 건축 상품의 종류와 제작 수준을 살펴보고자 한다.

Table 1. Cases of 3D printed product in architecture industry - Facilities
















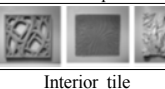




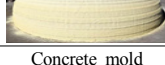
Category	Fabricated Object	Material	Institution/Company
Facilities [8,9,10,11,12,13,14,15]	 small-size house	Concrete	Apis Corp.
	 villa	Concrete	Winsun
	 ancillary building (Hotel)	Concrete	Lewis Yakich + Andrey Rudenko
	 Cabin	Bio-Plasitic	DUS Architects
	 Pavilion	Concrete	Andrey Rudenko
	 Pavilion	Cement polymer	Ronald Rael + UC Berkeley
	 cycle bridge	Concrete	Technical University Eindhoven + BAM
	 footbridge	Concrete	IAAC

Table 2. Cases of 3D printed product in architecture industry - Elements & Parts

Category	Fabricated Object	Material	Institution/Company
Elements [16,17,18,19,20,21]	 Column	Concrete	XtreeE
	 wall/ ceiling	Concrete	IAAC
	 Column	Sand	Emerging Object Corp. + ExOne
	 Partition	Plastic	Endograft
	 lighting	Plastic	leFabShop (Samuel Bernier)
	 Chair	Wood	4AXYZ
	 Exterior panel	Ceramic	Emerging Object Corp.
	 Interior tile	Sandstone	University of Toronto
	 Block	Wood	Emerging Object Corp.
	 Ceramic brick	Ceramic	DesignLab Workshop
Components (Parts) [22,23,24,25,26,27,4]	 Joint	Steel	Arup.
	 Column connection skin	Nylon	Skanska
	 Concrete mold	Polyurethane foam	MIT

시설물 및 건축 부재와 같이 구조적 안정성이 요구되는 대상물[8-17]은 콘크리트를 이용하여 출력된 사례가 많았으며, 시공성 및 출력물의 강도를 확보하기 위해 콘크리트 원재료를 기본으로 유리섬유, 탄소섬유 등이 보강된 재료를 사용하였다. 그러나 슬래브 혹은 계단과 같이 수평 하중을 받는 부재를 제작하기에는 재료의 강도에 한계가 있다 [5]. 또한, 출력 대상의 규모에 따라 출력 후 조립하는 방식이 활용되는 경우 아직 결합 방식에 대한 공론화된 기술적 해결책이 정립되지 않은 상태이다. 이외에도 건물 설비는 3D 프린팅 건설 과정에서 고려되지 않고 있어 3D 프린팅 건설에 특화된 설계, 시공, 유지관리 프로세스 및 검증 체계가 필요할 것으로 보인다.

내외장재, 연결부 부품 및 가구 등은 폴리머, 금속, 세라믹, 목재, 등 다양한 소재가 개발, 활용되고 있다 [19-27]. 구조 안정성 및 강도가 크게 요구되지 않는 내장재 및 가구의 경우, 재료와 규모에 따른 3D 프린팅의 기술적 한계에서 벗어나 디자인 자유도가 높은 형상과 재료의 질감을 실현시키기 위해 3D 프린팅 기술이 활용되고 있다. 건축물 및 부재와 대비하여 건축자재 및 소품은 시제품 및 상용화 수준에 도달하고 있다. 조명, 타일 균의 경우 실제 상품으로 판매 및 유통되고 있는 사례가 있으며[20,33]일부 사례를 통해 완성된 상품이 아닌 디자인(모델) 자체를 유통하는 생산과 소비가 연결된 새로운 소비 형태를 확인할 수 있었다[34].

최근 건축분야에서 3D 프린팅 기술을 활용하기 위해 콘크리트, 폴리머, 금속, 세라믹 외에도 천연재료 및 폐기물을 활용한 특수 재료 등 다양한 3D 프린팅 재료와 이를 활용하기 위한 장비가 개발되고 있는 추세이다. 하지만 상품의 규모와 구조성능 등을 고려했을 때 활용 가능한 재료의 폭이 제한적이며, 장비에 따라 재료 선택의 범위가 국한될 수밖에 없다. 이에 현 수준의 3D 프린팅 건축 상품은 경제성, 효율성 등 상품성이 확보되지 않은 실험체 혹은 시제품 수준으로 파악되고 있다.

재료와 장비의 특성은 3D 프린팅 상품의 성능에 결정적인 요인으로 작용될 수 있다. 향후 3D 프린팅 건축 상품을 기획하기 위해서는 소재, 장비 및 제작 방식 등이 종합적으로 고려되어야 할 것이며, 더 나아가 3D 프린팅 건축 상품이 상용화 수준으로 개발하기 위해서는 자유로운 디자인 구현과 경제성 및 기능성, 내구성 등을 포함한 성능과 품질의 확보가 중요한 과제일 것으로 판단된다.

3. 국내 3D 프린팅 건축업계 인식 조사

본 연구는 국내 건축분야 3D 프린팅 기술의 상용화 방향을 검토하기 위한 기반 연구로서, 현재 건축분야에서 활용되는 3D 프린팅 기술 수준에서 기성 상품의 대체상품으로서 상용화가 기대되는 3D 프린팅 건축 상품과 3D 프린팅 기술의 실무 도입에 대한 실무 인식 현황을 조사하기 위해 다음과 같이 설문조사를 실시하였다.

3.1 설문 개요

설문 내용은 건축분야 3D 프린팅 기술의 실무 도입, 3D 프린팅 건축 상품, 3D 프린팅 기술 정착을 위한 해결과제와 관련된 항목으로 구성하였다. 응답방식으로는 단일 선택, 척도 평가 및 우선순위 결정과 같은 폐쇄형 질문과 전문가의 다양한 의견을 수렴하기 위한 개방형 질문을 사용하였다 (Table 3).

Table 3. Evaluation item in questionnaire

Category	Details	Response mode
Perception of introduction of 3D printing Technology	Time of settlement of 3D printing technology in architecture & construction domain	Single selection
	Intention of adopting 3D printing technology	Single selection
	Preceding conditions for commercialization	Order of priority
Perception of 3D-printed architectural products	Assessment of aesthetic, economical, functional factors	5point scale assessment
	View on 3D-printed architectural products	Description of opinion
Challenges for settlement of 3D printing technology	Prospect of 3D printing technology in architecture & construction domain	Description of opinion
	Obstacles to settling 3D printing technology	Description of opinion
etc.	Understanding of 3D printing construction & Respondents' background	Single selection & Description of opinion

3D 프린팅 건축 상품과 관련된 세부 항목으로, 건축 상품의 성능 평가를 위한 대상 후보를 도출하는 작업을 진행하였다. 우선 3D 프린팅 건축 상품의 범위를 설정하기 위해 건설정보 분류체계를 참조하여 시설, 부위 및 자재 등을 기준으로 상품군을 분류하였다. 기존 사례 외에도 3D 프린팅으로 제작 시 상품가치가 있는 건축 상품 아이템을 추가 도출하기 위해 전문가 자문 회의를 진행

하였으며, 최종적으로 Table 4와 같이 29개의 후보군으로 정리되었다. 상기 3D 프린팅 건축 상품은 소비자 요구 기반으로 제작된다는 전제로, 비정형 요소를 가진 상품을 검토 대상으로 설정하였다. 3D 프린팅 기술 활용 시 기대되는 평가 요소로 심미성, 경제성, 기능성을 설정하였으며, 이에 대한 정확한 판단을 내리기는 어려우나 전문가 입장에서 직관적으로 판단했을 때 점수를 부여하도록 요청하였다. 또한, 제시된 상품 후보군 이외에 가능성 있는 상품의 종류와 이유에 대한 의견을 서술하도록 하였다.

Table 4. Result of 3D printed architectural products via expert meeting

3D printed architectural products			
1	Column	16	Lightweight concrete panel
2	Beam	17	Tile
3	Wall	18	Window framing
4	Slab	19	Ceiling Materials
5	Curtain wall	20	metal panel
6	Stairs	21	Laminate/ Board
7	Foundation	22	Flooring
8	Mold(Formwork)	23	Balcony & Stair railing
9	Temporary Facility (Supporter)	24	Unstandardized Metal joint
10	Plumbing equipment	25	Artificial rock
11	Machine equipment	26	Decorative fence
12	Electric equipment	27	Smart mobile house
13	Furniture	28	Smart mobile guard
14	Lighting	29	Smart mobile toilet
15	Brick, Block	-	-

본 설문조사에서는 설계, 시공 및 3D 프린팅 분야의 전문가 14명을 대상으로 2017년 2월에 두 차례에 걸쳐 진행되었다. 응답자의 직종은 설계, 시공 및 자재 분야 57%(8명), 3D 프린팅 분야 43%(6명)로 구성되며, 응답자의 직급분포는 임원급 57%(8명), 부장급 43%(6명)이다. 설문결과에서는 부장급을 관리자급으로 표현하였다.

3.2 설문 및 면담 결과

3.2.1 3D 프린팅 기술 건축 도입에 대한 인식

국내 건축업계의 3D 프린팅 기술에 대한 전반적 인식을 파악하고자 실제 현장 도입의사와 기술의 안정화 예상시기 그리고 도입을 위해 필요한 기술개발 우선순위에 대하여 조사하였다.

3D 프린팅 기반 건설기술의 현장 도입 의사와 관련하여 ‘매우 있음’은 50%, ‘보통’은 50%로 나타났다. ‘매우

있음’의 응답자 분포를 살펴본 결과 임원급이 72%, 관리자급이 28%로 조사되어 의사결정권을 가진 임원급이 새로운 기술 도입에 보다 적극적인 것으로 분석된다.

3D 프린팅 기반 건물시공 및 건축 자재 생산의 정착 및 안정화 예상시기에 대하여 ‘6~10년 이내’로 답변한 응답자는 79%, ‘10~20년 이내’로 답변한 응답자는 11%를 차지하였다. 임원급 중 ‘6~10년 이내’라 응답한 사람은 88%, 관리자급 중에서는 67%로 3D 프린팅 건설 전망에 대하여 임원급이 안정화 시기가 빠를 것으로 예상하고 있다.

3.2.2 3D 프린팅 건축 상품의 인식

3D 프린팅 방식으로 생산하였을 때 기존 제작 방식 대비 상품성이 있을 것으로 기대되는 건축 상품을 조사하였다. 5점 척도에서 5점은 기존 생산방식 대비 기대 매우 높음, 4점은 기대 높음, 3점은 비슷함, 2점은 기대 낮음, 1점은 기대 매우 낮음을 의미한다.

조사 결과, 29개 상품후보 중 6개의 상품(비정형 금속 조인트, 디자인 담장, 인공암반, 경량 콘크리트판, 발코니 및 계단난간, 조명)이 심미성, 경제성, 기능성에서 공통적으로 높은 점수로 나타났다. 해당 상품들의 평균점수는 심미성이 4.54, 경제성이 4.29, 기능성이 4.02이다.

상위 순위 6개 상품을 제외한 상품을 살펴보면, 심미성 항목에서는 기둥, 벽, 커튼월, 타일, 창호재가 평균 4.4로 점수가 높았다(Fig. 1). 경제성 항목에서는 스마트 모바일 하우스·초소·화장실 및 벽이 평균 4.14로 나타났으며(Fig. 2), 기능성 항목의 경우 금속패널, 스마트 모바일 하우스·초소, 타일, 창호재가 평균 3.93으로 상위 10위에 속하였다(Fig. 3). 반면, 기초, 서포터, 기계설비 및 전기설비는 평균 심미성(2.55), 경제성(2.77), 기능성(2.68)으로 기존 제작 방식보다 경쟁력이 낮을 것으로 조사되었다.

상품에 대한 점수 평가 후, 면담을 통해 업계의 세부 의견을 수렴하였다. 금속조인트의 경우, 기존의 제조방식으로도 단가가 높으며 다품종으로 제작되는 형태이므로 3D 프린팅 상품이 개발될 경우 경쟁력을 가질 것으로 평가하였다. 인공암반의 경우, 도로의 절개사면 혹은 시내 인공폭포의 암반으로 활용되는데 암반의 형태가 현장 환경에 따라 각기 달라지며, 제작 방식이 수작업으로 진행되기 때문에 생산단가가 높으므로 3D 프린팅 방식으로 대체할 시, 경제적 효과가 상당히 클 것으로 평가하

였다. 발코니와 계단난간, 디자인 담장 등의 경우, 설계자의 디자인적 요소가 가미되는 부위로 보다 자유로운 디자인을 구현하는데 3D 프린팅 상품의 효과가 클 수 있을 것이라는 의견이었다. 또한, 제작 시간 절감 및 이동성에 유리하다는 점에서 스마트 모바일 하우스, 스마트 모바일 초소 및 화장실과 같은 상품이 경쟁력이 높을 것으로 평가하였다.

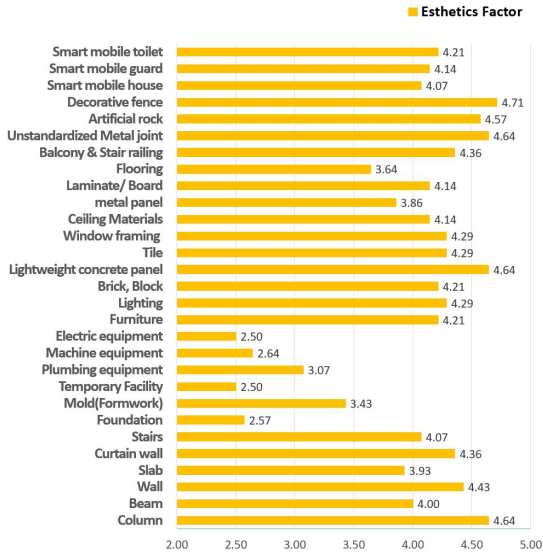


Fig. 1. Evaluation results of 3D printed architectural products - Esthetics factor

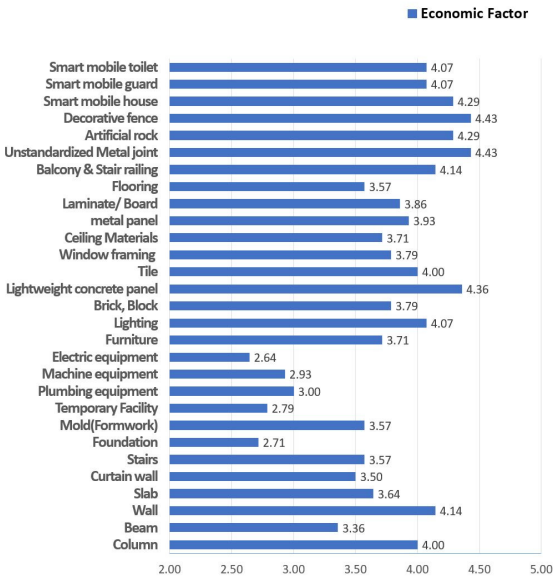


Fig. 2. Evaluation results of 3D printed architectural products - Economic factor

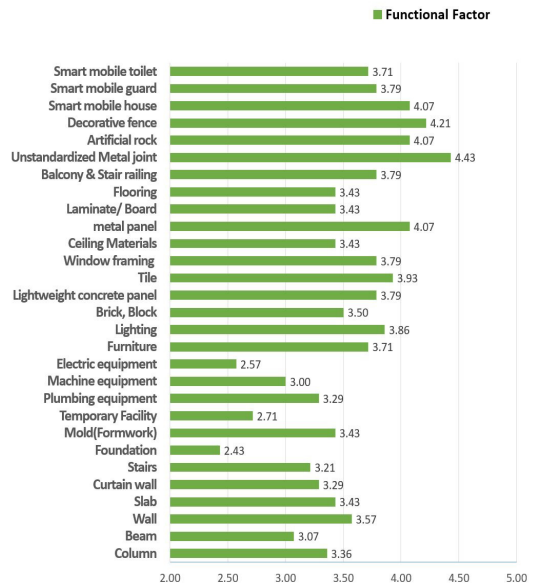


Fig. 3. Evaluation results of 3D printed architectural products - Functional factor

종합적으로 29가지 건축 상품에 대한 평가 항목별 평균값을 비교했을 때, 심미성은 평균 3.95, 경제성은 3.74로 4점(기존 방식 대비 기대 높음)에 근접하였다. 한편, 기능성의 경우 평균값 3.53으로 다른 항목과 비교 시 3점(기존방식 대비 동일한 기대 수준)에 가장 가까우며 표준편차 또한 0.48로 가장 낮게 나타났다.

설문과 면담 결과를 분석한 결과, 3D 프린팅 상품으로서 경쟁력이 높을 것으로 예상되는 제품군은 비정형 형태 또는 기존 제품에서 구현하지 못하는 고난이도의 디자인에 대한 기대감이 높아 심미성에 반영된 것으로 파악되며, 디자인 최적화를 통해 생산비용 절감, 공간 소화에 대한 기대가 경제성으로 반영된 것으로 해석된다. 또한, 기성제품이 수요자 중심의 주문 제작 방식으로 이루어질 때 맞춤형 생산에 대응에 대한 기대로 3D 프린팅 상품이 경쟁력 있을 것으로 인식하였다. 3D 프린팅의 재료와 상품 성능은 여전히 실험 단계이므로 기능성에 대한 기대는 상대적으로 낮거나 판단이 어려운 부분으로 분석된다.

3.2.3 건축분야 3D 프린팅 정착을 위한 해결과제

건축분야 3D 프린팅 기술의 전망에 대하여 응답자의 대부분은 향후 건설현장의 인력 부족, 숙련공 부족 등을 고려할 때, 건설자동화가 큰 흐름이며 장기적으로는 3D

프린팅 기술이 대안으로 시장을 선도할 것으로 보고 있다. 그러나 단기적으로는 일반 건설시장의 대체 형태보다는 비정형 건축물, 특수한 디자인 형태의 소형 건축물, 인테리어 시장 중심으로 상용화될 것으로 전망하고 있다. 국내 주거문화의 특성 상 아파트 중심의 건설시장을 대체하기에 현 기술의 성숙도가 부족하다고 판단하는 것으로 분석된다.

국내 3D 프린팅 건설 기술 정착에 있어 큰 위험요소로 구조적인 안정성 문제, 시공비 등 경제성 문제가 강조되었다. 특히, 선행사례로 소개되는 3D 프린팅 건축물의 품질 수준이 실험단계이므로 구조, 내화, 화재 등 검증되지 않은 성능과 품질, 재료와 시공법에 우려가 많이 표출되었다. 즉, 이는 품질과 연계된 인증, 인허가 등 법, 제도가 필요함을 간접적으로 나타낸다고 해석된다.

위와 같은 일반적인 인식과 함께, 세부적으로 중대형 부재 생산기술의 부재, 표면 마감 등 후처리 기술, 전통 방식으로 시공되는 부재들과의 결합문제, 배선배관 등 설비공정과의 간섭문제 등 업계에서 인식하는 상용화가 진행되기에 해결해야하는 난제가 있음을 확인하였다.

위와 같은 난제를 극복하고 3D 프린팅 건설이 상용화되기 위해 선행 개발되어야 하는 분야에 대한 우선순위를 조사하였다. 그 결과, 적합한 신재료 개발, 비정형 설계기술, 3D 프린팅 시공자동화 기술, 정책/법/제도의 정비 순으로 인식하였다. 위 4가지 분야에 대한 우선순위에 큰 편차는 없었으나, 가장 시급한 부분은 건설용 3D 프린팅 재료 개발로 인식하고 있는 것으로 조사되었다.

4. 결론

본 연구에서는 국내 건축분야 3D 프린팅 시장이 상용화 단계로 발전하기 위하여 업계의 환경과 실정을 고려한 현실적인 도입 전략이 필요하다고 판단하여 설문과 면담을 통해 건축실무자의 시각에서 현재의 3D 프린팅 기술 수준과 도입에 대한 인식 현황을 분석하였다. 3D 프린팅 기술 개발 수준보다는 건축업계에서 인식하는 기술 수준 현황과 도입에 어려운 점 그리고 해결방향을 중점적으로 논하고자 하였다.

설문과 면담 결과를 종합적으로 분석하였을 때, 건축업계는 실무 도입에 대한 의사와 기술에 대한 이해는 높은 편이나 상용화를 기대하는 상품은 부재, 부품 단위 수

준으로 제한적이었다. 3D 프린팅 건축 상품의 경제성과 기능성보다는 심미성이 상품 경쟁력의 요인으로 인식하고 있었으며, 시설물 단위의 상품으로 확대되기 위해서는 재료와 장비의 성능, 안정성 확보와 함께 건축에 특화된 공법이 요구되는 것으로 파악되었다. 또한, 이러한 기술적 난제와 함께 정책과 제도가 뒷받침되어야 활성화될 것으로 기대된다.

앞으로 3D 프린팅 건축 상품의 상용화 가능성을 높이기 위해서는 기성제품의 대체상품보다는 3D 프린팅에 최적화된 설계, 시공, 장비와 재료 기반의 신상품 개발이 필요하다고 판단된다. 현재 연구과제로 개발 중인 건축물 시공에 특화된 대형 3D 프린팅 장비와 재료를 활용하여 시공법을 고려한 신상품 개발을 진행할 계획이다. 건축에서의 3D 프린팅 기술이 미래 건축시장의 대안기술로 자리 잡기 위해서는 기술의 성숙이 선행되어야 하며, 건축 산업 특성에 최적화된 설계와 장비, 재료, 시공 관련 기술이 패키지화되어 제시되어야 할 것이다.

References

- [1] ASTM F2792-12a, Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies, F42.19, Ed. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2012. Available From: : www.astm.org
- [2] KAIA(Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement), R&D Report, Development of innovative design, material and equipment for 3D printing small buildings/ freeform members, 2016.
- [3] Lee, J. E., Lee, K. H., Choi, J. Y., Jeon, S. M., Kim, J. M., Investigation for applying 3D printing technology to housing construction process, LH(land & housing institute), 2015.
- [4] Keating, S. J., Leland, J. C., Cai, L., Oxman, N., "Toward site-specific and self-sufficient robotic fabrication on architectural scales", Science Robotics, 2, eaam8986, 2017.
- [5] Wu, P., Wang, J., & Wang, X., "A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry", Automation in Construction, 68, p.21-31, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.005>
- [6] Contour Crafting, Univ. of Southern California (USA), Available From: <http://contourcrafting.com/building-construction/>(accessed Aug., 15, 2017)
- [7] D-Shape, Dini Tech 社(Italy)>(n.d.), Available From: <http://www.d-shape.com> (accessed Aug., 15, 2017)
- [8] Apis Corp., Available From: <http://apis-corp.com/en/about/news/first-house> (accessed Aug., 15, 2017)

- [9] Winsun [cited 2016 Sep 1], Available From: <http://www.3ders.org/articles/20160901-winsun-china-unveils-fully-3d-printed-public-toilets-at-da-yang-mountain-suzhou.html> (accessed Aug., 15, 2017)
- [10] Rudenko [cited 2015 Sep 8], Available From: <http://www.3ders.org/articles/20150909-lewis-grand-hotel-andrey-rudenko-to-develop-worlds-first-3d-printed-hotel.html> (accessed Aug., 15, 2017)
- [11] Rudenko, 3D Concrete House Printer, Available From: <http://www.totalkustom.com/3d-castle-completed.html> (accessed Aug., 15, 2017)
- [12] DUS Architects, Available From: <http://houseofdus.com/#project-urban-cabin> (accessed Aug., 15, 2017)
- [13] EmergingObjects, Bloom, Available From: <http://www.emergingobjects.com/project/bloom-2/> (accessed Aug., 15, 2017)
- [14] Eindhoven [cited 2017 Jun 19], Available From: <https://3dprint.com/178462/eindhoven-3d-printed-bridge/> (accessed Aug., 15, 2017)
- [15] IAAC, 3D Printed Bridge, Available From: <https://iaac.net/research-projects/large-scale-3d-printing/3d-printed-bridge/> (accessed Aug., 15, 2017)
- [16] XtreeE, POST IN AIX-EN-PROVENCE, Available From: <http://www.xtree.eu/post-in-aix-en-provence/> (accessed Aug., 15, 2017)
- [17] IAAC, Minibuilders, Available From: <https://iaac.net/research-projects/large-scale-3d-printing/minibuilders/> (accessed Aug., 15, 2017)
- [18] EmergingObjects, Quake Column, Available From: <http://www.emergingobjects.com/project/quake-column/> (accessed Aug., 15, 2017)
- [19] Sltsmith, Available From: <http://www.sltsmith.com/endografit/ixz02p6piffjlkoc2j3u0leifl6buj> (accessed Aug., 15, 2017)
- [20] inhabitat [cited 2013 Jan 21], Available From: <http://inhabitat.com/samuel-bernier-designs-3d-printed-lampshades-that-cost-just-5-a-pop/> (accessed Sep., 29, 2017)
- [21] Kang, H. D., "Analysis of Furniture Design Cases Using 3D Printing Technique", The Journal of the Korea Contents Association, vol. 15, no. 2, p.177-186, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5392/JKCA.2015.15.02.177>
- [22] EmergingObjects, Seed-stitch, Available From: <http://www.emergingobjects.com/project/seed-stitch/> (accessed Aug., 15, 2017)
- [23] 3DR [cited 2015 May 21], Available From: <https://3dprint.com/66981/3d-printed-sandstone-tiles/> (accessed Sep., 29, 2017)
- [24] EmergingObjects, Wood block, Available From: <http://www.emergingobjects.com/project/wood-block/> (accessed Aug., 15, 2017)
- [25] DesignLab Workshop, ceramic bricks, Available From: <http://www.replikat3d.com/tag/design-lab-workshop/> (accessed November., 06, 2017)
- [26] Construction Enquirer, Arup. with 3D printing, Available From: <http://www.constructionenquirer.com/2015/05/18/arup-re-engineers-metal-joints-with-3-d-printing/> (accessed Aug., 15, 2017)
- [27] Construction Manager, (News) [cited 2013 Sep 20], Available From: <http://www.constructionmanagermagazine.com/news/skan-ska-claims-industry-first-3d-printed-cladding/> (accessed Aug., 15, 2017)
- [28] Jeon, K. H., Park, M. B., Kang, M. K., Kim, J. H., "A Study on the Development of an Automated Freeform Fabrication System and Construction Materials", Journal of the Korean Society of Civil Engineers, vol. 33, no. 4, p.1665-1673, 2013. DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2013.33.4.1665>
- [29] Conner, B. P., Manogharan, G. P., Martof, A. N., Rodomsky, L. M., Rodomsky, C. M., Jordan, D. C., Limperos, J. W., "Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services", Additive Manufacturing, 1, p.64-76, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2014.08.005>
- [30] Engineering.com [cited 2017 Aug 16], Available From: <http://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/15475/Boeing-Talks-3D-Printing-for-Aerosp> (accessed Sep., 29, 2017)
- [31] Jin, S. Y., Oh, C. S., "A Study on the Effects of 3D Printing on Design Business", Journal of the Korean Society of Design Culture, vol. 20, no. 4, p.75-86, 2014.
- [32] Krimi, I., Lafhaj, Z., Ducoulombier, L., "Prospective study on the integration of additive manufacturing to building industry? Case of a French construction company", Additive Manufacturing, 16, p.107-114, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.04.002>
- [33] EmergingObjects, The shop., Available From: <http://www.emergingobjects.com/shop/> (accessed Sep., 29, 2017)
- [34] Thingiverse, Le FabShop, Available From: <https://www.thingiverse.com/LeFabShop/designs> (accessed Sep., 29, 2017)

신재영(Jaeyoung Shin)

[정회원]



- 2015년 2월 : 한양대학교 실내건축 디자인학과 (이학사)
- 2017년 2월 : 한양대학교 대학원 실내건축디자인학과 (이학석사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 ICT융합연구소 신진연구원

<관심분야>

Design Computing, BIM, 3D 프린팅, 건축, 실내건축

원 지 선(Jisun Won)

[정회원]



- 2003년 2월 : 경희대학교 토목건축 공학부 (공학사)
- 2005년 2월 : 경희대학교 일반대학 원 건축공학과 (공학석사)
- 2007년 12월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 ICT융합연구소 수석연구원

<관심분야>

건설정보표준, BIM, IFC, 3D 프린팅 건설

박 형 진(Hyung-Jin Park)

[정회원]



- 2009년 8월 : 서울시립대학교 대학 원 건축공학과 (공학석사)
- 2015년 8월 : 서울시립대학교 대학 원 건축공학과 (공학박사)
- 2016년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 ICT융합연구소 박사후연 구원

<관심분야>

건설 3D 프린팅, 가상현실, BIM, 건설관리

주 기 범(Ki-Beom Ju)

[정회원]



- 1998년 2월 : 단국대학교 대학원 건축계획과 (공학석사)
- 2006년 2월 : 서울시립대학교 대학 원 건설관리과 (박사수료)
- 1992년 3월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 ICT융합연구소 선임연구 위원

<관심분야>

3D 프린팅 건설, 건축, 건설관리, BIM, 가상현실

서 명 배(Myoung-Bae Seo)

[정회원]



- 2001년 2월 : 조선대학교 전자계산 학과 (공학석사)
- 2003년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 ICT융합연구소 수석연구 원
- 2016년 4월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 극한건설연구단

<관심분야>

건설정보, BIM, 가상현실, 3D 프린팅 건설, 극한건설