

Lean startup 방법을 적용한 디지털 패브리케이션 통합 건축 설계 프로세스

Digital Fabrication Integrated Architectural Design Process based on Lean startup

정재환¹⁾, 김성아²⁾

Jung, Jae-hwan¹⁾ · Kim, Sung-Ah²⁾

Received November 5, 2018; Received December 24, 2018 / Accepted December 24, 2018

ABSTRACT: Recently, the industry actively adopts the cutting-edge technologies of the fourth industrial revolution and uses them to enhance the productivity and service of mass-customization. The manufacturing industry is creating new processes and business models by achieving digital transformations through a lean start-up approach aimed at achieving the highest customer satisfaction with minimal resources. Although attempts are made to manufacture the building by introducing the latest technology in architecture, it is applied sporadically, not as an integrated system, in the entire phase of the architectural project. This paper analyzes the changes in the construction industry through the application of core technologies of the fourth industrial revolution. Design processes are analyzed for the digital transformation of the construction industry by case study of advanced architectural design practice. A novel design concept model 'Architectural lean startup' is proposed by combining the architectural process and the lean start up method. Through the design of the bus stop based on the architectural lean startup concept, it is confirmed that the designer repeats the 'Generate-Test-Analysis' to develop the design and generate the final result.

KEYWORDS: Mass-customization, Digital transformation, Parametric design, Prototyping

키워드: 대량 맞춤 생산, 디지털 트랜스포메이션, 파라메트릭 디자인, 프로토타이핑

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 산업계는 장기적인 경쟁력 확보를 위해 4차 산업혁명의 첨단 기술들(인공지능, 사물인터넷, 3D 프린팅 등)을 적극적으로 도입하고 있다. 이러한 기술들은 고객 맞춤형 제품 생산 및 서비스의 고도화에 활용되고 있다(Monizza et al., 2018). 제조업 분야는 기존의 소품종 대량생산 방식이 소비자의 주문과 동시에 제품을 생산하고 판매하는 다품종 대량 맞춤 생산(Mass-customization)으로 변화하고 있다. 나아가 디지털 기술의 도입으로 생산과 유통 전 과정에서 발생하는 정보의 수집 및 관리를

통해 지속적으로 발전 가능한 시스템을 구축하고 있다.

아디다스의 스피드팩토리는 대표적인 사례로서, 자동 생산 프로세스를 기반으로 생산 속도를 최단기간으로 단축하여 고객 맞춤형 제품을 판매하는 것을 목표로 한다. 아디다스는 기존의 중국이나 동남아시아가 아니라 판매 대상지역(독일, 미국)에 공장을 건설하고 3D 프린팅, 로봇 등의 첨단 기술을 도입하여 신발 및 의류의 생산부터 유통까지 소요되는 시간을 획기적으로(18개월을 10일로) 단축시키고 고객의 요구사항에 더욱 집중하였다.

건설 산업에서도 건물을 자동화된 설계와 생산 프로세스에 적합한 '제품'으로 변혁하기 위한 시도가 진행되고 있으나 현재까지는 전체적인 프로세스나 비즈니스 모델을 혁신하기 위한 실체가 모호

¹⁾학생회원, 성균관대학교 미래도시융합공학과 박사과정 (jaehwanj@skku.edu)

²⁾정회원, 성균관대학교 건축학과 교수 (sakim@skku.edu) (교신저자)

하다. 일찍이 20세기 초에 바우하우스는 '경제성을 통한 건축문제의 해결'을 건축 교육의 중요한 목표로 설정하였다. 이는 재료 및 모든 부재의 규격화, 표준화로 연결되며 공업생산 된 부재의 현장 조립을 강조하였다(Ok and Choi, 1999). 바우하우스는 건축의 최종 목표인 예술과 기술을 통합하기 위한 방법으로 단순히 만들기 쉬운 공장생산품이 아닌, 예술과 수공업, 산업 사이의 관계를 탐구하여 최고 수준의 원형을 탐색하였다(Lee and You, 2006).

2차 세계대전 이후 미국과 유럽은 공업화 건축(예: PC 공법을 적용한 주택)을 적극적으로 도입하였다. 공업화 건축은 공사 기간의 단축, 기계화를 통한 노동력 부족 현상 해소, 현장 환경 극복을 위해 발전되었다. 당시의 재래식 공법에 비해 10~20% 정도 비용이 많이 들었으며 2000년대에 들어서 그 격차는 줄어들었지만 여전히 더 많은 비용이 소모되고 있다(Jo, 2006). 현재 진행되고 있는 BIM 기반의 설계도 결국 건물의 생산 방식이 제조업에서의 제품과 같은 수준으로 이뤄질 때 그것이 제시하는 다양한 비즈니스 모델이 가능해질 것이다.

최근 무인운송수단, 3D 프린팅, 로봇 기술 등의 물리학 기술과 사물인터넷, 빅데이터 등의 디지털 기술을 건설 산업 전반에 도입하려는 시도가 나타나고 있다(Lee, 2017). 하지만 건축 프로세스 전 단계에서 하나의 통합된 시스템으로 적용되지 않고 설계단계, 엔지니어링 단계, 제작 및 유통 단계 등에 산발적으로 적용되고 있어 이를 통합하는 생산 체계를 확립해야 한다.

제조업 분야에서는 새로운 프로세스 및 비즈니스 모델을 창출하기 위해 정보를 디지털화하는 Digitization, 디지털 기술을 적용하여 업무환경(방법)이 변화하는 Digitalization의 단계를 넘어 Digital transformation을 통해 기존의 운영방식을 스마트 팩토리, 스마트 오피스, 스마트 SCM (Supply Chain Management) 등의 개념으로 설명되는 변혁을 시도하고 있다.

산업계의 전반적인 변화 속에서 건축 설계 분야는 여전히 Digitalization 단계에 머물러 있으며 산업화되기 위해서는 Digital transformation으로의 프로세스 전환이 시급하다. 이러한 필요성에서 현재 건설 산업에서 변혁이 진행되고 있는 선진 사례 분석을 통해 프로세스 전환을 위한 핵심 기술을 도출할 수 있다.

건축 설계에서 파라메트릭 디자인 기술과 디지털 패브리케이션이 결합된 프로토타이핑 기반의 설계 기술은 Digital transformation을 선도하는 도구이다. 그러나 이들을 하나의 방법론으로 통합하는 연구는 아직 미비한 실정이다.

Digital transformation으로의 전환에 필요한 전략 중에서 IT 산업계에서는 최소한의 자원으로 최상의 고객만족도 달성을 목표로 하는 린 스타트업 방법을 적용하고 있다(Châlons & Dufft, 2017). 또한 기업가정신 교육(Ghezzi and Cavallo, 2018; Harms, 2015) 및 휴대폰 어플리케이션 개발에 린 스타트업 방법을 적용 하려는 연구(van Drongelen et al., 2017)가 진행되고 있

으며 국내에서도 린 스타트업을 적극적으로 도입하여 성장하고 있는 기업들이 등장하고 있다(Lim and Kim 2015).

이러한 배경에서 본 연구는 현재 이종의 다양한 기술과 방법을 통합하고 린 스타트업 모델을 건축 설계 프로세스에 적용하는 새로운 설계 및 생산 모델을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

생산 유통과정을 통합하는 프로세스 모델을 도출하기 위해 제품으로서의 건축물 개념 적용이 비교적 용이한 도로시설물을 사례로 건축 설계 린 스타트업 모델을 적용하여 설계안을 도출하고 결과를 논의하였다.

a) 사례조사 및 기술 분석: 4차 산업혁명의 개념과 핵심 기술을 성공적으로 도입한 제조업 분야의 사례를 조사한다. Digital transformation 관련 문헌 및 건설 산업의 제품화 사례를 분석하고 요소 기술을 도출한다.

b) 통합모델 제시: 요소기술을 적용한 건축 설계 프로세스의 변화를 분석한다. 린 스타트업 관련 연구를 분석하고 요소 기술과 건축 설계 프로세스를 통합하는 린 스타트업 모델을 제시한다. 건축 설계 린 스타트업 모델을 설계 프로세스에 적용하기 위해 각 기술이 적용되는 단계와 방법을 정의 한다.

c) 도로시설물의 케이스 스터디를 통한 모델의 적용 가능성 검토: 버스 정류장 관련 문헌 분석 및 사례조사를 수행한다. 건축 설계 린 스타트업 모델 방법을 통한 설계안을 생성하고 발전시키는 과정을 통해 버스 정류장 설계를 진행한다. 반복 수행한 결과를 바탕으로 모델의 실용성과 한계점, 보완점을 논의한다.

2. 이론적 배경

2.1 4차 산업혁명을 통한 건축물의 변화

4차 산업 혁명의 핵심은 인공지능, 로봇공학, 사물인터넷, 무인운송 수단(무인 항공기, 무인 자동차), 3D 프린팅, 나노 기술과 같은 다양한 기술이 융합되어 상호 교류하는 새로운 기술 혁신이다. 4차 산업혁명은 '초연결성(Hyper-Connected)', '초지능화(Hyper-Intelligence)'가 핵심적인 특징이며 이를 통해 모든 것이 상호 연결되고 지능화된 사회로 진화한다는 것이다(Schwab, 2016).

기술의 발전과 동시에 소득증가와 문화수준이 향상됨에 따라 삶의 질을 높이기 위한 건축물과 도시환경의 질적 향상에 대한 대중의 기대수준도 높아지고 있다. 공원, 녹지 등 자연친화적 공간, 아름다운 주거와 걷고 싶은 가로 등 삶의 질과 관련한 공간의 확대를 요구하고 있다(Lee and Yang 2017).

이러한 시대의 변화 속에서 Arup(2013)의 미래 도시에 관한

보고서에서는 건물이 도시 생태계의 일부로 기능하면서 보다 환경 친화적이고 효율적인 자원 관리를 촉진하며 도시의 폭넓은 요구사항 뿐만 아니라 개별 사용자 고유의 요구 사항에 대해서도 적극적으로 대응해야 한다고 설명한다.

건물은 단순히 공간을 창출하는 것이 아니라 IoT, 소프트웨어, 신소재, Digital fabrication 등의 스마트기술을 도입하여 주변 환경과 사용자의 정보를 수집하고 분석하여 최적 성능을 발현하는 환경을 조성한다. 즉, 건축물이 모든 부재가 유기적으로 연결되고 상호 연동되어 환경변화에 대응해 동작하는 형태로 변화하고 있다.

2.2 기술발전과 건축물 생산 방식의 변화

4차 산업혁명의 주요 기술들이 제조업에서 기술발전의 핵심 요소로 인식되고 이를 도입하려는 시도가 이루어지고 있다. 아디다스는 Futurecraft 프로젝트에서 3D 프린팅, 제너러티브 디자인, 빅데이터, 신소재 기술 등을 활용하여 사용자 맞춤형 신발을 제작하고 있다. 제품에 대한 소비자들의 요구사항을 주문과 동시에 제작에 반영하는 시스템을 구축하고 있다. 온라인 쇼핑몰에서는 사용자가 신발의 기본 형태를 선택하고 각 부위별 색상을 선택하여 자신이 디자인한 신발을 주문할 수 있다(Figure 1). 액세서리, 가구, 의류 등 다양한 제품군에서 최신 기술을 도입하여 사용자 맞춤형 제품을 제작하고 판매하고 있다.



Figure 1. Design products of mass-customization (Adidas)

최근 건설 산업에서도 3D 프린팅 기술을 사용한 철근콘크리트 제작(Wangler et al., 2016), Big data와 Generative design 기술을 적용한 구조 부재를 최적화하는 연구 등의 노력이 진행되고 있다(Mueller, 2017). 또한 조립식 주택과 같은 특정 분야에서는 제조업의 대량 맞춤 생산과 유사한 프로세스를 적용하여 건축물을 제작하려는 시도가 이루어지고 있다(da Rocha and Formoso, 2013).

주요 프로젝트 참여자들이 현장에서 즉석으로 협의하여 건축물의 각 시스템이 시공되던 전통적인 생산방식이 작업자의 안전성, 건축물의 품질 향상, 공기 단축 등을 위해 각 시스템을 모듈화하여 공장에서 제작하고 현장으로 운송하여 설치하는 방법으로 변화하고 있다.

2.3 Digital transformation

4차 산업혁명의 개념적 정의를 바탕으로 산업 변화의 구체적인 방향은 Digital transformation을 통해 설명이 가능하다. IoT, Big data, AI 등의 새로운 디지털 기술이 이러한 변화의 주요 동력으로 작용하고 있다. Digital transformation은 비즈니스 관점에서 다양하게 정의되고 있는데 다음 두 가지로 대변될 수 있다.

- 기업이 디지털 역량을 활용하여 새로운 비즈니스 모델, 제품과 서비스를 창출함으로써 고객과 시장의 혁신적인 변화에 적응하거나 이를 주도하는 지속적인 프로세스(ICD, 2015).
- 부가 가치를 창출하는 디지털 전략을 통해 달성되는 비즈니스 모델과 변화하거나 새롭게 창출된 비즈니스 조직을 통해 지속 가능한 기업수준의 혁신(Schallmo and Williams, 2018).

두 가지 관점들을 정리하면 핵심내용은 신기술의 활용뿐만 아니라 기업의 조직, 프로세스, 비즈니스 모델, 협업의 근본적인 변화를 통해 시장을 재편하는 것을 의미한다. 즉, Digital transformation은 기업의 운영 프로세스의 변혁과 새로운 비즈니스 모델의 창출을 의미한다.

제조업에서는 이미 Digital transformation으로의 변화를 시도하고 있다. 항공기 엔진을 단순 제작하여 판매하던 회사는 3D printing 기술을 활용하여 엔진의 부품에 대한 실험과 제작에 활용하고 있다. 또한, 제작 이전 단계에서 기기의 장애를 예측하는 시뮬레이션을 수행하고 항공기에 설치된 이후에는 최적의 비행항로를 탐색하여 운행하는 방안을 도입하고 있다(Weindelt, 2016).

건설 산업에서도 Digital transformation을 통한 변혁이 시도되고 있으며 'Katerra³⁾', 'Kasita⁴⁾', 'Coodo⁵⁾' 등의 회사는 제조업과 같이 최신기술을 적극적으로 도입하여 계획, 설계, 자재 공급, 제작 등 건설의 모든 측면을 최적화하는 비즈니스 모델로의 변혁을 시도하고 있다.

³⁾첨단 ICT기술을 활용하여 '설계→자재납품→현장조립'으로 단순화시킨 비즈니스모델을 구축한 건설 회사(한국건설산업연구원), <https://katerra.com/>

⁴⁾독립형 모듈러 주택을 임대 및 판매하는 건설 스타트업 회사 <https://kasita.com/>

⁵⁾조립식 모듈러 주택 및 사무실을 판매하는 건설 스타트업 회사, <https://www.coodo.com/>

3. 건설 산업의 제품화를 위한 요소기술

3.1 건설 산업의 제품화 사례 분석

Digital transformation을 통한 비즈니스 모델의 변화를 시도하는 회사들(Katerra 등)의 주요한 전략은 주문과 동시에 제품을 제작하고 실시간 운송 관리 및 현장 조립을 통한 공사 기간의 단축, 기계화를 통한 노동력 부족 현상 해소 등은 기존의 공업화 건축의 장점을 유지하고 있다. 변혁의 궁극적인 목적은 첨단 기술 및 도구를 건설 산업에 도입하여 설계자의 디자인 의도와 사용자의 요구사항을 수렴하는 것이다. 또한 프로젝트 전 과정의 효율성을 높이고 일정을 가속화하여 시간을 포함하는 모든 자원의 낭비를 줄이는 것이다. 사례들을 분석해본 결과 건설 산업의 제품화를 위한 핵심으로 다음의 두 가지 요인과 세 가지 요소기술을 핵심 내용으로 볼 수 있다(Table 1.).

Table 1. Technologies for building product

Factor	Purpose	Core technology
Mass-customization design	Along with the intent of the designer, explore a variety of designs to meet the needs of those who actually use the building.	Parametric design
Integrated design system	Identify design errors in the early stages and build collaborative systems that can be resolved. The construction of the building is carried out at the same time as the site construction.	Prototyping, Digital fabrication

- 사용자 맞춤형 설계: 설계자의 의도와 함께 건축물을 실제로 사용하는 사람들의 요구조건을 만족하는 다양한 디자인을 신속하게 생성하기 위해 Parametric design 기술을 적용하고 있다.
- 설계와 엔지니어링, 제작 및 유통과정의 통합: 기존의 설계, 시공, 유지관리의 순차적인 프로세스를 탈피하고 설계 과정에서 주요 분야(구조, 에너지 등)의 시뮬레이션 결과에 대한 즉각적인 피드백을 수행한다. 프로토타이핑 기술을 도입하여 초기 단계에서 설계오류를 발견하고 해결 가능한 협업 시스템을 구축한다. 최종 설계안이 도출된 이후 제작은 운송과정의 단축을 위해 현장과 가장 근접한 공장에서 제작하는 것이 효과적이다. 이를 위해 글로벌한 협업체계를 구성하고 있으며 디지털 패브리케이션 기술을 적극적으로 도입하고 있다. 이를 통해 궁극적으로는 현장제작과 동시에 설치가 가능해진다.

즉, 변화를 시도하는 회사들은 요소기술(Parametric design, 프로토타이핑, 디지털 패브리케이션)의 적용을 통해 설계 단계에서부터 제작, 유통, 시공의 전 단계에서 모든 작업을 연결하여 사용자 맞춤형 설계가 가능한 기술 시스템을 구축하고 있다. 또한 참여하는 모든 기업(설계, 제작, 자재, 유통 등)을 총괄하고 새로운 기술적용을 위한 부서를 자체적으로 개발하며 서비스를 지속적으로 관리하는 프로세스로의 전환을 시도하고 있다.

3.2 사례분석을 통한 건축 제품화 요소기술의 정의

3.2.1 Parametric design

일반적으로 컴퓨터 기반 건축 디자인 도구에서 사용되는 모델링 방법인 파라메트릭 모델링은 주어진 조건 하에서 파라미터를 조절하여 모델링 하는 방법으로 정형화된 디자인에서 그 효율성이 극대화 된다(Javier, 2006). Parametric design은 작게는 단위 부품에서부터 건물의 구조, 구체적인 건물 시스템 전체를 지식화하여 설계자동화에 활용할 수 있다(Figure 2). 구조, 에너지 시뮬레이션 및 물량을 실시간으로 확인하며 설계안을 발전시키는 데이터에 근거한 워크플로우의 구축이 가능하다. 이를 통해 건축가는 다른 대지, 다른 조건의 프로젝트에 각각의 요구조건을 만족하는 설계안을 생성하는 설계자동화가 가능해진다 (Hubers, 2010).

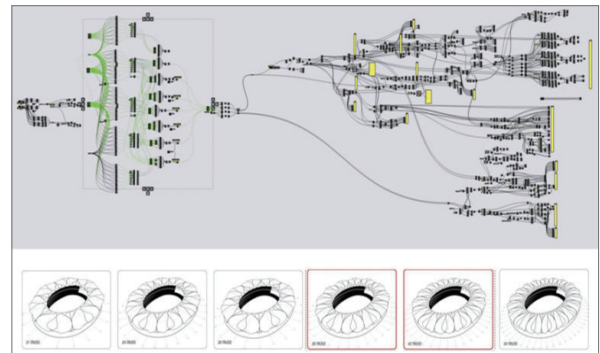


Figure 2. Stadium design process based on parametric design (NBBJ)

3.2.2 디지털 패브리케이션

디지털 패브리케이션은 컴퓨터에 의해 통제되는 제조 프로세스를 말하며 CNC 가공(Machining), 3D 프린팅 및 레이저커팅이 대표적인 기술이다. 디지털 패브리케이션 기술은 불과 몇 해 전 3D 프린터의 등장으로 인해 대중에게 알려지기 시작했지만 완전히 새로운 기술은 아니다. 1984년부터 전문 산업용 3D 프린팅 기술이라고 할 수 있는 Rapid prototyping 기술이 산업현장에 적용되어 왔다. Rapid prototyping은 본 제품을 양산하기 전에 그 기능과 디자인 등 상품성을 검토하기 위한 Mock-up/Prototyping 단계의 시제품을 보다 효율적으로 제작하는데 주로 사용되어 왔다(Kim, 2014).

디지털 기술의 발전과 함께 30년 전에는 공장과 산업디자인 회사에서 일어나던 일이 이제는 소비자의 컴퓨터와 개인의 작업장에서 일어나고 있다. 제조 현장에서 일어나는 일을 일반 컴퓨터를 사용해 누구나 할 수 있게 된 것이다(Kim, 2016). 시공 현장에서 제품을 제작하는 환경에서 확장하여 파라메트릭 모델을 통해 생성된 설계안을 설계단계에서 디지털 패브리케이션 기술을 활용해 프로토타입을 제작하고 테스트할 수 있다.

3.2.3 프로토타이핑

프로토타이핑은 다양한 의미로 사용되고 있지만 제품 디자인에서는 '신제품이 어떻게 사용될지, 어떤 외형으로 어떻게 제작될지 연구하고 시험하기 위해 실물의 프로토타입을 제작하는 것'을 의미한다. 생산을 시작하고 판매 계약이 맺어진 다음에 문제를 해결하는 대신 초기단계에서 이를 처리하면 막대한 비용을 절감할 수 있다.

프로토타입과 모델이라는 용어는 완성되기 전의 제품과 서비스, 시스템을 입체적으로 나타낸다는 점에서 유사하지만 모델은 프로토타입을 제작하는 단계별 과정의 결과물로 본다(Hallgrímsson, 2012). 프로토타입을 통해 설계자 및 모든 프로젝트 참여자는 설계과정에서 스스로 학습하고, 다른 참여자와의 의사소통을 진행하며, 다양한 분야의 기술을 통합하고, 전체 프로세스에서 마일스톤으로 활용할 수 있다. 즉, 프로토타이핑의 핵심은 반복 수정의 순환과정이며 동시에 모델이 저충실도(Low-fidelity)에서 고충실도(high-fidelity)로 진행 되어 최종 프로토타입을 생성하고 실험하는 것이다.

건축 산업에서 프로토타이핑 방법이 적극적으로 도입되고 있으며 최근 필라델피아 건축 회사인 'Kieran Timbrake'사는 건축물의 파사드, 냉난방 시스템 등을 프로토타이핑하여 설계 의도대로 성능이 발휘되는지, 최종적으로 사용하는 사람의 요구조건에 부합할 수 있는지를 검토하고 있다. Kieran & Timberlake(2004)는 건축물의 각 부분이 모듈화되어 분리 생산되어야 하며 현장조립을 최소화해야 한다고 설명한다. 모델링을 통해 다양한 대안을 생성하고 성능 테스트 및 조립 시뮬레이션을 수행하여 모듈식 분리생산 방법을 적용하고 있다.

이러한 프로토타이핑 기술을 적용한 건축 설계 과정에서 파라메트릭 모델을 중심으로 설계안의 시뮬레이션 및 건축물의 주요 부재와 부분의 프로토타입을 제작하여 테스트한다. 테스트 결과를 분석하여 설계를 수정 보완함으로써 성능이 검증된 설계결과물을 도출하고 있다.

3.3 요소기술을 통합한 건축 디자인 프로세스

현재의 건축 업무 프로세스는 IT 산업의 Waterfall model⁶⁾과 같이 계획단계와 설계단계, 시공, 유지·관리 단계로 선형적으로 구성되어 있다. 국내 설계사무소 업무 내용을 분석한 결과 설계 업무는 기획설계, 개념설계, 기본설계, 실시설계의 단계로 이루어지며 이 후 시공사가 시공 및 유지보수 작업을 진행하고 설계사는 감리의 업무를 수행하고 있다.

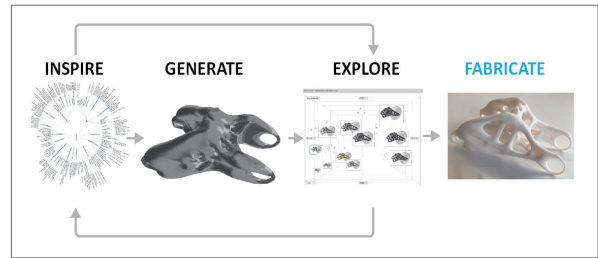


Figure 3. Performance-oriented design workflow concept (Dreamcatcher project, Autodesk)⁷⁾

이러한 설계 방식은 최선의 대안을 디자인 팀 또는 한 명의 디자이너가 도출하고 그 결과를 컴퓨터의 도움을 받아 가상화(도면화, 모델링)하는 순차적인 프로세스로서 컴퓨터의 역할은 인간의 보조자 역할을 수행하였다.

최근 Autodesk Dreamcatcher 프로젝트는 설계자가 자신의 아이디어를 Parametric design, Generative design 및 디지털 패브리케이션 기술을 활용해 다양한 대안을 생성하고 이를 분석하여 피드백하는 순환 방식의 워크플로우를 도입하였다. 설계자가 파라메트릭 모델을 활용해 설계 제약조건(목적, 기능, 재료, 주요 성능 등)을 설정하면(Inspire) 컴퓨터는 Generative design 기술을 적용해 다양한 대안을 생성하고(Generate) 성능 시뮬레이션 정보를 제공한다. 설계자는 컴퓨터가 제공한 대안과 성능을 검토하여(Explore) 파라메트릭 모델을 수정하는 과정을 반복한다. 설계안이 일정 수준 이상 완료되면 3D 프린팅(Fabricate)된 대안을 테스트하여 검증하고 수정사항이 발생할 시 이전의 과정을 반복한다(Figure 3). 프로토타이핑, Parametric design, 디지털 패브리케이션 기술 등을 통합한 디자인 프로세스에서 컴퓨터는 설계 보조자의 역할을 넘어 설계 과정에 적극적으로 개입하고 있다.

BIM, Lean 생산 및 최신 디지털 기술을 적용한 설계 프로세스는 엔지니어링, 제조, 유통과정을 통합하고 기존의 선형적인 방법에서 순환적인 프로세스로 전환되고 있다(Figure 4, 5). 이 과정에서 고객, 디자이너, 건설 회사, 기술 컨설턴트 및 엔지니어 등 모든 프로젝트 참가자가 설계 전 단계에서 의사 결정에 참여한다. 건축가는 모든 프로젝트 참가자와의 신속한 피드백을 통해 설계안을 발전시켜 나간다. 설계 초기단계부터 건축가는 설계안에 대한 기술 자문을 통해 간섭검토 등을 수행하고 엔지니어와의 협업을 통해 에너지 및 구조 성능을 분석하고 비용을 산출할 수 있다. 건축가는 엔지니어링 결과 및 제작 과정을 반영하여 설계안을 발전시키고 이를 반복한다.

⁶⁾ 소프트웨어 개발 모형의 하나. 개발 공정을 요구 사항 분석, 기본 설계, 상세 설계, 구현, 시험 및 유지 보수의 몇 단계로 구분하여 각 단계의 성과를 문서로 명확하게 확정된 후에 다음 단계로 넘어가는 체계적이며 순차적인 접근 방법.

⁷⁾ <https://autodeskresearch.com/projects/dreamcatcher>, 확인날짜 2018.08.05

이러한 변화 속에서 설계업무를 중심으로 Parametric design, 프로토타이핑, 디지털 패브리케이션 기술을 적용한 순환적 프로세스를 명확하게 정의하는 회사나 연구는 찾아보기 힘들다. 또한, 기존의 순차적인 프로세스에서 최종건축물의 사용자는 건축물이 완공된 이전에는 자신의 요구사항을 반영할 수 없다. 최근 IT 및 제조업 산업에서 프로세스 전환을 위해 린 스타트업 방법을 도입하고 있다. Bianchi(2014)는 디지털 패브리케이션 기술과 함께 린 스타트업 기법을 도입하면 신속한 시제품 제작이 가능하여 제품의 시장 출시 시간을 단축하고, 개발 비용을 절감하여 품질을 혁신적으로 개선할 수 있는 잠재력이 강화된다고 설명한다. 신속하게 다양한 설계안을 생성할 수 있는 Parametric design, 설계안을 시공단계 이전에 제작하고 테스트하는 프로토타이핑과 디지털 패브리케이션 기술에 린 스타트업의 순환 프로세스를 통합하는 방법으로 건축의 mass-customization을 가능하게 할 수 있다.

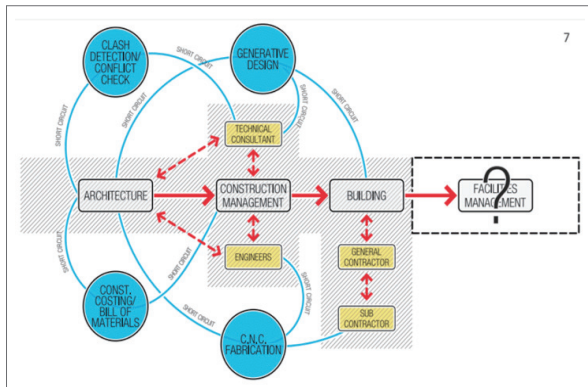


Figure 4. BIM design process of GRO architects⁸⁾

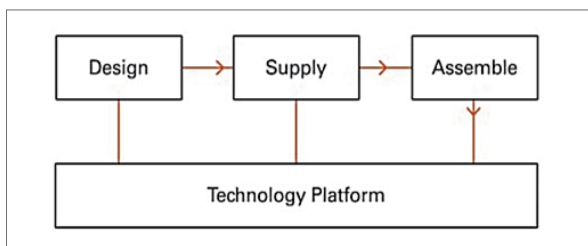


Figure 5. Integrated workflow model of katerra⁹⁾

4. 건축 설계에서 Lean startup 도입 방안

4.1 Lean startup

린 스타트업은 “고객 개발” 방법에서 발전했으며 “고객 개발” 방법의 핵심은 “제품 개발” 프로세스 외에도 신생 기업은 고객을 찾아내고 이해하는 프로세스가 필요하다는 것이다(Blank, 2006). 린 스타트업 방법은 기업 조직이 사용자 중심의 접근 방식을 기반으로 한 솔루션을 개발하고 솔루션이 고객의 요구를 충족하도록 조정하는 과정을 반복하는 것이다. 지속적인 피드백을 통하여 제품 개발 프로세스 초기에, 때로는 제품이 만들어지기 이전 단계에서 핵심적인 비즈니스 요소를 테스트하여 검증하는 것을 목표로 한다(Maurya, 2012).

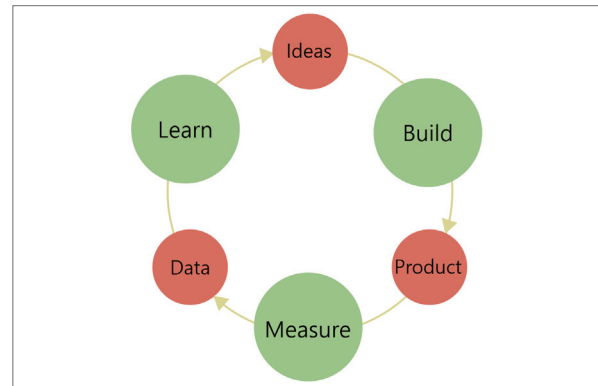


Figure 6. Build-Measure-Learn feedback loop of lean startup (Ries, 2011)

린 스타트업 방법의 피드백 루프는 최소 요건 제품(Minimum Viable Product)을 통한 만들기-측정-학습의 과정을 통해 이루어진다(Ries, 2011). 기업은 고객이 느끼는 문제를 해결함에 있어 가장 핵심이 된다고 판단되는 가설을 찾아내고 가설이 명확해지면 이를 바탕으로 문제해결에 핵심이 되는 요소를 담은 최소 요건 제품을 만들어(Build) 이에 대한 시장에서의 고객 반응을 측정한다(measure). 측정단계에서는 자사의 제품이 과연 고객에게 진정한 가치를 제공하고 있는지를 학습하고(Learn) 이 과정에서 제품의 방향성에 어떠한 문제가 발견되면 기업은 방향전환(Pivot)을 실시하며 프로젝트를 진행한다(Figure 6).

4.2 Lean startup 방법을 적용한 건축 설계 모델

본 연구에서는 건축 설계 프로세스와 건축의 제품화 사례 분석 결과로 도출된 요소기술을 Lean startup의 만들기-측정-학습 피

⁸⁾Garber, R. (2014). BIM Design: Realising the Creative Potential of Building Information Modelling. John Wiley & Sons. 22

⁹⁾<https://katerra.com/en/about-katerra/the-vision.html>, 확인날짜2018/10/25

드백 과정에 통합한 모델을 제안한다(Figure 7). Lean startup을 적용한 건축설계 프로세스는 기존의 BIM 기반 프로세스나 IPD (Integrated Project Delivery), Pre-construction의 장점을 수용하면서 실제 건축물을 사용할 거주자의 요구사항을 적용한 대안을 최소한의 자원 투자로 생성하고 검증하여 발전시키는 것이 차별화된 특징이다.

린 스타트업의 피드백 루프는 2종류로 구분되며 하나는 행위를 의미하는 Build, Measure, Learn이며 다른 하나는 행위의 결과인 Product, Data, Idea이다. 건축 설계과정에서 행위와 결과는 다음과 같다.

- 1) Generate (Build) : Parametric design, Generative design, Rapid prototyping 행위를 통한 물리 모델과 가상 모델의 Prototype을 생성한다.
- 2) Test (Measure) : Generate 단계에서 생성된 가상, 물리 모델을 활용한 에너지, 구조, 비용 산출 등의 시뮬레이션과 거주자 평가(Pre-occupancy evaluation)를 포함하는 Test를 수행하여 Data를 산출한다. Data는 다양한 종류의 시뮬레이션 데이터로 저장된다.
- 3) Analysis (Learn) : Test를 통해 생성된 데이터를 Data mining, Machine learning등의 기술을 통해 분석하여 Idea를 도출한다. Idea는 설계안을 발전시키기 위한 설계 전략의 집약체이다.

요소기술이 통합된 Generate-Test-Analysis 순환 루프의 방법으로 설계자는 다양한 집단과의 즉각적인 협업을 통해 설계안을 고도화하고 최종 설계안을 산출할 수 있다. 건축 설계 린 스타트업 모델은 문헌 및 사례분석을 통해 도출된 개념적 정의로 설계 업무에 적용가능한지 실험하여 확인하고 수정 보완해야 한다.

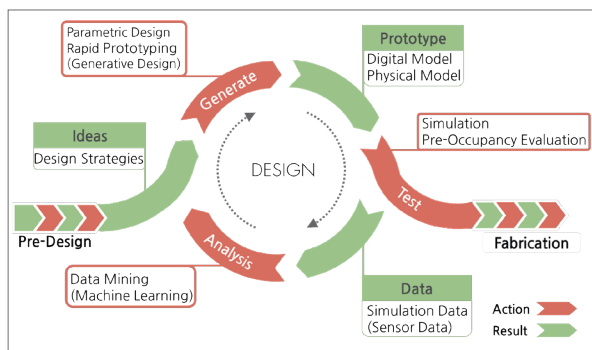


Figure 7. An architectural design process model integrating lean startup concept

5. 건축 설계 린 스타트업 모델의 적용

5.1 Lean startup 기반 건축 설계시스템

모든 프로젝트를 대상으로 적용하여 건축 설계 린 스타트업 모델을 설명하기에는 범위가 광대하기에 설계사무소와 엔지니어링, 클라이언트가 진행하는 일반적인 건축 프로젝트를 상정하고 모델을 적용하여 업무를 진행한다고 가정한다.

건축 설계의 린 스타트업 모델을 실무에 적용하기 위해서는 핵심 기술들이 적용되는 분야와 시기, 협업과정 등에 대한 정의가 필요하다. 따라서 건축 설계 린 스타트업 모델을 적용한 설계시스템의 개념을 정의하고 이를 통한 설계과정은 다음과 같다.

설계시스템의 기본 개념은 초기 설계 개념 설정(a)을 시작으로 파라메트릭 디자인 알고리즘(b)을 생성한다. 파라메트릭 모델을 활용하여 초기 설계안을 생성하고 Generate-Test-Analysis 순환과정을 통해 엔지니어링(c)과 색상, 재질, 디테일 디자인 등의 디자인 고도화(d)를 동시에 수행한다. 지속적인 피드백을 통해 도출된 설계안은 제작과 운송을 위한 최적화 과정(e)을 수행하고 변경사항이 발생하면 이전의 (b), (c), (d) 단계를 반복 수행하여 설계안을 고도화 한다(Figure 8).

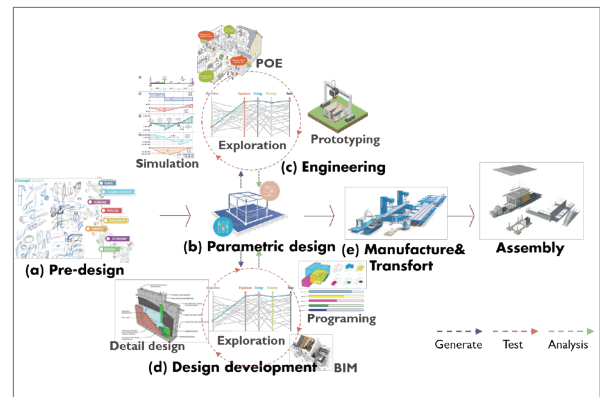


Figure 8. A concept of architectural design workflow based on lean startup model

- 초기 설계 개념 설정(a): 설계 초기에 설계자는 클라이언트와의 의사소통을 통해 디자인 개념을 설정한다. 설계자는 대지조건 및 법규 등의 제약조건과 설계요구사항을 고려하여 디자인 유형과 기본 형상을 도출한다.
- 파라메트릭 디자인(b): 디자인 유형 및 기본 형태가 정해지면 기본 파라메트릭 모델을 생성하는 알고리즘을 개발하고 성능 분석 결과를 분석하여 도출된 설계 전략에 의해 고도화 된다.
- 엔지니어링(c): 파라메트릭 모델을 중심으로 구조 최적화와 같은 엔지니어링을 통해 설계안 발전해 나가는 과정이다. 기본 형상의 구조 분석을 수행하고 최적의 형상을 도출하고 파라메트릭 모델에 반영한다.

- 디자인 고도화(d): 파라메트릭 모델을 활용하여 설계안의 디자인을 발전시켜 나가는 과정에서 건축요소의 색상, 패턴 등 설계안의 디테일을 작성한다. 시각화를 통해 설계안들을 확인하여 수정사항을 도출하고 파라메트릭 모델에 적용한다.
- 제작 및 운송(e): (b), (c), (d)의 반복적인 과정을 통해 선별된 설계안은 제작 및 유통을 위한 최적화를 수행한다. 실제 사용되는 부재의 라이브러리 적용 및 운반을 위한 크기, 배치 조정, 제작을 위한 도면화 과정을 수행하고 제작하여 현장에서 운송하고 조립한다.

5.2 사례 적용: 버스정류장

도시시설물은 건축물에 비해 상대적으로 요구 성능이 명확하고 부재의 부품화가 쉽다. 유사한 형태를 반복적으로 배치하는 경우가 많아 파라메트릭 모델을 생성하기 용이하다. 하지만 건축 설계와 동일하게 도시시설물에서도 순차적인 프로세스로 프로젝트가 진행되며 설계 변경이 발생할 경우 모든 설계도를 수정하고 성능(구조, 소음 등)을 재분석하여 도면을 작성하기까지 많은 시간과 인력이 투입된다. 또한 설계 지식이 개인의 경험으로 남게 되는 경우가 많아 기업 고유의 설계 시스템을 구축하려는 시도가 나타나고 있다.

최근에는 삶의 질을 높이기 위해 도시환경의 질적 향상에 대한 기대수준이 높아지고 있으며 도시시설물도 디자인에 대한 개선이 요구되고 있다. 이러한 환경에서 도시시설물의 Digital transformation을 위해 버스정류장을 대상으로 다음의 워크플로우를 통해 건축 설계 린 스타트업 모델을 적용해본다.

첫째, 국내외 사례와 문헌을 분석하여 버스정류장의 유형을 분석한다. 기본 유형의 주요 부재를 도출하고 기본 파라메트릭 모

델을 생성하여 프로세스 전 과정에서 지속적으로 사용한다(파라메트릭 디자인). 둘째, 파라메트릭 모델을 통한 위상최적화를 수행하여 다양한 대안을 탐색하고 구조최적화를 통해 구조부재의 최적 위치를 분석한다(엔지니어링). 셋째, 데이터 마이닝을 통한 디자인 트렌드를 예측하여 디자인 요소에 색상 및 패턴을 적용한다. 버스정류장의 구조 요소와 디자인 요소를 결합하고 세부 요소의 조정 및 물량산출, 가시화를 통해 설계안을 고도화하기 위한 설계전략을 수립한다(디자인 고도화). 버스정류장 설계를 위해 각 단계에서 수행한 구체적인 작업내용은 다음과 같다(Figure 9).

(1) 파라메트릭 디자인

국내외 문헌 자료 및 실제 버스정류장 제작 사례를 분석하여 가로시설물 디자인 유형(벤치형, 쉼터형, 스테이션형 등)을 도출하고 스테이션형을 기본유형으로 선정하였다. 기본유형의 파라메트릭 디자인 알고리즘 개발에 사용할 주요파라미터(정류소 타입, 모듈 배치 개수, 양단 패널 유무, 벽 패널의 높이와 폭 및 두께 등)를 선별한다. 비주얼 스크립팅 도구(Rhino Grasshopper)를 사용해 버스정류장의 기본 파라메트릭 모델을 생성한다(a). 엔지니어링과 디자인 고도화에 활용될 다양한 설계안을 생성하고 요구 정보를 추출하여 전송한다(b). 엔지니어링과 디자인 고도화 결과를 통해 도출된 설계 전략을 수렴하여 파라메트릭 모델을 수정한다(c). 기본 파라미터를 조합해 핵심 파라미터를 도출한다. 변수 중 지붕 높이, 기둥 높이, 보 간격은 모듈 높이에 종속시켰으며, 기둥 간격은 모듈 길이 변수에 종속시켰다. 벽 패널의 폭은 기둥 간격 변수에 종속시켰으며 벽 패널의 두께 및 벤치 관련 변수는 상용 제품 규격을 적용하였다.

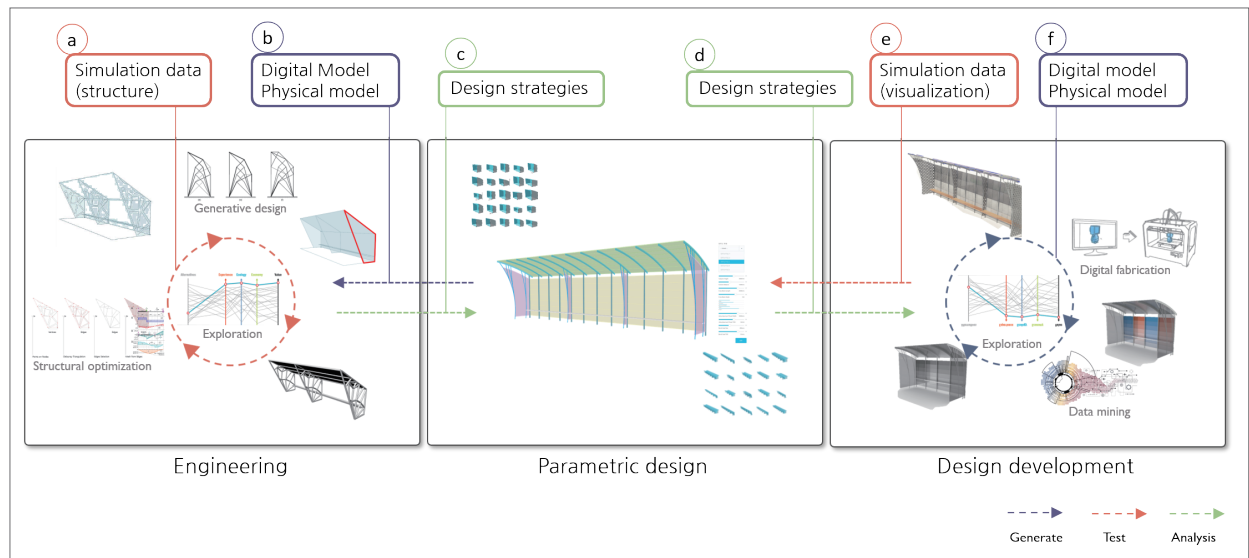


Figure 9. Bus stop design work-flow based on lean startup model

(2) 엔지니어링

설계자는 구조물의 공간성과 위상 최적화를 동시에 고려한 매스디자인을 도출하고 형상 파라미터를 조절함으로써 버스정류장이라는 제한 조건을 만족시키며 동시에 요구 성능에 적합한 설계안을 선별한다(b). 설계안 구조 단면의 위상 최적화를 수행하여 도출된 설계안을 토대로 형상의 토폴로지를 유지하면서 구조물의 최대변위를 최소화하는 구조최적화를 수행한다. 위상최적화를 통해 도출된 형상을 건축 부재로 활용하기 위한 선 요소로 변환한다. 구조단면 내부의 점을 파라미터로 설정하고 구조물의 변위를 최소 결과 값으로 도출하는 유전자 알고리즘을 통해 최대 변위 값을 최소화하는 대안을 도출한다(a). 설계안들 중 구조최적화 결과와 버스정류장의 제약 조건을 고려하여 설계안을 선별하고 결과를 파라메트릭 모델에 반영한다(c).

(3) 디자인 고도화

설계안을 고도화하기 위해 트렌드를 예측하고 분석 결과를 바탕으로 버스정류장 각 부재의 색상, 재질 등을 적용한다. Instagram Scaper라는 파이썬 라이브러리를 사용하여 광범위한 SNS 데이터 중 패션 관련 키워드를 수집하고 TensorFlow의 라이브러리와 Keras의 네트워크 API를 활용하여 디자인 트렌드(패턴, 색상, 분위기 등)를 예측하여 설계 전략을 수립한다(d). 도출된 결과를 바탕으로 지붕 및 벽면 패널, 벤치 및 기둥, 보 등의 구조부의 색상과 재질, 패턴을 적용한 설계안을 생성한다(f). 시각화를 통해 설계안들을 확인하여 설계 전략을 수정하고 이를 파라메트릭 모델에 반영한다(e). 단일 모듈에 대한 디자인이 일정 수준이상으로 완료되면 기본 모듈을 조합하고 배치방법을 변화시켜 다양한 버스정류장을 생성하고 가시화를 통해 확인한다 (Figure 10).

5.3 사례 적용 결과 분석

건축 설계 린 스타트업 모델을 적용하여 버스정류장을 설계하는 과정은 파라메트릭 디자인을 통해 생성되는 설계안을 중심으로 엔지니어링과 디자인 고도화를 통해 진행되었다. 최종 설계안이 도출되는 과정에서 각 단계에서의 논의사항은 다음과 같다.

첫째, 파라메트릭 디자인 과정에서 다양한 변수를 핵심 파라미터로 조합하는 과정이 중요하였는데 설계 전략을 모두 만족하는 설계안을 생성하기위한 핵심 파라미터를 도출하기가 용이하지 않았다. 둘째, 엔지니어링 과정에서 설계안의 3차원 형상에 대한 위상최적화는 시뮬레이션 과정에서 고려해야할 항목(예: 지점, 하중, 필수 공간 등)이 많고 형태를 건축 부재로 치환하여 최적화하기 어려워 구조 단면의 위상최적화를 적용하였다. 셋째, 디자인 고도화를 위한 파라메트릭 모델과 시각화를 위한 도구 사이의 호환이 실시간으로 완벽하게 이루어지지 않아 재수정하는 작업이

필요하였다. 구조최적화, 시각화, 파라메트릭 모델의 고도화의 연계 작업이 동시다발적으로 수행되어 초기 설계단계부터 다양한 디자인을 시도할 수 있었다. 단기간에 다양한 결과물이 생성되고 이종의 도구를 사용하는 과정에서 정보교환 및 결과물 관리가 어려웠다.

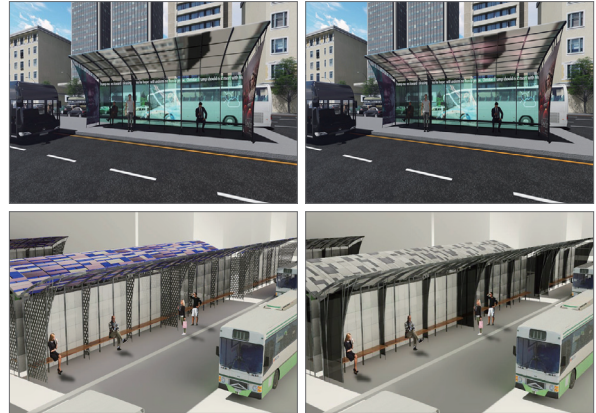


Figure 10. Visualization of bus station

6. 결론

버스정류장을 설계하는 전 단계에서 건축 설계 린 스타트업 방법을 적용해 Generate-Test-Analysis 과정을 반복하면서 설계안이 발전하고 최종 결과물이 도출되는 것을 확인할 수 있었다. 버스정류장 관련 문헌과 사례분석을 통해 초기 파라메트릭 모델을 도출하고 엔지니어링과 디자인 고도화를 위한 설계안을 생성하였다(Generate). 버스정류장의 구조 분석을 위해 파라메트릭 모델에서 구조 단면을 추출하고 위상최적화 과정과 구조 부재 배치를 최적화한 구조시스템이 도출되었다(Test). 다양한 설계안에 대한 구조분석 결과를 설계자가 분석하여 결정된 내용을 파라메트릭 모델에 반영하였다(Analysis).

디자인 고도화 과정에서 데이터 마이닝 기술을 활용해 트렌드를 예측(Analysis)하여 버스정류장 디자인 요소에 색상, 패턴, 재료를 적용한 설계안들을 생성하였다 (Generate). 설계안들을 가시화하여 설계의도에 부합하는 결과가 도출되었는지 확인하고 (Test) 수정 내용이 발생하면 파라메트릭 모델에 반영하였다.

버스정류장을 통한 건축 설계 린 스타트업 모델의 적용 가능성을 확인하는 과정에서 디지털 패브리케이션을 통해 다양한 물리 프로토타입을 생성하여 설계안을 테스트하지 못하였다. 설계안의 물리 프로토타입을 생성하고 센서를 부착하면 사용자 및 공간 정보를 수집할 수 있다. 추후 연구에서는 수집된 데이터를 머신러닝 기술을 도입하여 건축물을 사용하는 사용자의 요구사항을 분석하고 설계에 적용하면 사용자 만족도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

현재 국내 건설 산업은 제조업 및 다른 산업과 비교하여 낮은 생산성을 보이고 있으며 건설투자율 하락, 건설수주 금액 감소, 신규 취업자 및 숙련공의 부족 등의 난관에 직면해 있다. 이를 극복하기 위해 최신 기술을 도입하여 다양한 변화를 시도하고 있지만 대부분 기존의 프로세스에 소수의 인력을 투입하여 기술을 적용하는 방법으로 효과를 극대화하지 못하고 있다.

건설 산업은 프로젝트마다 새롭게 조직을 구성하던 기존의 시스템을 하나로 통합된 조직으로 관리하는 시스템으로 전환하고 Parametric design, 디지털 패브리케이션 등의 최신 기술을 활용하는 전문 부서가 신설되어야 한다. 조직의 변화와 동시에 설계, 생산, 유통의 전 과정을 통합하는 건축 설계 린 스타트업 모델을 적용해 기존의 순차적인 프로세스를 탈피하고 건축물을 제품화하여 새로운 비즈니스 모델을 창출하는 혁신을 달성해야 한다.

감사의 글

이 논문은 국토교통부의 스마트시티 석·박사과정 지원사업으로 지원되었음. 또한 본 연구는 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업의 지원을 받았음(과제번호:2016R1D1A1B0 1013694).

References

- Arup, (2013). It's Alive: Can you imagine the urban building of the future?
- Bianchi, M., Åhlström, P. (2014). Additive manufacturing: towards a new operations management paradigm. In 20th International EurOMA Conference.
- Blank, S. G. (2006). The Four Steps to the Epiphany. Foster City, Calif.: Cafepress.com.
- Châlons, C., Dufft, N. (2017). The role of IT as an enabler of digital transformation. In The drivers of digital transformation? Springer, Cham. pp. 13–22.
- da Rocha, C. G., Formoso, C. T. (2013). Configuring product variants in customisation strategies for house-building. Open House International, 38(3), pp. 48.
- Ghezzi, A., Cavallo, A. (2018). Agile business model innovation in digital entrepreneurship: Lean Startup approaches, Journal of Business Research.
- Hallgrímsson, B. (2012). Prototyping and modelmaking for product design. Laurence King.
- Harms, R. (2015). Self-regulated learning, team learning and project performance in entrepreneurship education: Learning in a lean startup environment, Technological forecasting and social change, 100, 21–28.
- Hubers, J. C. (2010). IFC-based BIM or Parametric design. Computing in Civil and Building Engineering, W. Tizani ed., The University of Nottingham, England, 145, 47.
- IDC (2015). Digital transformation (DX): An opportunity and an imperative. IDC Executive Brief.
- Javier, M. (2006). Parametric design: A review and some experiences, 15th eCAADe-Conference Proceedings, Vienna University of Technology.
- Jo, K. D. (2006). A Study on the Integrated Management and Revitalization of Prefabricated Building with Precast Concrete, Inha University.
- Kieran, S., Timberlake, J. (2004). Refabricating architecture: How manufacturing methodologies are poised to transform building construction. New York: McGraw-Hill.
- Kim, J. M. (2016). Suggestions for the Industrial Design Education System in the Digital Fabrication Age. Journal of Digital Design, 16(1), pp. 21–34.
- Kim, S. M. (2014). For beginners personal 3D printing guide, youngjin.com, pp. 52–53.
- Lee, S. Y., Yoo, C. H. (2006). A Study on the Proportion of the Bauhaus as an Aesthetic Function. Journal of Digital Design 6(2), pp. 251–260.
- Lee, H. S., Yang, H. M. (2017). Innovative Methods for Construction Technology at the Era of 4th Industrial Revolution. The Korea Institute of Building Construction, 17(2), pp. 12–17.
- Lee, M. S. (2017). The 4th Industrial Revolution Era, Architectural Response. Review of Architecture and Building Science, 61(5), pp. 4–5.
- Lim, S. H., Kim, Y. T. (2015). Lean Startup Application Study in the Healthcare Industrial point of View : The Case of Humedix Corporation
- Maurya, A. (2012). Running Lean: Iterate from Plan A to a Plan That Works. Sebastopol, CA: O'Reilly.
- Monizza, G. P., Bendetti, C., Matt, D. T. (2018). Parametric and Generative Design techniques in mass-production environments as effective enablers of Industry 4.0 approaches in the Building Industry. Automation in Construction, 92, pp. 270–285.

- Mueller, C. (2017). Distributed Structures: Digital Tools for Collective Design. *Architectural Design*, 87(4), pp. 94–103.
- Ok, Y. J., Choi, J. H. (1999). A Study as to the Residential in the Bauhaus School. *KyungSung University Bulletin*, pp. 313–321.
- Ries, E. (2011). *The lean startup: how today's entrepreneurs use continuous innovation to create radically successful businesses*. New York: Crown Business.
- Schallmo, D. R., Williams, C. A. (2018). *Digital Transformation Now! Guiding the Successful*.
- Schwab, K. (2016). The 4th industrial revolution. In *World Economic Forum*. New York: Crown Business, Retrived October 2, 2018 from <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
- van Drongelen, M., Dennis, A., Garabedian, R., Gonzalez, A., Krishnaswamy, A. (2017). *Lean Mobile App Development: Apply Lean startup methodologies to develop successful iOS and Android apps*.
- Wangler, T., Lloret, E., Reiter, L., Hack, N., Gramazio, F., Kohler, M., Flatt, R. (2016). Digital concrete: opportunities and challenges. *RILEM Technical Letters*, 1, pp. 67–75.
- Weindelt, B. (2016). *Digital Transformation of Industries: Automotive Industry*. In *World Economic Forum in collaboration with Accenture*. pp. 4.