

건설 프로젝트에서 디지털 패브리케이션의 프로젝트 이점에 대한 사례 연구

A Case Study on the Project Benefit of Digital Fabrication in Construction Projects

정의석¹⁾, 김성진²⁾, 함남혁³⁾, 문성곤⁴⁾, 김재준⁵⁾

Jung, Eui-Seok¹⁾ · Kim, Sung-Jin²⁾ · Ham, Nam-Hyuk³⁾ · Moon, Sung-Kon⁴⁾ · Kim, Jae-Jun⁵⁾

Received April 27, 2018; Received May 31, 2018 / Accepted June 4, 2018

ABSTRACT: Recently, the free-form buildings are continuously increasing in the world. However, due to the shortage of experience and technology in the project of the free-form buildings, problems such as increase of construction cost, increase of air and deterioration of construction quality are occurring. In this study, data on the 27 free-form projects in Korea and abroad using digital fabrication were collected through the journals, reports, articles, and websites of the institutes and case studies were conducted based on the collected data. Based on the following case analysis, we conducted evaluation of case data analysis based on the knowledge domain specified in PMBOK. Evaluation of case data analysis shows that the application of digital fabrication is divided into positive and negative effects for each knowledge area in the free-form building project. Using the results of the analysis, we can confirm the knowledge field showing the positive effect on the free-form building project by using digital fabrication. However, the data scale of the project using the digital fabrication is not realized at present and research is insufficient. In Korea, a small number of specialists were interviewed and verified because experts do not exist much in Korea. Therefore, this study is expected to suggest the necessity of applying digital fabrication in the free-form building projects in the construction industry.

KEYWORDS: Free-form Architecture, Digital Fabrication, Case Study, PMBOK

키 워 드: 비정형 건축, 디지털 패브리케이션, 사례분석, PMBOK

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 필요성

비정형 건축물은 1997년 완공된 스페인의 구겐하임 미술관을 시작으로(Kim, 2015), 도시 또는 국가적인 랜드마크로서 건축물이 가져오는 파급효과가 매우 크다(Lee, 2014). 국내에서도 2010년 이후에 동대문디자인플라자(DDP), 서울시청사, LH진주신사옥 등 지속적인 증가를 보이고 있다(Kim, 2015). 2007년에 바우넷에서 선정한 세계 5대 설계사인 헤르조그 앤 드 뮐롱(Herzog

and de Meuron), 자하 하디드(Zaha Hadid), 렌조 피아노(Renzo Piano), 렘 쿨하스(Rem Koolhaas), 노만 포스터(Norman Foster and Partners)의 2006년부터 2010년의 정형대비 비정형 건축물의 설계 비중은 전체의 25%로 1990년 이후로 지속적으로 증가하고 있다(Lee, 2011). 하지만 비정형 건축물의 프로젝트에서 경험 및 기술 부족으로 인한 공사비 및 공기 증가, 시공품질 저하 등의 문제점들이 발생하고 있다(Kim, 2015).

비정형 건축물의 공사에서 발생하는 문제점들을 해결하기 위하여 BIM(Building Information Modeling), 3D 레이저 스캐닝(3D

¹⁾ 학생회원, 한양대학교 건축공학과 석사과정 (jung88vov@naver.com)

²⁾ 정회원, 디지털건축연구소 위드웍스 대표이사 (cielmikim@gmail.com)

³⁾ 정회원, 한양대학교 건축환경공학과 박사과정 (sunkist7@hanyang.ac.kr)

⁴⁾ 정회원, 수원번 공과대학교 토목건설공학과 조교수 (sungkon.moon@gmail.com)

⁵⁾ 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수 (jjkim@hanyang.ac.kr) (교신저자)

Laser Scanning)을 통한 역설계, 3D 프린팅, CAM(Computer Aided Manufacturing)과 CNC(Computerized Numerical Control) 기술적용 등 많은 방법이 제시되었다. 이렇게 발전된 디지털 기술들을 통하여 비정형 건축물의 최적화 설계와 부재화를 통한 공장 생산, 그리고 현장 조립 및 설치 기술로 비정형 건축물의 완성도를 높이고 공사 기간 및 공사비를 최소화할 수 있다 (Guzik, 2009).

앞에 언급된 디지털 기술들을 활용하여 형태생성부터 재료 가공, 시공까지의 모든 과정을 체계적으로 관리하는 것을 디지털 패브리케이션이라고 한다(Lim and Lee, 2015). 본 연구에서는 디지털 패브리케이션을 적용한 비정형 건축물의 국내·외 사례를 분석하고 실제 적용한 사례의 자료를 전문업체로부터 지원받아 분석을 진행하고 PMBOK을 기반으로한 평가를 진행함으로써 향후 건설산업에서 비정형 건축물 시공 시 디지털 패브리케이션의 적용에 대한 의사결정을 지원하는 연구가 될 것으로 사료된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 과거에 진행된 디지털 패브리케이션을 적용시킨 국내·외 사례를 분석하고, 분석된 사례에 대한 데이터를 PMBOK의 지식분야를 기반으로 항목을 정하고 평가할 것이다.

우선 디지털 패브리케이션을 적용하여 시공한 비정형 건축물에 대하여 과거부터 현재까지 사례들을 전체적으로 분석하기 위하여 대표적인 국내·외 사례들의 데이터를 수집하였으며, 수집한 데이터를 기반으로 각 프로젝트별로 디지털 패브리케이션을 적용한 비정형 면적, 재료의 종류, 재료의 수, 생산방법, 업무범위, 기간, 적용 소프트웨어 등으로 분류하여 사례분석을 하였다.

다음으로 디지털 패브리케이션이 적용된 프로젝트의 사례분석표를 PMBOK의 지식영역에 대한 이론적 고찰을 통해 추출한 평가에 항목을 디지털 패브리케이션에 맞게 조정하고, 분석 항목에 따라서 평가를 실시하였다.

마지막으로 평가 결과를 기반으로 건설 프로젝트가 디지털 패브리케이션의 적용으로 PM(Project Manager)의 관점에서 얻을 수 있는 이점을 분석하고 나아갈 방향에 대한 시사점을 도출하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 BIM

최근 이슈화 되고 있는 BIM은 프로젝트 기획, 설계, 시공 그리고 유지관리단계까지 건축물의 전 생애주기에 걸쳐 프로젝트에서 발생하는 다양한 정보를 3D Modeling을 통하여 활용하는 기술이다(Lee et al, 2015). BIM 운영 관리는 설계단계에서 구축된 3D BIM Model을 활용하여 다양한 공종의 참여자들이 공정, 시공

방법, 공사비 산출 등 설계 및 엔지니어링에 대한 견적, 공정계획, 이해관계자 간의 조율, 부재 승인 및 설치 과정을 효율적으로 수행할 수 있다(Ham and Kim, 2015). 하지만 국내에서는 전통적으로 쓰이는 방식인 설계시공분리방식(DBB)으로 인한 각각 단계별로 서로 다른 참여자가 업무를 수행하기 때문에 설계단계와 시공 단계가 분리되어 BIM을 적용하는데 한계가 존재한다(Koh, 2017). 과거부터 현재까지 지속적으로 다양하고 복잡한 비정형 건축물 프로젝트들이 증가하고 있으며, 이러한 비정형 건축물 프로젝트의 경우에는 설계단계에서부터 전문시공업체와의 협업부족으로 정확한 시공공법이 적용되지 않거나, 정형 건축물에 적용되는 공법과 일위대가가 적용되어 시공단계에서 설계변경 및 재시공으로 인한 공사비 증가와 그로 인해 발생하는 공사품질 저하, 공기 지연 등의 문제가 빈번하게 발생하고 있다(Kim et al, 2014). 복잡한 건설 프로젝트는 기획 단계부터 조직 간의 연계가 필요하고 그렇기 때문에 AIA(2007)는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 IPD(Integrated Project Delivery)방식을 제시하였고, 해외 프로젝트의 경우에는 국내의 전통적인 방식보다는 CM at Risk, IPD 등의 조달방식을 사용하고 있다(Maurer, 2010).

IPD를 적용하는 경우에는 건설사업 초기단계에서부터 다양한 분야의 전문가가 사전에 참여하여 설계 및 시공단계의 경험, 지식 등이 시공단계 이전인 기획단계 또는 설계단계에서 피드백 됨으로써, 설계와 시공과정의 효율이 극대화되어 품질, 원가, 공정 등 프로젝트 성과가 최적화 될 것이다(AIA, 2007). 그럼에도 불구하고 국내에서는 아직 BIM 도입 현황을 살펴보면 아직은 IPD방식이나 Lean 건설 등을 구현할 정도로 건설시장에 BIM을 도입하려는 움직임은 적극적이지 않다(Ham and Kim, 2015). 해외에서는 BIM에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있고 BIM에 대한 관심의 증가는 IPD와 같은 새로운 PM의 Framework와 함께 고려할 수 있다고 해석하고 있으며, 이로 인하여 보다 긴밀한 공동 작업과 효과적인 커뮤니케이션의 필요성이 증가한다(Eastman et al, 2011). 또한, BIM은 향상된 공동 작업과 정보 공유는 Lean 건설의 목표에 기여할 수 있다(Olatunji, 2011). BIM은 프로젝트의 생애주기 동안의 모든 단계에서 잠재적으로 사용할 수 있으며, 발주자는 프로젝트의 필요성을 이해하기 위해서, 디자인팀은 프로젝트의 분석, 설계 그리고 발전시키기 위해서, 도급자는 프로젝트 시공을 효율적으로 관리하기 위해서, 시설관리자는 유지 및 보수단계에서 효율적으로 관리하기 위해서 사용할 수 있다(Grilo and Jardim-Goncalves, 2010).

BIM은 기획, 설계단계에 초점을 맞춰 설계, 구조 시공, 전기, 방화시설 등을 모두 3D Model로 표현하고 간섭검토 등을 진행하여 설계변경을 최소화할 수 있다(Won et al, 2008). 그렇기 때문에 기획, 설계단계 뿐만 아니라 시공단계까지 이끌어가서 시공성 검토, 품질향상, 공기단축, 비용절감 등의 효과를 꾀할 필요가 있다.

2.2 Digital Fabrication

1990년대 중반까지는 대부분의 비정형 건축물들은 2D CAD 도면의 한계, 비정형 외장부재 생산의 어려움, 시공 정밀도 부족 등 많은 까다로운 문제점들(Kwen, 2011)이 존재하기 때문에 시드니오페라하우스, 윌트디즈니 콘서트홀, KINTEX 제2전시장 등 현재까지 건설된 많은 비정형 프로젝트들은 공기가 지연되거나 공사비 증가, 시공품질 저하 등의 문제점들이 발생했다(An, 2011). 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 최근까지도 비정형 건축물을 구현하기 위한 많은 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 하지만 여전히 비정형 건축물을 시공단계에서 설계요류, 시공자의 도면이해 부족, 시공경험 부족 그리고 공법의 부재 등으로 인한 문제점들이 야기되는 등 잠재적인 리스크를 포함하고 있다(Ryu and Kim, 2013).

기존 비정형 패널의 경우에는 제작상의 문제로 평면 일방향 곡면 형태로 많이 제작 및 시공을 하였으나 5축 가공 기술 등의 다축 가공형 패속 조형(Rapid manufacturing)기술 등 디지털 기술을 적용하면서 설계와 설계데이터를 제조 기기로 전송하고 제작하는 기술이 가능하게 되었다. 즉, CAM(Computer Aided Manufacturing)기술과 CNC(Computerized Numerical Control)가 공과 같은 디지털 기술을 적용하여 디지털 좌표 정보로 3차원 부재 제작이 가능하게 되었다(Ryu, 2013). 디지털 기술의 발전으로 기존의 정형적인 공간 구축 개념에서 벗어나 유연한 사고와 효율적이고 유기적인 형태 생성이 가능하게 되었다(Lim and Lee, 2015). 앞서 언급한 내용과 같이 디지털 기술을 이용하여 제작하며 설계, 제작, 시공, 품질관리까지 통합적으로 관리하는 것을 디지털 패브리케이션이라고 하며 항공, 선박, 자동차 등 제조 산업

에서는 이미 광범위하게 활용되고 있고 필수적인 기술이고 공장에서 제작하고 현장에서 설치하는 방식으로 진행된다. 제조업에 주로 쓰이던 설계 프로그램인 CATIA를 Frank Gehry가 1992년에 처음으로 도입하여 길이 54m, 높이 35m의 Fish라는 조형물의 곡선형상을 3차원으로 재현하고 부재 생산과정에 디지털 미디어가 융합된 최초의 프로젝트이다. CATIA는 2D 제작도면이나 문서 없이도 3D Model에서 바로 필요한 철골부재 제조 및 시공에 필요한 정보를 추출할 수 있기 때문에 사용되었다. 또한, CATIA를 이용하면 설계자와 시공자 간에도 효율적인 의사소통이 가능하고 프로젝트 참여자 간의 협업 네트워크의 구축이 수월하였다(Won et al, 2008). 하지만 국내에서는 아직 전통적인 조달 방식인 DB방식처럼 분절된 산업 구조가 유지되고 있기 때문에 초기단계에 머물러 있다(Ham et al, 2018). 디지털 패브리케이션은 CNC Machine(Laser, Router, Plasma 등)을 이용한 가공 및 제작방법으로 시공오차 최소화, 시공품질 확보, 최적화로 인한 생산성 증가 등의 장점으로 동대문디지털플라자, 롯데타워 포디움, 디 아크(The Arc) 등 국내외 완성된 비정형 프로젝트들로 증명하고 있다. 또한, CNC Machine으로 거푸집을 제작하여 Mold형식으로 비정형 부위를 부재화하여 공장 제작 및 설치하는 방식으로 시공한 하나은행별관 리모델링 공사, 카타르 국립 박물관 등의 사례가 있다. 이처럼 건설산업에서 비정형 건축물의 경우에는 기존의 현장 위주의 건축에서 벗어나 디지털 기반으로 제조업화 되는 시점에서 서 있는 것이다(Kang, 2015).

Bryde et al(2013)은 BIM의 사용으로 건설 프로젝트에서 얻을 수 있는 효과를 PMBOK(Project Management Body of Knowledge)에 명시된 지식영역을 토대로 분석하였다. 디지털 패

Table 1. Success criteria based on PMBOK knowledge areas

PMBOK knowledge area	Definition(after PMI, 2008)	Criterion	Positive consideration
Integration management	Unification, consolidation, articulation, and integrative actions	Coordination*	Improvement
Scope management	Defining and controlling what is and is not included in the project	Scope	Clarification
Time management	Accomplish timely completion of the project	Time	Reduction or control
Cost management	Planning, estimating, budgeting, and controlling costs	Cost	Reduction or control
Quality management	Quality planning, quality assurance, and quality control	Quality	Increase or control
Human resource management	Organize and manage the project team	Organization	Improvement
Communication management	Timely and appropriate generation, collection, distribution, storage, retrieval, and disposition of project information	Communication	Improvement
Risk (uncertainty) management	Increase the probability and impact of positive events, and decrease the probability and impact of adverse events	Risk	Negative risk reduction
Procurement management	Purchase or acquire the products, services, or results needed from outside the project team to perform the work	Procurement	Help

*Integration was changed to Coordination as the term was more usually found in case studies and it was deemed to have a very similar meaning.

브리케이션 또한 BIM과 평가 항목이 비슷하게 판단되기 때문에 PMBOK의 지식영역을 통한 분석을 적용할 수 있다. 하지만 디지털 패브리케이션의 적용에 대한 얻을 수 있는 효과를 분석한 연구는 찾기 어려웠다. 또한 디지털 패브리케이션의 생산성 및 효과를 나타낼 수 있는 사례들에 대한 축적된 데이터는 찾아보기 힘들다. 또한, 디지털 패브리케이션의 전문가는 국내에 소수만 존재하기 때문에 데이터 제공 및 인터뷰에 어려움이 따른다. 본 연구에서는 디지털 패브리케이션의 국내와 해외의 27개의 비정형 건축물 프로젝트 사례분석을 진행하고, 사례분석한 데이터를 PMBOK 지식영역 및 전문가 인터뷰를 통하여 평가하고자 한다.

2.3 PMBOK

PMI에서는 프로젝트 관리 지식체계(PMBOK)를 전문적인 프로젝트관리 분야의 지식을 집약하여 발표하고 있다. Table 1과 같이 PMI에서 프로젝트관리의 분야로 나눈 것은 총 9분야이며 Integration Management, Scope Management, Time Management, Cost Management, Quality Management, Human Resource Management, Communication Management, Risk (uncertainty) Management, Procurement Management로 나누고 있다. Integration Management은 결합, 통합, 유기적 연결에 따른 통합적인 조치에 대한 지식영역으로 정의하였다. Scope Management는 프로젝트에 포함되는 것과 포함되지 않는 것을 구분, 구분하여 관리하고 Time Management는 프로젝트를 적시에 완료하는 것이다. Quality Management는 완성물에 대한 품질 관리에 대한 전반적인 내용을 담고 있고, Human Resource Management는 프로젝트 팀 구성 및 관리, Communication Management는 적절하고 시기에 맞게 프로젝트 정보의 생성, 수집, 배포, 저장, 검색 및 처분에 대한 지식분야로 구분하였다. Risk Management는 긍정적인 사건의 확률 및 영향을 증가시키고, 부정적인 사건의 확률 및 영향을 감소시키는 것이다. 이 중에서 Procurement Management의 경우에는 본 연구의 사례분석에 대한 평가에서는 해당하는 부분이 적기 때문에 항목에서 제외하였다. 디지털 패브리케이션을 적용하기 위해서는 소프트웨어의 사용은 기본적으로 포함되며, 소프트웨어의 종류 및 적용 범위에 대한 평가 내용이 필요하기 때문에 Software issues에 대한 평가 항목을 추가하였다. 또한, 디지털 패브리케이션은 기존 건설산업에서 사용하는 재료에 한정적이지 않으며 특수한 재료를 많이 사용하였고, 습식공법에 대한 거꾸집에 대해서도 복잡하고 다양한 형상을 구현한 것에 대한 평가 항목이 필요하기 때문에 Material Management의 항목을 추가하였다. 따라서 본 논문은 PMBOK의 지식영역을 토대로 디지털 패브리케이션의 적용에 대한 항목을 총 10개로 지정하고 사례분석에 대한 평가를 실시하였다.

3. Case Study

3.1 Data Collection

본 연구의 사례분석의 데이터 수집은 AIA BIM TAP AWARDS(현 AIA/TAP Innovation Awards Program)을 2005년부터 2017년까지의 발행물에 포함된 프로젝트의 데이터를 수집했다. 다음으로 수집한 데이터에서 비정형이 포함된 프로젝트를 추출하고, 추출된 프로젝트에서 디지털 패브리케이션을 적용하여 설계, 제작 및 시공을 진행한 프로젝트에 대해서 데이터를 수집하였다. 부족한 데이터는 학술지 및 학회 발표자료, 각 프로젝트를 설계한 설계회사, 시공을 진행한 시공사, 그리고 부재를 제작한 제작회사 등의 웹 홈페이지를 통해서 부족한 데이터를 수집하였다. AIA BIM TAP AWARDS의 발행물에 포함된 프로젝트만으로는 사례분석의 목표치에 도달하지 못하였다.

전문 건설업체인 Withworks에서 실제로 진행한 프로젝트의 데이터를 지원받아 국내·외의 디지털 패브리케이션을 적용시킨 약 5개 프로젝트의 상세한 데이터를 분석하였다. 또한 Withworks에서 한국 시공학회 및 한국BIM학회에 발표를 진행하였던 자료를 참고하여 추가로 사례분석을 실시하였고 전문가 인터뷰를 통하여 누락된 프로젝트를 추가 및 적절하지 않은 프로젝트는 제거하고 사례분석을 완료하였다.

사례분석 결과는 총 27건의 국내·외 디지털 패브리케이션을 적용한 비정형 건축물 프로젝트에 대한 데이터를 수집할 수 있었다.

3.2 Data Analysis

Table 2는 총 27건의 국내외 디지털 패브리케이션을 적용한 비정형 프로젝트의 데이터를 수집하여 진행한 사례분석에 대한 표이다. 사례분석을 진행한 국내외의 프로젝트 수를 확인해보면 해외에서 적극적으로 BIM에 대한 적용 및 연구가 진행되기 때문에 해외의 사례수가 국내보다 1.7배 많은 것을 확인할 수 있다.

데이터는 국내와 해외로 분류하여 실시하였으며, 연면적, 비정형이 적용된 면적, 재료의 종류, 재료의 수, 비정형이 적용된 부위, 재료의 크기, 생산방식 또는 공법, 공종, 공사기간, 사용한 소프트웨어의 항목으로 데이터를 분류하였다. 그 중에서도 비정형이 적용된 면적, 재료의 종류, 재료의 수, 재료의 크기에 초점을 맞춰서 데이터 수집을 하였다. 데이터 수집의 부족한 부분은 전문가 인터뷰를 통하여 사례분석을 완료할 수 있었으며, 그 중에서도 데이터 수집의 한계로 약 15개 정도의 데이터의 누락이 존재하였다.

비정형 면적을 총 27개의 프로젝트 중에서 50,000㎡이상인 프로젝트는 4개로 전체의 15%를 차지하였고, 10,000㎡이상인 프로젝트는 7개로 전체의 26%를 차지하였다. 디지털 기술의 적용으로 인해 향상된 생산성 덕분에 가능한 비정형 면적으로 판단된다.

적용된 부위는 내부, 외부, 내부/외부로 구분을 하였으며 내부만

Table 2. Case study

Project	Building gross area	Free-form area	Material	A number of material	Fabrication method	Interior / Exterior	Material size	Scope of Work	Construction Period	Software
Domestic	P1	54,583 m ²	AL BAR Glass	22,000 EA 12,500 EA	CNC Machine	Exterior	1,400/1,450mm x 4,500/6,000/7,000mm 1,400/1,450mm x 350/1,100mm	Curtain Wall	12 months*	CATIA
	P2	2,893 m ²	AL Panel	2,308 EA	CNC Machine	Exterior	1,600mm x 800mm	Exterior finish	8 months*	CATIA, RHINO
	P3	83,024 m ²	AL Panel	45,133 EA	CNC Machine MPSF	Exterior	1,600mm x 1,200mm	Exterior finish	14 months*	CATIA, RHINO, TEKLA
	P4	33,091 m ²	Glass	32,093 EA	CNC Machine	Exterior	540mm x 540mm	Steel Curtain Wall	24 months*	CATIA
	P5	7,414 m ²	GRP	98 EA	CNC Machine MPSF	Exterior		Exterior finish	20 months*	CATIA
	P6	328,351 m ²	NT Panel AL BAR	17,934 EA 11,791 EA	CNC Machine	Interior	1000mm x 200mm	Interior finish	10 months*	CATIA
	P7	5,963 m ²	ETFE	336 EA	CNC Machine	Exterior	3,000mm x 2,500mm	Steel Exterior finish	5 months*	CATIA
	P8	16,287 m ²	UHPC	256 EA	CNC Machine Mold	Exterior	2,000mm x 4,200/4,400/6,200mm	Exterior finish	12 months*	CATIA
	P9	25,803 m ²			CNC Machine	Exterior		Curtain Wall		TEKLA
	P10	1,880 m ²	AL Panel Wood Panel	7,553 EA 8,800 EA	CNC Machine	Interior / Exterior		Interior finish Exterior finish		
	P11	13,564 m ²	Titanium Panel	9,000 EA	CNC Machine	Exterior	2,100mm x 800mm	Exterior finish	39 months	CATIA, TEKLA
	P12	90,000 m ²	ETFE	4,000 EA	CNC Machine Pressure	Exterior	Diameter: 7,500mm Circle	Steel Exterior finish	50 months	RHINO 3d MAX, Microstation
	P13	260,000 m ²	ETFE PTFE	884 EA 1,044 EA	CNC Machine Pressure	Exterior		Steel Exterior finish	46 months	TEKLA
	P14	65,000 m ²	GRP	560 EA	Mold	Exterior	Length: 300,000mm	Exterior finish	53 months	CATIA, TEKLA
Overseas	P15	11,000 m ²	Concrete Glass	19,000 EA 3,600 EA	CNC Machine MSV	Exterior	3,000mm x 1,500mm 1,500mm x 400mm	Exterior finish	74 months	CATIA
	P16	28,000 m ²	Cast Stone Panel	1,150 EA	CNC Machine	Interior / Exterior	2,000mm x 500mm	Interior finish Exterior finish		Navisworks
	P17	400,000 m ²	AL Panel	55 EA	CNC Machine	Exterior	Height: 12m-18m	Exterior finish	84 months	Grasshopper
	P18	180,000 m ²	Concrete Steel	700 EA 8,400 EA	CNC Machine Mold	Exterior	9,200mm x 2,400mm	Exterior finish	31 months	REVIT
	P19	24,898 m ²	Copper Panel	6,000 EA	Press Brake-Punch-and-Die Machine	Exterior	3,300mm x 300/450/760mm	Exterior finish	27 months	REVIT
	P20	205,000 m ²	Glass Steel	4,788 EA 7,123 EA	CNC Machine	Exterior	2.14m ² per a panel	Exterior finish	52 months	
	P21	14,400 m ²	Glass	6,800 EA	CNC Machine	Exterior	0.72 m ² per a panel	Exterior finish	72 months	
	P22	16,500 m ²	Glass	4,500 EA	CNC Machine	Interior / Exterior	2.22 m ² per a module	Interior finish Exterior finish	56 months	Nemetschek Allplan
	P23	16,000 m ²	Steel	16,000 EA	CNC Machine	Exterior	630mm Hexagon	Exterior finish	38 months	CATIA
	P24	28,000 m ²	Concrete		CNC Machine Mold	Exterior		Exterior finish	48 months	RHINO, SAP2000
	P25	47,000 m ²	GRP	75,000 EA	Mold	Exterior	400m x 250m per a disc	Exterior finish	72 months	CATIA
	P26	16,030 m ²	Customized Brick	320,000 EA	Mold	Exterior	Brick-76mmx110mmx230mm	Exterior finish	24 months	REVIT
	P27	16,500 m ²	Glass AL Panel	1,800 EA 1,000 EA	Mold	Exterior		Exterior finish	36 months	

** Sign = Construction Period of Free-form Area

적용한 프로젝트는 1개(4%), 외부에만 적용한 프로젝트는 23(85%), 내부/외부에 적용한 프로젝트는 3개(11%)이다. 디지털 패브리케이션을 적용한 부위 중에서 외부공사에 대한 비중이 크게 나타난 것은 비정형 건축물의 내부 골조공사의 경우에는 정형건물과 크게 다르지 않기 때문이다. 건축물을 접하는 사람에게는 외부 마감의 비정형 및 복잡한 형상으로 인한 강력한 인상을 남겨줄 수 있기 때문에 특정 지역만의 랜드마크 건물 또는 도시를 대표하는 건축물에서 비정형 건축물을 쉽게 볼 수 있다.

공종은 적용 부위와 비슷한 결과를 확인할 수 있으며, 전체 프로젝트의 26개(96%)가 커튼월 공사, 외부마감 공사에 포함되었으며, 내부마감 공사는 1개(4%)이다.

건설산업에서 사용하는 재료의 경우에는 재래식 공법에서도 많이 사용되는 철, 콘크리트, 알루미늄, 유리 등을 많이 사용하는 과거와는 달리 새로운 재료를 많이 사용하고 있다. 과거의 재료들 이외에도 ETFE(Ethylene Tetra Fluoro Ethylene)를 사용한 프로젝트는 3개(11%)이고, PTFE(Poly Tetra Fluoro Ethylene)를 사용한 프로젝트는 1개(4%)이고, GFRP(Glass Fiber Reinforced Polymer)를 사용한 프로젝트는 3개(11%)이고, UHPC(Ultra High Performance Concrete)를 사용한 프로젝트는 1개(4%)이다. 전체 프로젝트에서 7개(26%)가 과거의 한정적인 재료가 아닌 재료로 비정형 형태를 구현하였다.

생산방식은 재료에 따라서 비슷하게 분류가 되며 AL, Panel, AL, Bar, Wood Panel, Titanium Panel, Mold를 형성하기 위한 비

Table 3. Positive and negative benefits of using digital fabrication on selected cases

Project	Coord.		Scope		Time		Cost		Qual.		Org.		Com.		Risk		Soft.		Mat.		Score
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	
P1								-1	1							-1	1				0
P2	1		1						1								1				4
P3	1							-2	2		1				1		2				5
P4																	1				1
P5						1			1								1				3
P6	2					1		-2	2		1		1			-1	1		1		6
P7	1					1		-2	1								1		2		4
P8	2					1		-1	2								1		1		6
P9							-1									1		1			1
P10																1					1
P11	1					1		-2	1							-1	2				2
P12	2							-1	1					1					1		4
P13	1							-2	2								1		2		4
P14								-2									2		1		1
P15	1								2						2		2				7
P16	1					1			1								1		1		5
P17							-1		-1										1		-1
P18	1								1		1		1								4
P19																			1		1
P20								-1													-1
P21	1						-1						-1								-1
P22			1				-2		2		2										3
P23			1					-1									1		1		2
P24			1			1		-1											1		2
P25								-2	1								1		1		1
P26	2						-1	1		3					2			-1	2		8
P27									2												2
	Coord.		Scope		Time		Cost		Qual.		Org.		Com.		Risk		Soft.		Mat.		Average
	17	0	4	0	7	-6	1	-21	26	0	5	-1	3	0	7	-3	20	-1	16	0	2.740

정형 거푸집 등에는 CNC Machine을 적용하여 Cutting, Welding, Milling 등의 작업으로 재료를 생산하였으며, Concrete Panel, UHPC, Customized Brick 등은 CNC Machine으로 제작된 거푸집을 통하여 부재를 생산하는 방식이다. 특수한 재료인 ETFE의 경우에는 압축공법을 적용하여 부재를 생산하였다. P3의 경우에는 AL Panel임에도 불구하고 MPSF(Multi Point Stretching Forming Machine)을 적용하여 2방향 AL Panel을 구현하였다.

디지털 생산방식은 오차범위가 최소화 되어야 높은 품질의 비정형 형상의 구현이 가능하기 때문에 대부분의 프로젝트는 BIM Software인 CATIA를 적용하였으며, 상황에 따라서 다른 프로그램도 복합적으로 적용하였다.

4. 평가

4.1 종합적인 평가

2000년도 이후에 완공된 국내와 해외의 BIM이 적용된 프로젝트 중에서 디지털 기술이 적용된 27개의 프로젝트를 선별하여 데이터를 수집하고 사례분석을 진행했다. 사례분석한 데이터를 PMBOK의 지식영역을 기반으로 평가를 실시했다. 도출된 결과를 디지털 패브리케이션 전문업체의 전문가 인터뷰를 통하여 얻은 최종결과는 Table 3과 같다. Table 3에 나타난 긍정적인 효과와 부정적인 효과는 프로젝트 성공의 지표가 아니라 긍정적인 이익 또는 부정적인 이익이 발생했다는 의미이며, 프로젝트의 점수가 음수가 나오더라도 음수에 해당 항목에 대한 부정적인 이익이 발생한 것이며 프로젝트에 적용한 디지털 패브리케이션이 전반적으로 부정적인 이익을 준 것은 아니다. 예를 들면, Table 3에서 P17, P20, P21의 경우에는 -1의 점수를 보여준다. 이는 P17의 경우에

는 시간과 비용에 대해서 어려움을 겪었거나 어려움을 유발한 것이고, 재료적인 측면에서는 긍정적인 이익을 얻은 것으로 해석하면 되며, 프로젝트에서 전반적인 손해를 입거나 실패한 프로젝트는 아니다.

Table 3에서 진행한 평가는 Table 4와 같이 긍정적인 이익과 부정적인 이익의 점수, 언급회수 그리고 전체 프로젝트에서의 비중으로 요약하였고 긍정적인 이익의 점수가 높은 순서대로 나열하였다. 그 중에서 가장 높은 점수는 품질에 대한 부분이 차지하였다.

4.2 세부 평가지표에 대한 분석

4.2.1 Quality Management

가장 높은 점수를 획득한 Quality Management의 지식영역은 긍정적인 영향은 총 26점을 획득하였으며, 전체에서 17개(63%)의 프로젝트에서 긍정적인 언급이 있었으나 부정적인 언급은 없었다. 최근 국내·외에서 비정형 건축물에 대한 관심이 높아지고 다양하고 복잡한 프로젝트들이 증가하고 있다. 하지만 기존 정형 건축물의 외벽공법을 비정형 건축물의 외피에 그대로 적용하여 누수, 균열 그리고 접합부분의 품질저하 등의 다양한 하자가 발생한다. 뿐만 아니라 발생한 하자에 따라 재시공, 공기지연, 손실 부재 물량의 증가 등이 발생한다(Ryu, 2013). 디지털 패브리케이션의 경우에는 설계단계에서부터 시공성을 검토하여 최적화를 진행하고 CNC Machine, MPSF, MSV 등으로 정밀한 가공을 통하여 오차범위를 mm단위로 최소화하여 최고의 품질을 확보할 수 있다.

4.2.2 Software Issues

두 번째로 큰 점수를 획득한 Software issues이다. 긍정적인 영향은 총 20점의 점수를 획득하였고, 전체에서 16개(59%)의 프로

Table 4. The success criteria ranking of using digital fabrication

Success Criteria	Positive benefit			Negative benefit		
	Total instances	Total number of projects	% of total projects	Total instances	Total number of projects	% of total projects
Quality increase or control	26	17	62.96%	0	0	0.00%
Software issues	20	16	59.26%	1	1	3.70%
Coordination improvement	17	13	48.15%	0	0	0.00%
Material improvement	16	13	48.15%	0	0	0.00%
Negative risk reduction	7	5	18.52%	3	3	11.11%
Time reduction or control	7	7	25.93%	6	5	18.52%
Organization improvement	5	4	14.81%	1	1	3.70%
Scope clarification	4	4	14.81%	0	0	0.00%
Communication improvement	3	3	11.11%	0	0	0.00%
Cost reduction or control	1	1	3.70%	21	14	51.85%

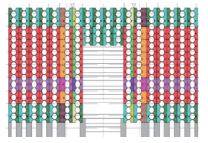
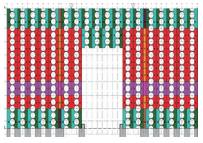
젝트에서 긍정적인 언급이 있었고, 소프트웨어 프로그래밍의 경험부족으로 인하여 발생한 1개의 부정적인 언급이 있었다. 디지털 패브리케이션을 적용하기 위해서는 BIM 3D Model에서 시작하기 때문에 모든 프로젝트에서 BIM Software가 적용되었다. 대부분의 프로젝트에서 CATIA, TEKLA 등을 사용하여 오차범위를 최소화하여 다수의 긍정적인 이익이 있었다. 또한, 3D Model을 통하여 2D 제작 도면 추출은 사람이 직접 CAD로 작성하는 것과는 비교할 수 없는 생산성을 가지며, CATIA를 사용할 경우에는 2D 제작 도면 및 문서가 없어도 철골 부재제작이 가능하며, 시공의 필요한 정보를 추출할 수 있다(Won et al, 2008). 3D Model을 이용하여 간섭검토 및 물량산출 등의 업무까지 가능하다.

4.2.3 Integration Management

다음으로는 Integration Management의 지식영역에 대해서는 모두 긍정적인 영향이 나타났다. 이 지식영역에서는 비정형 프로젝트의 각각 크기가 다른 부재들을 최적화하여 생산성을 높이는 과정을 포함하였으며, 설계 최적화를 통하여 부재의 크기 및 종류를 한정시켜서 생산성을 높였다. 대표적으로 P8의 사례를 통하여 확인해보면 Table 5와 같이 진행이 되었다.

P8의 부재의 종류의 최적화 과정을 확인해보면, 부재는 곡선 부분에서 새로운 타입의 부재가 발생하여 CNC Machine을 통한 거푸집의 개수가 기존에는 12개였다. 하지만 12개의 거푸집을 제작하는 것은 경제성의 하락이 예상되었으며 설계단계에서 최적화 과정을 거쳐 부재 생산을 위한 거푸집을 8개의 타입으로 조정하였다. 이처럼 27개의 프로젝트 중에서 13개(48%)의 프로젝트에서 17번의 긍정적인 효과가 나타났다. Ryu(2013)는 디지털 설계의 최적화 연구를 통하여 최적화 설계 프로세스를 제시하고 이를 통하여 시공품질 향상과 공기단축 및 시공비 상승의 문제점을 해결할 수 있었다.

Table 5. Optimized panel types of P8

	Original panels	Optimized panels
Optimized panels		
Type of panels (A number of forms)	12 Types	8 Types

4.2.4 Material Management

Material improvement의 긍정적인 영향은 총 16점으로 나타났다. 전체 프로젝트 중에서 13개(48%)에서 긍정적인 효과가 있었고, 부정적인 영향은 없었다. 기존 정형 건축물에 제한된 재료와 다르게 디지털 패브리케이션을 적용한 비정형 건축물 프로젝

트의 경우에는 부재를 프로젝트에 맞춰 사용자화해서 3D Model을 통해 추출한 2D 제작 도면을 통하여 CNC Machine, MPSPF, MSV, Pressure 등을 이용하여 제작하기 때문에 다양한 부재를 사용할 수 있었다. 기존 건축물의 재료로 사용하지 않던 UHPC, ETFE, GRCP, GFRC(Galss Fiber Reinforced Concrete) 등을 적용하여 다양하고 복잡한 외피를 표현할 수 있었고, 기존 건설산업에서 지속적으로 사용해 왔던 AL, Panel 이나 Copper Panel 등을 Press Brake Punches and Dies Tool을 이용하여 부재를 구부려서 입체적인 Panel로 외장마감을 하였으며, Exposed Concrete 또는 Concrete Panel 등의 재료는 복잡한 형상의 거푸집을 3D Model을 통하여 추출한 2D 제작 도면으로 CNC Machine을 통하여 공장에서 비정형 거푸집을 제작하고 타설 및 양생과정을 통해 제작한 거푸집 또는 Concrete Panel을 현장으로 운반하여 설치하기도 하였다. Software issues와 Quality Management에서 언급된 긍정적 부분과 연결되어 통합적으로 창출된 결과라고 보면 될 것이다.

4.2.5 Risk Management

Risk (uncertainty) Management의 지식영역은 긍정적인 영향에서 7점을 획득하였으며, 전체에서 5개(19%)의 프로젝트에서 긍정적인 영향을 미쳤고, 3개(11%)의 프로젝트에서는 -3점의 부정적인 영향이 나타났다. 디지털 패브리케이션을 적용할 경우에는 3D Model을 통하여 시공에 대한 시뮬레이션 또는 여러 차례에 걸친 Mock-up을 통하여 부재 제작 및 시공에 대한 잠재적인 리스크를 검토한 후에 제작 및 시공을 진행한다. 하지만 비정형 건축물의 경우에는 초기에 프로젝트만의 특성을 완벽하게 고려하기 어렵고 실제와 계획의 차이가 크기 때문에 프로젝트 관리에서 잠재적인 리스크로 작용한다. 현재 비정형 건축물의 프로젝트 관련 실적자료나 사례분석 자료 구축이 미비하여 잠재적인 리스크를 사전에 예방하기에 어려움을 겪고 있는 실정이다(Lee and Kim, 2014). 그렇기 때문에 긍정적인 영향이 부정적인 영향보다는 약 2배 많게 나타났지만, 부정적인 영향도 3건으로 전체 프로젝트의 11%로 적지 않게 나타난 것으로 사료된다.

4.2.6 Time Management

Time Management의 지식영역의 경우에는 긍정적인 영향은 7개(26%)의 프로젝트에서 총 7점을 획득했고, 부정적인 영향은 5개(19%)의 프로젝트에서 -6점으로 나타난다. 디지털 패브리케이션을 적용하여 통합적으로 관리된다면 3D 스캐닝을 통한 형상 데이터를 기반으로 시공 시 품질은 물론이고 공기절감 효과까지 얻을 수 있다(Ryu and Kim, 2016). 하지만 비정형 건축물 프로젝트의 기획 단계부터 잠재적인 리스크를 분석하고, 설계단계에서 Mock-up을 통하여 잠재적인 리스크를 해결하고 시공단계까지

연결되어야만 공기절감, 품질향상 등과 같은 디지털 패브리케이션의 장점을 얻을 수 있다. 하지만 현실적으로는 긍정적인 효과가 부정적인 효과보다 빈번하게 발생하긴 했고, 그렇지 않은 경우에 발생하는 부정적인 효과 또한 무시할 수 없었다.

4.2.7 Human Resource Management

Human Resource Management의 지식영역의 경우에는 긍정적인 영향은 4개(15%)의 프로젝트에서 5점을 획득했고, 부정적인 영향은 1개(4%)의 프로젝트에서 -1점으로 나타난다. 디지털 패브리케이션의 경우에는 BIM, Lean Construction과 많은 관련이 있다. 인력, 자재, 기계 등을 JIT(Just In Time)를 적용하여 적재적소에 배치하여 생산성을 높이는 것이 필요하며 그것을 Lean Construction이라고 한다. 디지털 패브리케이션의 경우는 선 제작(Pre-fabrication)으로 공장에서 제작하고 현장으로 운반하여 설치하는 방식으로 공사가 진행된다. 이 지식영역은 디지털 패브리케이션의 적용에 있어서 중요한 요소지만 아직까지 공법에 대한 미숙함으로 많은 프로젝트에서 긍정적인 효과가 나타나지는 못하고 있다.

4.2.8 Scope Management

Scope management의 지식영역의 긍정적인 영향은 총 4점이며 부정적인 영향은 발생하지 않았고, 모두 긍정적인 영향이 발생했으나 발생의 빈도는 전체에서 4개(15%)의 프로젝트에서 언급되어 낮은 수준이다. 디지털 패브리케이션이 적용되는 프로젝트에서는 건축물의 어느 부위에 디지털 패브리케이션을 적용하는지가 가장 중요하다. 또한, 디지털 패브리케이션이 적용되는 비정형 부위가 주는 인상은 일반적인 다른 부위들과는 비교할 수 없다. 이것은 도시에 랜드마크 건물이 깊은 인상을 주는 것과 같은 효과로 보면 될 것이다.

4.2.9 Communication Management

Communication Management의 지식영역의 긍정적인 영향은 3점을 획득하였으며, 전체 프로젝트 중에서 3개(11%)에서 긍정적인 언급을 했고, 부정적인 언급은 없었다. BIM을 사용하여 작성된 3D Model로 의사소통이 향상됐고, 그로 인해 발생한 긍정적인 영향으로는 기획단계와 설계단계에 초점을 맞춘 BIM에 대한 언급이 있었다. 하지만 디지털 패브리케이션을 통한 의사소통 향상에 대한 언급은 찾아보기 어려웠다. 또한, 3D Model을 통하여 추출하는 2D 제작 도면이나 단면, 조감도 등의 사항들은 Software의 지식영역에 포함시켰기 때문에 긍정적인 영향이 상대적으로 적게 나타났다. 이 결과는 디지털 패브리케이션을 적용하는 부위의 시공이 진행되기 이전단계인 기획단계에서부터 건축물의 전체적인 프로세스가 진행될 때 3D Model을 의사소통의

수단으로 사용했기 때문에 디지털 패브리케이션의 적용단계에서는 긍정적인 효과가 미미하게 나온 것으로 판단된다.

4.2.10 Cost Management

Cost Management의 지식영역의 긍정적인 영향은 1개(4%)의 프로젝트에서 1점을 획득했고, 부정적인 영향은 14개(52%)의 프로젝트에서 21점으로 나타난다. 비용적인 측면에서는 부정적인 영향이 크게 나타나지만 VE(Value Engineering)기법의 측면에서 살펴보면 비용의 증가보다 기능의 증가가 크게 되면 가치는 증가하는 것으로 판단한다. 여기서 기능을 비정형 건축물에서 품질로 바꿔 생각한다면 비용의 증가보다 품질의 증가가 크기 때문에 증가한 비용은 손실이 아니라 필요한 소비라고 생각할 수 있다. 기존 건설산업의 정형 건축물의 공법으로는 시공이 불가능한 비정형 형상을 최고의 품질로 구현하는 공법을 적용함으로써 불가피하게 발생하는 비용이므로 단순히 비용적 측면으로 살펴보면 부정적인 영향으로 나타나게 되면서 음수의 점수를 획득할 수 밖에 없는 결론이 나온 것으로 판단된다.

4.2.11 소결

PMBOK을 기반으로 진행한 평가의 결과는 긍정적인 영향이 미친 지식영역은 10개의 영역 중 9개인 90%에 달했으며 부정적인 영향이 미친 것은 1개로 10%였다. 전체 프로젝트 점수에 대한 평균은 2.740으로 나타났으며, Bryde et al.(2013)은 BIM use에 대하여 프로젝트 이익에 대해서 분석한 결과 2.057이었다. 두 가지 수치를 비교해보면 BIM use에 대한 프로젝트의 긍정적인 영향보다 디지털 패브리케이션의 적용이 프로젝트의 긍정적인 영향이 더 크다고 볼 수 있다.

4.3 평가 결과를 통한 시사점

앞에서 사례분석에 대하여 PMBOK을 기반으로 평가를 진행하였다. PMBOK에 대한 이론적 고찰을 통해 추출한 항목을 기준으로 프로젝트별 긍정적, 부정적 영향에 대한 점수를 부여하고 합산하였다. Figure 1은 국내와 해외 프로젝트를 구분하여 합산점수를 기준으로 프로젝트별 등급을 상(7점 이상), 중(4점 이상 6점 이하), 하(3점 이하)로 구분하였다.

국내 프로젝트 10개에 대해서는 등급별 프로젝트의 수는 상 등급은 존재하지 않으며, 중 등급은 5개(50%), 하 등급은 5개(50%)로 구분되었다. 반면에 해외 프로젝트의 경우에는 등급별로 상 등급이 2개(12%), 중 등급은 8개(47%), 하 등급은 7개(41%)이다. BIM 및 디지털 패브리케이션에 대한 관심 및 연구가 활발하게 진행되는 해외의 프로젝트가 국내의 프로젝트에 비해 높은 등급이 다소 많이 부여되었으며, 국내에는 존재하지 않는 상 등급의 프로젝트도 2개로 나타났다.

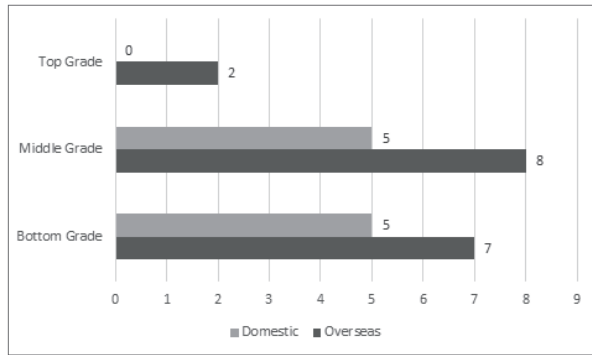


Figure 1. Summary of the evaluation

현재 국내에서도 전문 건설업체 및 연구소에서 디지털 기술에 대한 연구 및 적용의 관심이 커지고 있다. 하지만 BIM, 디지털 기술이 과거부터 프로젝트 적용 및 연구가 활발하게 이루어진 해외에서 높은 등급이 부여된 프로젝트가 확실하게 많은 것을 볼 수 있다. 또한, 국내의 경우에는 아직 상 등급이 부여된 프로젝트는 존재하지 않았다. 국내에서도 디지털 기술과 건설산업을 융합시키기 위한 노력을 꾸준히 해야 하고, 디지털 기술 개발에 대한 연구가 지속적으로 진행된다며 상 등급의 프로젝트도 가능할 것으로 판단된다.

5. 한계점

본 연구는 AIA BIM TAP AWARDS, 각종 학회 발표자료 및 해당 프로젝트 웹 사이트, 보고서, 전문 건설업체의 실제 프로젝트 진행 자료 등을 토대로 데이터 분석을 실시하였다. 기존에는 디지털 패브리케이션에 대한 데이터 축적이 이루어진 것을 찾아보기 힘들었으며, 각 프로젝트별 상세한 데이터 수집을 하는데 한계가 있었다. 도시의 랜드마크 건물 등 인지도가 높은 건물의 경우에는 상세한 데이터가 많이 공개되어 있어 큰 어려움이 없었지만, 그렇지 않은 경우에는 공개된 데이터가 많지 않아 데이터 수집의 어려움이 있었다. 국내·외로 디지털 패브리케이션을 직접 경험하거나 전문적인 엔지니어링 전문가는 소수에 불과했고, 국내에 존재하는 전문 건설업체의 전문가 집단의 도움을 받아 인터뷰를 진행하여 부족한 부분을 해소할 수 있었다.

6. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구는 BIM이 적용된 건설 프로젝트 중에서 디지털 패브리케이션이 적용된 비정형 건축물 프로젝트를 중심으로 데이터를 수집하여 사례분석을 실시하였다. 데이터 수집 결과는 국내 10개

의 프로젝트, 해외 17개의 프로젝트로 총 27개의 프로젝트를 사례분석을 했다. 사례분석은 건물 연면적, 비정형 면적, 재료의 종류, 재료의 수, 비정형 적용 부위, 재료의 사이즈, 건설기간, 프로젝트에 사용한 소프트웨어를 항목으로 선정하여 진행하였다. 디지털 패브리케이션을 적용한 비정형 건축물은 기존 건축물의 재료로 많이 쓰이던 콘크리트, 유리, 벽돌, 철 등도 각 프로젝트에 맞게 사용자화하거나, 부재화하여 공장에서 제작하고 현장에서 설치하는 방식으로 진행하였다. 더 나아가 디지털 패브리케이션의 적용으로 사용할 수 있는 재료의 범위가 넓어져 기존 건설산업에서 사용하지 않던 ETFE, PTFE, GFRP, UHPC 등 다양한 재료로 건축물의 비정형 부분을 구현하고 있음을 알 수 있었다.

PMBOK의 지식영역을 토대로 BIM 사용에 대한 프로젝트에 발생하는 효과를 분석한 연구가 존재하였다. 디지털 패브리케이션의 경우에도 BIM과 겹치는 항목을 확인할 수 있었으며, 선행연구의 분석방법을 기반으로 기존의 항목에서 본 연구의 분석에 해당하는 부분이 적은 Procurement Management에 대한 내용을 제외시키고 Material Management와 Software issues에 대한 항목을 추가하여 디지털 패브리케이션 적용으로 프로젝트에 발생하는 효과에 대하여 평가를 실시하였다. 각 지식영역에 대해서 총 10개의 항목별로 긍정적인 영향, 부정적인 영향으로 나눠서 정량적으로 분석했다. 분석한 결과는 긍정적인 영향을 미친 지식영역이 전체 지식영역의 90%를 차지하였고 부정적인 영향은 10%로 나타났다. 부정적인 영향을 미친 영역은 Cost Management의 지식영역이었으며, 평가 결과를 살펴보면 단순 비용적인 측면이기 때문에 디지털 패브리케이션을 적용하면서 품질적인 측면이 증가하기 때문에 불가피한 문제라고 사료된다. 또한, VE기법의 관점에서 보면 품질의 증가는 단순 비용의 증가보다 가치의 증가가 더 크게 발생하기 때문에 이것은 손해라고 해석하기보단 건축물의 가치를 증가시키기 위한 활동을 한 것으로 해석된다.

평가에 대한 내용을 요약해보면 Figure 1과 같이 프로젝트별로 부여된 점수에 따라 등급을 부여할 수 있다. 해외는 상 등급이 부여된 프로젝트는 2개, 전체 프로젝트의 12%이며 국내의 경우에는 상 등급을 부여받은 프로젝트는 존재하지 않는다. 이 결과를 살펴보면 국내는 BIM, 그리고 디지털 기술에 대한 관심은 높다. 하지만 해외와 같이 실제 현장적용 및 연구가 활발하게 이루어지지 않는 실정이다. 또한, 사례분석을 진행하는 과정에서도 전문 건설업체에서 제공받은 자료 외에는 프로젝트별로 상세한 데이터가 명시된 자료를 쉽게 찾을 수 없었으며, 체계적으로 다양한 프로젝트에 대한 사례조사 및 분석이 이루어진 연구는 찾아보기 힘들었다. 본 연구를 통하여 국내에서도 비교적 높은 등급이 부여된 프로젝트의 사례를 참고하여 디지털 패브리케이션에 대한 적절한 적용에 대한 의사결정에 도움을 줄 것으로 기대하며, 더 나아가 디지털 패브리케이션에 대한 연구가 지속적으로 이루어

어진다면 국내에서도 상 등급의 프로젝트가 가능할 것으로 판단 된다.

본 연구는 국내·외 디지털 패브리케이션을 적용한 비정형 건축물 프로젝트 27개의 사례조사 및 평가를 진행하였다. 본 연구를 토대로 건설산업에서 지속적으로 발생하는 디지털 패브리케이션을 적용하는 프로젝트에 대한 데이터 축적이 이루어질길 기대한다. 더 나아가 축적된 데이터를 통하여 디지털 패브리케이션의 적용에 대한 의사결정을 지원하고, 프로젝트에서 성공적인 성과를 얻을 것으로 기대한다.

References

- AIA, AIA TAP BIM AWARDS, 2005–2016, <http://www.aia.org/aia-architects> (Oct, 05, 2016)
- An, J. (2011). A study on the lessons learned for improving efficiency of free-form facade construction. A Master of Science Thesis, Seoul National University of Science And Technology, pp. 22–35.
- Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The project benefits of building information modelling (BIM). *International journal of project management*, 31(7), pp. 971–980.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. Wiley, New Jersey.
- Grilo, A., & Jardim-Goncalves, R. (2010). Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments. *Automation in Construction*, 19(5), pp. 522–530.
- Guzik, A. (2009). Digital fabrication inspired design: Influence of fabrication parameters on a design process, University College London, pp. 71.
- Ham, N. H., & Kim, J. J. (2015). A Case Study on BIM Operating and Performance Measurement in Construction Phase. *Journal of KIBIM*, 5(2), pp. 1–11.
- Kang, T. W. (2015). Digital-based Robotic Architecture and Smart Factory Technology, *Architecture*, 57(7), pp. 39–45.
- Kim, S. J., Park, Y. M., & Park, S. J. (2015). Review of Freeform Buildings using the Digital Fabrication. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 15(2), pp. 175–176.
- Kim, S. J., Park, Y. M., & Park, J. J. (2017). Review of Freeform Buildings using CNC T-BAR System. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 17(1), pp. 58–59.
- Kim, S. J., Park, S. J., & Ryu, H. K. (2014). Necessity Review of IPD(Integrated Project Delivery) for Free-Form Building in Domestic. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 14(1), pp. 308–309.
- Koh, S. H., Ham, N. H., Lee, J. S., Yoon, S. W., & Kim, J. J. (2017). Comparison Analysis of BIM Level in the Domestic and Overseas BIM Projects – Focused on BIM Jornal and Award Winning Projects, *KIBIM Magazine*, 7, pp. 25–35.
- Kwen, S. H., Shim, H. W., & Ock, J. H. (2011). A Study on the Problem Analysis and Quality Improvement in Fabricating Free-Form Buildings Facade Panels through Mock-up Panels Production, *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 12(3), pp. 11–21.
- Lee, E. Y., & Kim, Y. S. (2014). An Analysis and Improvement of Free Form Buildings Construction Productivity-Focused on Exposed Concrete Work. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 15(3), pp. 38–46.
- Lee, G. (2011). *BIM Reading by 43 Questions*, Pixelhouse, Korea, pp. 130–163.
- Lim, W. C., & Lee, J. K. (2015). A Stud on Expressive Characteristics of Pavilion Applying Digital Fabrication, *Journal of Korea Institute of Spatial Design*, 10(6), pp. 66–77.
- Maurer, I., (2010). How to build trust in inter-organization projects: the impact of project staffing and project rewards on the formation of trust, knowledge acquisition and product innovation. *International Journal of Project Management*, 28(7), pp. 629–637.
- Olatunji, O. A. (2011). Modeling the costs of corporate implementation of building information modeling. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 16(3), pp. 211–231.
- PMI. (2008). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*, 4th edition. Project Management Institute, Newton Square, Pennsylvania, USA.
- Ryu, H. K. (2013). 3D Digital Design Optimization Process Considering Constructability of Freeform Structure. *Korea journal of construction engineering and management*, 14(5), pp. 35–43.
- Ryu, H. K. (2013). Deduction of Considerations During Design and Construction by Analysis Domestic and Abroad Case Analysis of Freeform Building Envelope. *Korea journal of construction engineering and management*, 14(4), pp. 84–96.

Ryu, H. K., & Kim, S. J. (2013). CNC Twisted Tube Method for 3D Coordinate Control Technology for Freeform Structure – Focused on The ARC in DaeGu, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 13(5), pp. 434–440.

Ryu, H. K., & Kim, S. J. (2016). Implication Deduction through Analysis of Reverse Engineering Process and Case Study for Prefabrication and Construction of Freeform Envelop Panels, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 16(6), pp. 579–585.

Won, J. S., Lee, J. J., & Lee, G. (2008). A case study on BIM collaboration and information management methods, *J. Arch. Inst. Korea*, 24(8), pp. 25–32.