

모듈러 건축공사의 현장시공계획수립을 위한 BIM 활용성 분석

Analysis of BIM Utilization for On-site Construction Planning in Modular Construction Project

이 명 도*

Lee, Myung-Do*

Director of R&D Center, R&D Center, Yunwoo Technologies Co., Ltd., Songpa-gu, Seoul, 058054, Korea

Abstract

Building Information Modeling (BIM) and modular construction are regarded as important technologies that have contributed to advancements in the construction industry. However, the utilization of BIM in current modular construction projects is limited; moreover, there are no specific guidelines pertaining the applications of BIM in modular construction projects. Therefore, this study aims to analyze the utilization of BIM for onsite construction planning in modular construction projects. First, a realistic BIM application was selected through literature review and expert interviews. Then, the construction plan of the modular projects was analyzed to classify the BIM application items into five different categories. The utilization of BIM in each category was then analyzed in terms of necessity and efficiency using a questionnaire. Finally, the BIM Utilization Index (BIM UI) was suggested based on the findings of the survey. As a results, the BIM UI for module point details, lifting plan, other installation details, site layout plan, and schedule plan was 0.811, 0.787, 0.770, 0.729, and 0.699, in the descending order of usability. In addition, through the findings of the study and interviews with experts, a case study for implementation of BIM in modular construction plan was conducted. The results of this study can be used as application guidelines for BIM in future modular construction projects.

Keywords : modular construction, construction planning, building Information modeling, off-site construction

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

모듈러 건축 프로젝트의 시공단계는 크게 공장제작단계와 현장시공단계로 구분할 수 있으며, 현장시공단계의 계획수립과 그 검토는 공사의 성패를 좌우하는 매우 중요한 사항이다[1]. 모듈러 건축 프로젝트는 모듈러 유닛을 기반으로 전체 공종의 약 60~80%를 공장에서 수행하는 공장

제작 중심의 대표적인 탈 현장 (Off-site construction) 공법이다[2]. 이 공법은 현장시공(On-site construction) 단계의 공종을 공장에서 수행함으로써, 현장에서 발생할 수 있는 예상치 못한 변수를 원천적으로 제거할 수 있는 개념의 공법이다. 따라서 공장제작을 통해 안정적인 공정을 진행한 만큼, 현장시공을 위한 철저한 시공계획의 수립은 공장 제작계획만큼 중요한 것이며, 이는 탈 현장 공법의 취지에 부합하면서 프로젝트의 성공적인 수행을 위한 필수적 요소라 할 수 있다[1-3].

시공계획은 공사 수행을 위한 전반적인 계획을 실(實)시공 전에 수립하는 것으로서, 현장 요건 및 프로젝트의 특성을 반영하여 철저한 검토를 통해 수립되어야 할 필요가 있다. 특히 모듈러 프로젝트는 고하중의 3차원 형상의 모듈러 유닛을 현장에서 양중 및 조립하는 특수성을 가진 공법이기

Received : April 16, 2019

Revision received : May 14, 2019

Accepted : May 23, 2019

* Corresponding author : Lee, Myung-Do

[Tel: 82-70-4875-4101, E-mail: mdlee@yunwoo.co.kr]

©2019 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

때문에 이를 고려한 현장의 가설, 양중 및 공정계획 등은 면밀한 검토가 수반되어야 한다[4-7].

그러나 현재 국내 모듈러 건축 프로젝트에서 현장의 시공계획의 수립은 그 중요성에 반해 면밀한 검토를 통해 수행되고 있지는 못하는 실정이다. 사전 인터뷰를 통한 현장의 시공계획 수립과정을 보면¹⁾, 모듈러 공법의 특수성을 고려해 일반 프로젝트와 다른 차별화된 검토방법은 적용되지 않고 있으며, 공장제작단계에 집중하고 있어 상대적으로 현장에서의 시공계획 수립은 기존 작성사례를 바탕으로 담당자의 경험에 의존하여 작성되고 있는 것으로 나타났다. 이는 결과적으로 현장시공단계에서 예상치 못한 시공 오류가 발생할 수 있는 가능성을 내재하고 있는 것이며, 모듈러 공법의 장점을 확보하는데 위협요소로 작용할 수 있을 것이다.

Building Information Modeling(이하 BIM)은 모듈러 프로젝트의 시공계획을 수립하고 검토하는데 유용한 도구로 활용될 수 있다[2]. BIM은 3차원 모델을 기반으로 시공성 검토, 공정간 간섭검토, 공정시뮬레이션, 물량산출 등을 기존 2D 기반의 방식에 비해 보다 신속하고 정확하게 수행할 수 있는 개념을 포함한다. 따라서 모듈러 건축 프로젝트의 시공계획 수립에 BIM을 활용한다면, 기존의 방식에 비해 보다 신속하면서 오류를 최소화하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

그러나 국내 모듈러 프로젝트의 시공계획 수립과정에서 BIM을 활용한 BIM 기반의 시공계획 검토사례는 전무한 실정이다. 이는 모듈러 프로젝트의 시공계획 각 항목 중 어느 항목을 대상으로 BIM의 어떤 업무를 적용할 것인가에 대한 구체적인 방안이 마련되어 있지 못한 것을 의미한다. BIM의 적용은 시간과 비용이 투입될 수밖에 없기 때문에 그 활용 목적과 범위가 명확하게 설정되어야만 효율성을 확보할 수 있다. 따라서 모듈러 건축 프로젝트의 시공계획 항목을 대상으로 BIM의 적용이 유의미한 효과를 제공할 수 있는지에 대한 분석이 필요한 시점이다.

이에 본 연구에서는 모듈러 건축 프로젝트의 시공계획 항목을 대상으로 BIM 활용성 분석을 목적으로 한다. 이를 통해 도출한 모듈러 건축 프로젝트의 BIM 기반 시공계획서는 시공계획 단계에서부터 BIM을 체계적으로 적용하는 시

공단계의 전략적인 BIM 적용방안에 대한 가이드라인으로 제공될 수 있을 것이며, 궁극적으로 모듈러 프로젝트에서 BIM의 적절한 활용성에 대한 방안을 제시하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

모듈러 건축 프로젝트의 시공단계는 공법의 특성상 크게 공장제작단계와 현장시공단계로 구분할 수 있다. 본 연구는 모듈러 공법의 장점이 발휘되기 위해서는 현장시공단계가 원활히 진행되어야 한다는 것에 중점을 두었으며, 이에 따라 현장시공단계의 계획을 연구의 대상으로 한정하였다. 이를 위해 모듈러 건축 프로젝트의 시공계획 항목에서 현장시공과 관련한 업무를 대상으로 BIM의 활용성을 분석하였으며, 이를 바탕으로 사례연구를 수행하여 BIM 기반 시공계획서를 도출하고 그 효율성에 대해 논의하였다. 이를 구체적으로 정리한 본 연구의 주요 절차 및 방법은 다음과 같다.

- 1) 예비적 고찰에서 모듈러 공법의 개념을 정리하고, 모듈러 공법의 현장시공단계와 관련한 기존 연구를 고찰한다. 또한 BIM 관련 연구 중 시공단계에서의 활용성을 분석한 기존 문헌을 고찰하여 모듈러 현장시공단계에 활용할 수 있는 BIM 활용업무를 정의한다.
- 2) 모듈러 건축공사의 시공계획서를 분석하여 전체 항목에서 현장시공단계와 관련한 항목을 분류한다. 이후 앞서 정의한 BIM 활용업무를 연계하여 BIM 기반 시공계획 항목을 분류한다. 설문조사를 통해 각 항목에 대한 BIM 활용의 필요성과 중요도를 분석한다.
- 3) 사례 프로젝트를 선정하여 분석결과를 바탕으로 한 사례 프로젝트의 BIM 기반 시공계획서를 도출하고 전문가 자문을 통해 그 효율성에 대해 논의 한다.

2. 예비적 고찰

2.1 모듈러 공법의 개념

모듈러 공법은 국내외에서 Modular construction, Off-site construction, Prefab construction, Modern method of construction 등의 용어로 정의되고 있다 [4,5]. 국내에서는 철골조의 육면체 유닛 모듈을 기반으로 전체 공중의 약 50~70% 를 공장에서 제작하고 현장으로 운송 후 양중 및 조립하는 공법을 주로 지칭하고 있으며,

1) 국내 모듈러 프로젝트 현장 경험자 3인을 대상으로 한 심층 인터뷰 결과를 정리한 내용임.

패널라이징(Panelizing), 컨테이너 하우스(Container house)와는 구분되어 사용되고 있다[4]. 이러한 모듈러 공법은 공장생산과 현장시공의 동시 작업을 통해 품질향상, 공기단축, 공사비 절감 등을 도모할 수 있을 것으로 기대되고 있으며, 군 막사, 학교, 오피스텔 등 유닛 모듈의 적용이 용이한 건축물에 적용되고 있다[1-3].

모듈러 프로젝트의 전체적인 프로세스를 살펴보면, 설계 단계가 완료된 후 모듈러 제작 공장에서는 전체 공중 중 공장제작 분에 대한 유닛 모듈의 제작에 들어가게 된다. 이때 현장에서는 터파기 등 토목공사를 진행하고 모듈의 생산 일정에 맞춰 기초공사까지 완료하게 된다. 공장제작이 완료된 모듈은 현장에서의 설치 일정에 따라 현장으로 운송되고 일반적으로 운반 즉시 크레인을 이용하여 양중하여 설치하게 된다. 이후 설치된 모듈간 접합부 작업을 실시하게 되고 공용 설비공사 및 내·외부 마감공사가 진행하게 된다.

2.2 기존연구 고찰

모듈러 공법은 크게 공장제작단계와 현장시공단계로 구분할 수 있으며, 기존 연구들은 이 두 단계를 대상으로 구분되어 연구가 진행되고 있다. 특히 탈 현장 공법(Off site construction)이라는 특성에 따라 공장제작단계에 주안점을 둔 연구들이 국내외에서 활발히 진행되고 있다.

본 연구의 범위와 관련하여 현장시공단계에 집중한 기존 연구들을 살펴보면, 모듈러 공법의 특성상 고하중의 모듈 양중작업의 중요성을 고려한 양중계획과 관련한 연구 [6,7], 현장시공에서의 시공 오차 관리를 위한 연구 [4,5,9], 공장제작과 현장시공을 연계한 최적 공정모델을 제시한 연구[10], 그리고 현장 시공분에 대한 관리 모델을 제시한 연구[3] 등이 진행되었다. 한편, 모듈러 공법의 현장시공단계와 관련하여 BIM을 적용한 연구를 살펴보면, Han et al.[8]은 모듈 양중을 위한 이동식 크레인의 양중계획을 BIM의 3D 시각화를 기반으로 하여 자동화한 모델을 개발하였고, Olearczyk et al.[11]은 모듈러 사례현장을 대상으로 양중계획 및 설치 공정에 대해 BIM을 적용하여 최적화하는 방법론을 제시하였다.

이들 연구에서는 모듈러 공법이 공장제작단계와 현장시공단계를 통해 얻을 수 있는 품질확보, 공기단축 등이 실질적으로는 발휘되지 못하고 있다는 점에 집중하고 있으며, 현장의 계획 및 관리가 체계적으로 수행되어야지만 비로소

모듈러 공법의 장점이 확보될 수 있다고 강조하고 있다.

2.3 BIM 활용 업무 정의

BIM과 관련한 다양한 기존 문헌에서 BIM의 활용 및 기대업무를 제시하고 있다[12]. BIM 활용업무는 기획 및 설계단계, 시공단계, 유지관리 등 생애주기 전 단계에 적용될 수 있으며, 국내 문헌의 경우 BIM project execution planning guide[13], 시설사업 BIM 적용 기본 지침서 [14] 등에서 제시한 BIM 업무를 주로 참고하여 기본적인 활용업무를 제시하고 있다. 이중 시공단계와 관련한 BIM 업무를 1차적으로 분류하였으며, 본 연구가 시공계획서의 항목을 대상으로 하고 있기 때문에 1차 분류된 BIM 업무 중 현재 국내에서 실질적으로 적용하고 있는 BIM 업무를 실무 전문가 인터뷰²⁾를 통해 Table 1과 같이 6개 항목으로 최종 분류 하였다.

Table 1. BIM use descriptions for modular onsite construction

BIM use	Code	Descriptions
Design authoring	U1	A task of creating the project BIM model
3D coordination	U2	A task to check interference during construction phase
Site utilization planning	U3	A task to model and review of site layout plan
Existing conditions modeling	U4	A task to model and review obstructions around the site
Construction drawing	U5	A task of creating 3D construction details for important parts
Phase planning (4D modeling)	U6	A task to develop and review 4D simulation for project schedule

먼저 Design authoring(U1)은 BIM 적용의 기본적인 업무로서 해당 프로젝트의 BIM 모델을 수행계획에 따라 구축하는 작업이다. 두 번째로 3D coordination(U2)은 U1 단계에서 구축된 각 공종의 BIM 모델을 통합하여 시공단계에서 발생할 수 있는 공공간 간섭을 검토하는 업무이다. 세 번째로 Site utilization planning(U3)은 가설 시설물을 BIM으로 표현하여 현장 레이아웃을 계획하고 검토하는 업무이다. Existing conditions modeling(U4) 업무는 현장 주변의 상황 및 지장물을 모델링하여 현장에서 발생할 수 있는 위험요소를 검토하는 것이며, Construction drawing(U5)은 중요한 공종부위를 세부적으로 모델링하는 3D 시공상세도 구축

2) BIM 전문회사의 실무 프로젝트 경험이 있는 3인을 대상으로 하였으며, 실제 프로젝트의 수행계획서를 기반으로 하였음.

을 의미한다. 마지막으로 Phase planning(U6)는 시공단계에서의 공정을 시각적으로 표현하는 4D 시뮬레이션 작업을 의미한다. 기존 문헌에서는 이외에도 에너지 검토, 구조검토 연계, 물량 및 견적 산출 등 다양한 업무를 제시하고 있다. 그러나 이러한 업무들은 실질적인 활용이 미미한 실정이며, 파일럿 개념으로 적용하고 있기 때문에 본 연구의 항목에서는 제외하였다.

3. 현장시공계획 BIM 활용성 분석

3.1 BIM기반 현장시공계획 항목도출

BIM 활용성 분석을 위해 앞서 예비적 고찰에서 정의한 BIM 활용 업무(Table 1)가 적용되는 시공계획 항목을 도출하였다. 이를 위해 국내에서 수행된 총 8건(공동주택 2건, 군 막사 4건, 오피스 2건)의 모듈러 프로젝트 시공계획서를 수집하였다. 수집된 시공계획서를 분석한 결과 기본적인 구성항목은 일반 공사의 항목³⁾과 유사한 수준 및 항목으로 구성되어 있었으나 모듈러 공법의 특성상 공장제작단계가 추가되어, 현장운영, 현장조직, 공사개요, 공정관리, 공장제작단계, 현장시공단계, 품질, 안전, 환경 등으로 구성되고 있었다. 이중 현장시공과 관련한 항목을 1차 분류하였으며, 전문가 자문⁴⁾을 통해 최종적으로 9개의 항목을 도출하였다. Table 2는 최종적으로 도출한 모듈러 건축공사에서 현장시공계획 항목 9개를 정리한 결과이다.

Table 2. Contents of construction planning from literature review and interview

Category	Code	Detailed content
Onsite schedule	P1	Module installation schedule
	P2	Other works schedule
Onsite condition	P3	Onsite layout situation
	P4	Obstructions(removal & relocation)
Temporary work plan	P5	Temporary facilities location
Lifting plan	P6	Lifting equipment plan (specification/location/route/period)
	P7	Module lift sequence
Installation plan	P8	Module joint details
	P9	Other works installation details

3) 조달청 시공계획서 작성지침 참조.

4) 사전 인터뷰를 실시한 국내 모듈러 프로젝트 현장 경험자 3인을 대상으로 실시하였음.

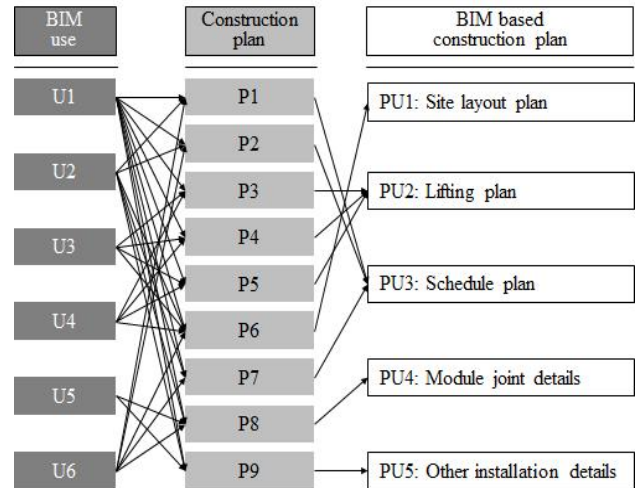


Figure 1. Contents of BIM based construction plan

P1과 P2 항목은 현장시공단계에서의 주요 작업 스케줄에 해당되는 것이다. 먼저 P1은 모듈러 양중 및 설치 일정이며, P2는 현장에서의 금속, 창호, 외벽, 지붕, 수장, 그리고 설비공사 등 기타공사의 현장설치분에 대한 주요 일정 및 계획을 포함한다. P3은 현장의 배치 및 주변 도로상황에 대한 검토내용이며, P4 항목은 고압전선, 수목 등 주변 지장물에 따라 양중 및 현장작업에 영향을 줄 수 있는 현장의 특수상황에 대한 검토내용이다. P5 항목은 공사수행을 위한 현장 주출입구, 모듈러 야적장 등 주요 가설 시설물에 대한 설치 및 배치계획이며, P6는 모듈양중을 위한 크레인의 제원, 위치, 이동 동선, 운영기간 등 양중계획에 대한 내용이다. P8과 P9은 모듈간 접합부 및 타 공종간 주요 접합부에 대한 주요 상세이며 품질 및 안전관리의 내용이 포함되어 있다.

Figure 1은 시공계획 항목(Table 2)을 대상으로 BIM 활용 업무(Table 1)를 연계한, BIM 기반의 시공계획 항목의 도출 개념도이다. BIM 활용업무는 시공계획서상의 각 항목에 통합되어 적용될 수 있기 때문에, 업무의 중복성 및 실제 시공계획서의 작성을 고려하여 BIM 기반 시공계획 항목으로 통합 및 연계하여 도출하였다.

먼저 현장조건과 관련된 항목인 P3, P4와 가설계획 항목인 P5는 U1, U3, U4 업무가 요구되므로 이를 현장배치계획검토(PU1)로 분류하였다. 다음으로 양중계획과 관련한 P6는 U5를 제외한 모든 업무가 연계되는 중요한 사항으로 양중계획검토(PU2)로 분류하였다. 공정계획과 관련한

P1, P2, P7의 항목에서 U1, U2, U6이 공통적으로 활용되므로 이를 공정계획검토(PU3)로 분류하였다. P8은 모듈간 접합부의 시공상세에 대한 표현으로 현장작업의 시공성 및 품질확보를 위해 제공되는 BIM 업무로써 모듈간 접합부 3D 시공상세도 구축(PU4)로 구분하였다. 마지막으로 P9은 금속/창호/외벽/지붕/수장 등 기타공사 및 설비공사의 현장시공분에 대한 주요 공정부위의 3D 시공상세도 구축(PU5)업무로 구분하였다.

3.2 설문조사 개요

앞서 도출한 BIM 기반 시공계획 항목(PU1~PU5)에 대한 활용성 분석을 위해 국내 모듈러 분야 전문가를 대상으로 설문조사를 수행하였다. 설문지는 PU1~PU5 항목을 대상으로 필요성(Necessity) 및 효율성(Efficiency)을 리커트 5점 척도로 설문하였다. 설문은 온라인 및 대면방식으로 수행하였고, 설문의 신뢰성 확보를 위해 BIM 활용에 대한 기본지식이 있는 모듈러 전문가를 대상으로 시각적 자료를 함께 제공하여 실시하였다. 회수된 설문은 총 17부이며, 모듈러 건축 및 연구 경력은 평균 5.2년 이상이었다.

3.3 설문조사 신뢰도 분석

설문결과에 대한 검증은 위해 신뢰도 검증을 수행하였다. 신뢰도 분석은 IBM SPSS Statistics를 이용하였으며, 크롬바흐의 알파계수(Cronbach's alpha coefficient)를 통해 내적 일관성을 평가하였다. 알파계수는 0에서 1사이의 값을 가지며, 일반적으로 0.6이상이면 신뢰성이 있다고 판단하고 1에 가까울수록 내적 일관성이 높다고 할 수 있다 [15]. 본 연구의 설문결과에의 경우 필요성(Necessity)은 0.684, 효율성(Efficiency)은 0.871로서 내적 일관성을 확보한 것으로 판단된다.

3.4 BIM 활용성 분석

설문조사 결과를 바탕으로 BIM 기반 현장시공계획에 대

한 활용성 분석을 실시하였다. 본 연구에서는 시공계획 항목에 대한 BIM 활용의 필요성을 Necessity Index(NI), 효율성을 Efficiency Index(EI)로 정의하고[16,17], 각 값의 기하평균을 적용하여 BIM Utilization Index(BIM UI)로 최종 도출하였으며, 다음 식 (1), (2), (3)과 같다.

Necessity Index(NI)=

$$\left(\sum_{i=1}^5 w_i \times \frac{f_i}{n} \times 100\right) / (a \times 100) \text{ ----- (1)}$$

Efficiency Index(EI)=

$$\left(\sum_{j=1}^5 w_j \times \frac{f_j}{n} \times 100\right) / (a \times 100) \text{ ----- (2)}$$

$$\text{BIM utilization Index(BIM UI)} = (\text{NI} \times \text{EI})^{1/2} \text{ ----- (3)}$$

여기서 i, j 는 1에서 5까지의 5점 척도를 의미하여, w_i 와 w_j 는 설문자가 답변한 항목의 척도점수, f_i 와 f_j 는 해당 척도점수의 빈도수, n 은 응답자수, a 는 최고점수 5점을 의미한다. 0부터 0.2 간격으로 0.2 이하일 경우 '하위 항목(L)', 0.2 초과 0.4 이하일 경우 '중하위 항목(M-L)', 0.4를 초과하고 0.6이하일 경우 '중간항목(M)', 0.6초과 0.8 이하일 경우 '중상위 항목(M-H)', 0.8을 초과할 경우 '상위항목(H)'으로 분류하였다[17]. 이를 반영한 결과는 Table 3과 같다.

먼저 필요성 부분에서는 PU4, PU2 항목이 상위 항목(H) 등급으로 도출되었다. 다음으로 PU5, PU3, PU1 항목 순으로 나타났으며, 모두 중상위 항목(M-H)으로 분류되었다. 필요성의 항목 평균은 0.789로 도출되었으며, 이는 제시된 BIM 기반 시공계획이 필요성 측면에서 전반적으로 높게 요구되고 있음을 알 수 있다. 효율성 부분에서는 전체 항목이 중상위 항목(M-H)으로 분류되었으며, PU4, PU2, PU4 항목이 가장 높게 도출되었고, 전체 순위도 필

Table 3. Results on BIM utilization analysis

Code	Necessity Index(NI)				Efficiency Index(EI)				BIM utilization Index(BIM UI)			
	Index	Index avg.	Rank	Grade	Index	Index avg.	Rank	Grade	Index	Index avg.	Rank	Grade
PU1	0.741		5	M-H	0.659		5	M-H	0.699		5	M-H
PU2	0.824		2	H	0.753		2	M-H	0.787		2	M-H
PU3	0.765	0.789	4	M-H	0.694	0.727	4	M-H	0.729	0.758	4	M-H
PU4	0.835		1	H	0.788		1	M-H	0.811		1	H
PU5	0.788		3	M-H	0.753		2	M-H	0.770		3	M-H

요성과 동일한 결과로 나타났다. 효율성 항목의 평균은 0.727로서 필요성보다는 낮게 나타났으나, 중상위 항목(M-H)의 등급에 해당되어 효율성을 기대하고 있는 수치로 판단된다.

마지막으로 BIM UI의 도출결과를 보면, PU4 항목이 가장 높게 나타났다. 모듈간 접합부분은 실제 시공단계에서 가장 많은 시공오류가 발생하는 부분이다[4]. 따라서 시공 오차를 제거하기 위한 접합부 상세의 정확한 설계와 시공 상세가 요구되므로 이를 지원하기 위한 3D 시공상세도가 필요한 것으로 나타났다. 다음으로 PU2 항목이 0.787로서 두 번째로 높은 항목으로 나타났다. 모듈러 공법에서는 평균 3,000mm×6,000mm, 무게가 약 10ton 이상의 모듈러 유닛을 양중 해야 하기 때문에 이를 위한 크레인의 제원선정, 위치선정, 설치 순서 등 양중계획이 현장의 가장 중요한 사항이라 할 수 있다. 따라서 BIM 활용을 통해 양중계획에 대해 다각도로 검토할 수 있다는 기대가 반영된 것으로 판단된다. 세 번째 항목은 PU5로서 기타공사(금속/창호/외벽/지붕/수장 및 MEP 공사)의 현장시공분에 대한 주요 공정부위의 3D 시공 상세도 구축 업무로 나타났다. 모듈러 공사는 공장제작의 비율이 높고 상대적으로 현장 시공분에 대한 계획은 면밀히 검토되지 못하는 실정이다. 따라서 현장시공분에 대한 품질향상을 목적으로 기타공사(특히 가스공사 등 설비부분)에 대한 상세도가 요구되는 것으로 나타났다. 다음으로는 현장공정계획검토(PU3)로서 0.729로 나타났다. BIM을 통한 공정계획검토는 공정절차를 시각화한 4D 시뮬레이션으로 수행되고 있으며 모듈의 설치 순서, 모듈간 접합 순서, 현장시공분에 대한 공정 등 전체적인 공사 진행사항을 계획하고 검토하는데 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 마지막으로 현장배치계획검토(PU1)가 0.699로 나타났다. 현장배치계획은 현장 주변의 도로상황, 가설시설물의 배치계획, 모듈 운송 및 양중작업에 간섭될 수 있는 주변 지장물에 대한 BIM 모델링을 수행함으로써 현장에서 발생할 수 있는 위험요소를 사전에 검토하는데 유용할 수 있는 것으로 나타났다.

4. 사례 연구

4.1 사례 연구 개요

사례연구의 절차는 다음과 같다. 먼저 시공계획 수립단계까지 진행된 국내 모듈러 건축공사를 사례 프로젝트로

선정하고, 해당 프로젝트의 시공계획서를 수집한다. 이후 시공계획서에서 현장시공계획 항목을 분류한 후 해당 내용에 대해 본 연구에서 정의한 BIM 활용 업무(PU1~5)를 적용하였다. 즉, 기존 시공계획서에서 작성된 내용을 바탕으로 BIM 활용 업무를 적용하고 이를 반영한 BIM 기반 시공계획서를 도출하는 것으로 진행하였다. 마지막으로, 도출된 BIM 기반 시공계획서에 대한 유효성에 대해 전문가 자문을 실시하였다. 아래 Table 4는 선정된 사례 프로젝트의 개요이다.

Table 4. Summary of case project

Category	Description
Project name	OOO Modular building project
Location	Suseo-dong, Seoul, South Korea
Building type	Residential
Buildign area	1,417.7m ²
Gross floor area	3,095.4m ²
Max height	27m
Building size	A: 7-story building, B: 6-story building (44 households)

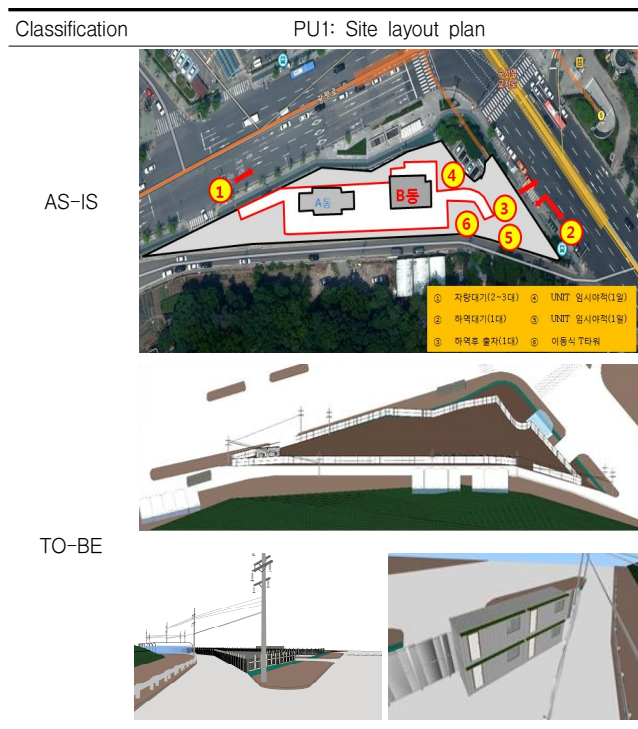
4.2 BIM기반 현장시공계획 수립

PU1은 현장배치계획검토로서 현장의 도로상황, 인접건물, 지장물 등에 대한 검토와 가설계획에 대한 내용이다. 기존 시공계획서상에서는 건물 배치, 가설펜스, 모듈러 유닛의 적치 장소, 주출입구 등 현장 레이아웃에 대한 기본적인 내용이 표기되어 있었다. 먼저 시공계획서의 내용을 검토한 후 현장조사를 실시하였으며, 이를 반영한 BIM 모델링 작업을 수행하였다. BIM 모델링은 Autodesk revit 2017을 활용하였으며, 현장 주변 및 가설시설물에 대해 표현 가능한 모든 사항을 모델링 하였다. 일반 프로젝트에서도 가설시설물 등 현장배치계획에 대한 BIM의 검토는 프로젝트의 특성을 반영하여 적용이 시도되고 있다[8,11]. 모듈러 프로젝트의 경우 모듈 양중을 위한 대형 크레인의 위치 선정, 양중경로 및 간섭되는 지장물의 검토, 그리고 모듈 운송 트레일러의 진입 및 정차 위치에 따른 도로점용 등 현장의 배치계획에 대한 철저한 검토가 필수적이다. 전문가 자문결과, 현장배치계획에 대한 BIM 검토를 통해 기존 2D 도면 기반의 계획 대비 보다 세부적인 위치 대안을 제공할 수 있을 것이며, 결과를 3D로 제공하기 때문에 현장 관계자의 이해도를 높일 수 있는 것으로 나타났다. 기존 시공계획서 대비 BIM을 활용하여 추가적으로 보완 및 검토

한 결과를 정리하면 다음 4가지 항목과 같으며, 결과물의 예시는 Table 5와 같다.

- 1) 주출입구, 가설사무소 위치 대안 검토
- 2) 모듈러 트레일러 반입 경로 및 대기장소의 검토
- 3) 모듈양중 경로에 간섭될 수 있는 전신주, 지하철 환풍구 등 주변 지장물 검토
- 4) 모듈러 트레일러 진입에 따른 인접건물 및 보행자 상황을 고려한 민원발생 및 안전사고 검토

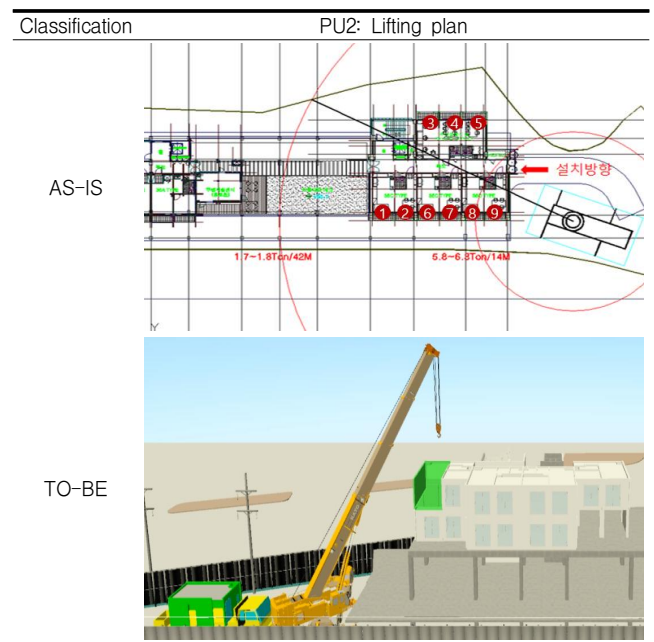
Table 5. Results of PU1



전반경, 붐대 각도, 아웃리저 설치반경 등 다각적 검토를 수행하였다. BIM에 기반한 양중계획 검토의 경우 현장에 대한 세부적인 모델링이 수행되고 3차원 검토가 가능하기 때문에 양중절차에 대한 현장작업자의 이해도를 높이고 크레인의 위치변경을 최소화하는데 매우 유용하다는 현장 전문가의 의견이 있었다. 이에 대한 예시는 다음 Table 6과 같으며, BIM을 적용한 양중계획 검토 결과는 다음과 같다.

- 1) 모듈러 양중장비의 위치 및 제원 검토
- 2) 모듈러 양중장비 이동 동선 검토
- 3) 모듈러 설치순서 및 양중 회전시 간섭검토

Table 6. Results of PU2



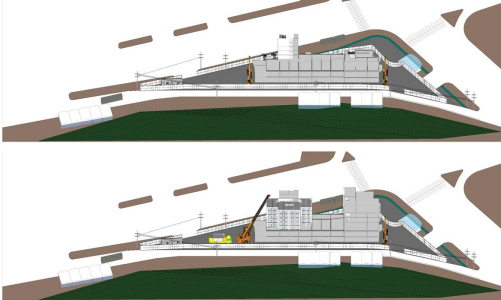
PU2는 양중계획검토로서, 양중장비의 제원 및 위치 그리고 모듈의 설치순서에 대한 내용이 포함된다. 먼저 양중장비의 경우 기존의 현장시공계획서에서는 평면도 상에서 크레인의 위치와 수평거리를 회전반경으로 표기하는 수준으로 작성되어 있었다. 모듈러 건축공사에서 모듈양중을 위한 크레인 계획은 현장에서 매우 중요한 사항이나 일반적으로 크레인 임대업체에서 2D 도면을 기반으로 크레인 제원을 고려하여 위치를 선정하여 계획하고 있다. 이에 따라 필요 이상의 고 스펙의 크레인이 적용되거나, 위치를 반복해서 변경 해야 하는 상황이 발생 되고 있다. 본 사례연구에서는 타워크레인의 BIM 라이브러리를 구축한 후 위치 대안에 배치해보고 모듈의 설치순서, 양중장비의 수평거리, 회

다음으로 공정계획검토(PU3)를 수행하였다. 기존 시공계획서 상에서는 공장제작 일정과 현장시공일정이 각 공종별로 구분되어 간트차트(Gantt chart)로 작성되어 있었다. PU3에서는 PU1 및 PU2 결과를 포함하여 주요 일정에 대한 4D 시뮬레이션 모델을 구축하였다. 일반 프로젝트의 4D 시뮬레이션 모델의 구축에는 세부적인 공정계획에 대한 정보 부족, 수많은 객체 연계를 위한 반복적인 수작업, 변경내용 반영의 어려움 등으로 인해 단순 시각적 자료에 머물고 있는 실정이다. 그러나 모듈러 현장 시공에 대한 4D 시뮬레이션의 경우, 모듈의 설치 순서, 모듈간 접합 순서, 현장시공분에 대한 공정만 표현하게 되므로 일반 프로젝트에 비해 원천적으로 작업이 간략화되어 시뮬레이션

의 운용 및 활용이 높을 것으로 판단된다. 구축한 4D 시물레이션 모델에 대해 현장 전문가에게 자문한 결과 현장의 세부적인 공정계획 수립에 도움이 될 수 있을 것으로 나타났으며 전체적인 현장진행에 대한 이해도를 높이는 데 유용한 것으로 나타났다. 공정계획에 대한 시물레이션 구축은 Autodesk Navisworks 2017을 활용하였으며, 이에 대한 결과 및 비교 예시는 다음 Table 7과 같다.

- 1) 현장공정에 대한 실용적인 시물레이션 모델 제공
- 2) 모듈양중 및 접합부 시공 세부계획 수립지원
- 3) 전체 공정에 대한 작업자 이해도 향상

Table 7. Results of PU3

Classification		PU3: Schedule plan										
AS-IS	구분	구분명	시작일	종료일	시작일	종료일	시작일	종료일	시작일	종료일	비고	
	MEP설치											
		기계설비	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15		
		전기설비	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15		
		배관설비	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15		
		기타	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15		
		구조물	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15		
		외벽	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15		
		내벽	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15		
		지붕	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15	2023.01.01	2023.01.15		
TO-BE												

PU4는 모듈간 접합부의 3D 시공상세도의 구축이며, PU5는 내외벽 마감, 설비 등 기타 공중에 대한 시공상세도의 표현이다. 이는 작업자의 시공이해도를 높이고 품질확보를 위해 요구되는 작업으로 기존 시공계획서에서도 스케치업 (Trimble社 sketchup) 등 3D CAD 프로그램을 활용하여 표현하는 경우가 있다. 본 사례연구에서는 BIM의 적용을 기본으로 하고 있기 때문에 3D CAD 프로그램을 사용한 추가적인 작업은 요구되지 않으며, 어떠한 객체 혹은 부위가 시공상세도 수준의 높은 BIL⁵⁾로 작업 해야 하는지에

5) 시설사업 BIM 적용 기본지침서(V1.31)에서는 BIM 정보표현수준(Building Information Level)을 BIL10~60으로 정의하고 있으며 시공상세도는 BIL 50에 해당됨.

대한 가이드를 제공할 수 있다. PU4 및 PU5의 경우 BIL 50 수준으로 작성하였으며, 이에 대한 예시는 다음 Table 8, Table 9와 같다. 작업된 PU4 및 PU5를 현장 전문가에게 제공하여 활용성을 자문한 결과, 접합부 시공에 대한 이해도를 높이는 데 유용하며, 설비작업에 대한 체계적인 시공에 도움을 줄 수 있는 것으로 나타났다. 이에 대한 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 모듈간 접합부 주요부위에 대한 상세표현을 통한 시공 이해도 향상
- 2) 기타 현장 설치공사에 대한 시공 이해도 향상

Table 8. Results of PU4

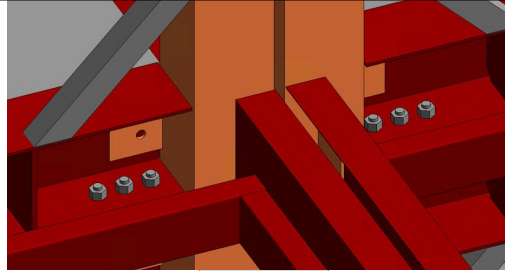
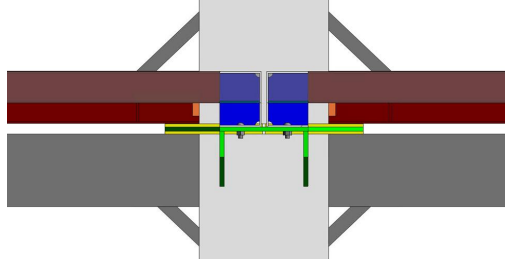
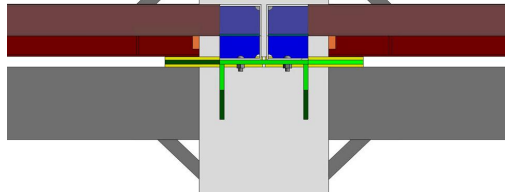
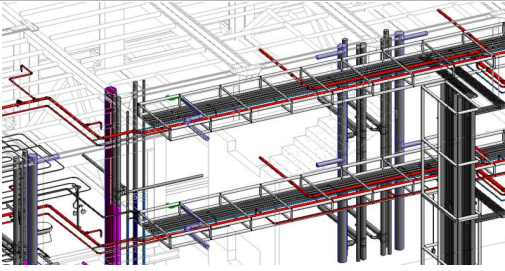
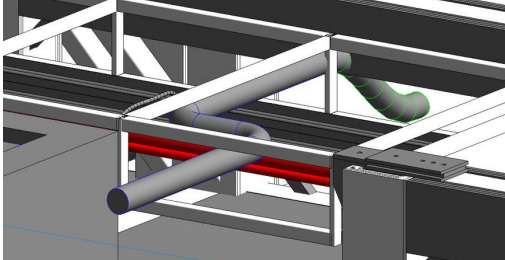
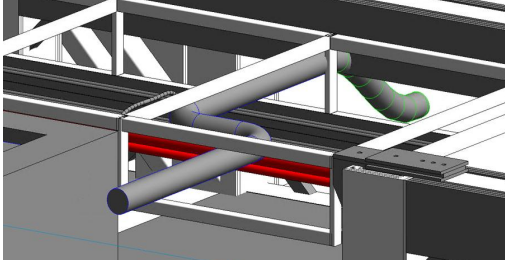
Classification		PU4: Module joint details
Bolting details		
		
Module joint details		

Table 9. Results of PU5

Classification		PU5: Other installation details
MEP details		
		
Installation details		

4.3 논의

사례 프로젝트를 대상으로 작성된 PU1~5의 내용을 기존 시공계획서에 추가하여 보완한 BIM기반 시공계획서를 도출하여 전문가 자문을 실시하였다. 전문가는 국내 주요 모듈러 제작 및 시공사 전문가 3인을 대상으로 하였으며, PU1~PU5의 작업결과를 기존 시공계획서에 삽입하여 작성한 BIM 기반 시공계획서를 제공하여 그 유용성에 대해 질의하였다. 먼저 설문조사와 마찬가지로 모듈간 접합부의 3D 시공상세도의 구축(PU4) 부분이 실질적으로 현장에서 크게 요구되는 사항이며, 그 활용성이 클 것으로 나타났다. 마찬가지로 나머지 항목 역시 BIM 활용의 우선순위에 관계없이 시공계획 수립에 적용된다면 활용성이 큰 것으로 논의되었다. 공통적인 의견으로 현장 관리자 및 작업자의 이해를 돕는데 매우 유용할 것이라는 의견이 있었으며, 시뮬레이션 등 BIM 업무에 대한 비용이 추가적으로 발생된다면 적용성이 낮을 수도 있다는 의견이 있었다. 또한 공장제작단계에서도 골조부의 접합부 상세, 공정관리 등의 활용성이 있을 것으로 판단되며, 설계-공장제작-현장시공단계를 연계한 BIM 활용방안이 요구되는 것으로 나타났다.

5. 결 론

BIM의 적용은 건설산업에 다양한 긍정적 변화를 불러오고 있으며 지속적으로 확대되고 있다. 특히 모듈러 건축과 BIM은 현 건설산업의 위기를 극복하는데 주요한 기술로 인식되고 있다[2]. 이에 본 연구에서는 모듈러 공법의 BIM 활용성을 분석을 위해 현장시공계획 항목을 대상으로 BIM 업무의 필요성 및 효과분석을 수행하였으며, 이를 반영한 사례연구를 통해 BIM 기반 시공계획서를 도출하고 논의하였다. 본 연구의 결과는 향후 모듈러 프로젝트에서 BIM의 적절한 활용성에 대한 방향성을 제시하는데 기본적인 도움을 줄 수 있을 것으로 사료 된다.

본 연구는 BIM이 기존의 다양한 프로젝트에 적용되어 그 활용 효과가 검증되고 있는데 반해, 모듈러 프로젝트에서는 실질적인 적용방안과 사례가 없는 점에 주목하여 BIM의 어떤 업무가 활용될 필요가 있는가에 대해 시공계획서 내의 항목을 대상으로 분석한 연구이다. 그러나 현재 국내 모듈러 프로젝트에서 BIM의 적용이 시범적 수준에 머무르고 있기 때문에, 본 연구에서 제시한 BIM의 활용항목이

일반 프로젝트의 BIM 활용과 유사한 수준에 머무르고 있으며 구체적인 효과를 제시하지 못한 한계가 있다. 향후 연구를 통해 BIM 활용에 대한 세부적인 항목을 분류하고 보다 상세한 분석과 모듈러 공법에 특화된 활용방안을 제시할 수 있는 연구를 수행할 예정이다.

요 약

BIM과 모듈러 공법은 건설 산업의 위기를 극복하는데 도움이 되는 중요한 기술로 인식되고 있다. 그러나 현재 국내 모듈러 건축 프로젝트에서 BIM의 활용은 미미한 수준이며 구체적인 활용지침이 제시되지 못하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 모듈러 건축공사의 현장시공계획단계를 위한 BIM 활용성 분석을 목적으로 하였다. 첫째, 기존문헌 고찰과 전문가 인터뷰를 통해 적용 가능한 BIM 업무를 선정하였으며, 모듈러 건축공사의 시공계획서를 분석하여 BIM 활용 업무를 5가지로 분류하였다. 이후 설문을 통해 각 항목에 대한 BIM 활용성을 필요성과 효율성으로 분석하였으며 이를 BIM utilization Index(BIM UI)를 통해 제시하였다. 설문 결과 모듈간 접합부 시공상세도 구축, 양중계획 검토, 기타공사 주요 시공부위의 상세도 구축, 현장공정 계획 검토, 그리고 현장배치계획 검토가 0.811, 0.787, 0.770, 0.729, 0.699 순으로 분석되었다. 이후 사례연구를 통해 BIM을 적용한 BIM 기반 시공계획서를 도출하여 전문가 자문을 실시하고 논의하였다. 본 연구의 결과는 향후 모듈러 프로젝트에서 BIM의 적절한 활용 방안을 제시하는데 활용될 수 있을 것이다.

키워드 : 모듈러 공법, 시공계획, 비아이엠, 공업화 건축 공사

Acknowledgement

This research was supported by a grant(19RERP-B082884-06) from Residential Environment Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

ORCID

Myung Do Lee, <https://orcid.org/0000-0001-7030-0058>

References

- Andras M, The lure of modular construction—assessing the advantages and risks [Internet], Virginia: IPA Newsletter; 2015 Nov. Available from: <https://www.ipaglobal.com/news/article/the-lure-of-modular-construction-assessing-the-advantages-and-risks/>
- Abanda FH, Tah JHM, Cheung, FKT. BIM in off-site manufacturing for buildings. *Journal of Building Engineering*. 2017 Oct;14:89–102. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.10.002>
- Choi OK, Lee HS, Park MS, Hyun HS. Quantity management model for manufacturing and assembly of large-scale modular construction projects during construction phase. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2018 Jan;19(1):43–53. <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2018.19.1.043>
- Shin HK, Kim SY, Ahn YH, Giel B. Decision model of construction errors management based on modular method construction process. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2017 Nov;18(6):98–108. <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2017.18.6.098>
- Shin HK, Ahn YH. Modular building construction process development by benchmarking international best practices. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2016 Nov;17(6):3–12. <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2016.17.6.003>
- Kim JH, Park MS, Lee HS, Hyun HS. Alternative evaluation model for tower crane operation plan in modular construction—focusing on modular unit installation and finishing works. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2018 Mar;19(2):50–60. <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2018.19.2.050>
- Lee DW, Hyun HS, Park MS, Lee HS. Tower crane location and capacity selection model for the mid-to-high-rise modular construction. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure and Construction*. 2016 Nov;32(11):27–36. https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2016.32.11.27
- Han SH, Hasan S, Bouferguène A, Al-Hussein M, Kosa J. Utilization of 3D visualization of mobile crane operations for modular construction on-site assembly. *Journal of Management in Engineering*. 2015 Sep;31(5):04014080. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000317](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000317)
- Lee YH, Lee DH, Kim KT. Considerations in the early stage of designing the unit modular building. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2012 Nov; 13(6):133–42. <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2012.13.6.133>
- Lee KB, Kim KR, Shin DW, Cha HS. A proposal for optimizing unit modular system process to improve efficiency in off-site manufacture, transportation and on-site installation. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2011 Nov;12(6):14–21. <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2011.12.6.14>
- Olearczyk J, Al-Hussein M, Bouferguene A, Telyas A. Virtual construction automation for modular assembly operations. In *Proceedings of the Construction Research Congress*; 2009 Apr 5–7; Seattle(WA): ASCE;2009. p. 406–15. [https://doi.org/10.1061/41020\(339\)42](https://doi.org/10.1061/41020(339)42)
- Bryde D, Broquetas M, Volm JM. The project benefits of building information modelling (BIM). *International Journal of Project Management*. 2013 Oct;31(7):971–80. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>
- Computer Integrated Construction Research Program. *BIM Planning Guide for Facility Owners*, 2nd rev. ed. Pennsylvania: The Pennsylvania State University; 2013. 69 p.
- Public Procurement Service. *Basic guidelines of the facility business BIM Application v1.31* [Internet]. Korea: Public Procurement Service; 2016 Apr 6. Available from: <http://www.pps.go.kr/bbs/selectBoard.do?boardSeqNo=2687&boardId=PPS089> (accessed on 15 April 2019).
- Field, A. *Discovering statistics using SPSS*. 3rd ed, London: Sage; 2009. 854 p.
- Jun KH, Yun SH. Development construction object library for BIM based building construction planning. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure and Construction*. 2011 Sep;27(9):143–51.
- Lee JW, Cho KM, Kim TH. Identifying construction engineering tasks at the design phase for enhancing constructability in high-rise building construction—focused on temporary work. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure and Construction*. 2017 Oct;17(5):453–63. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2017.17.5.453>