

3D BIM 기반 철골 제작도면 산출 생산성 분석

A Study on the Productivity Analysis of 3D BIM-based Fabrication Documents Extraction

함남혁¹⁾, 양정혜²⁾, 여옥경³⁾

Ham, Nam-Hyuk¹⁾ · Yang, Jung-Hye²⁾ · Yuh, Ok Kyung³⁾

Received July 26, 2019; Received September 26, 2019 / Accepted September 27, 2019

ABSTRACT: Extraction of fabrication documents is very important because it provides information related to tasks of fabrication and construction. Therefore, in the case of a prefabricated member such as a steel structure, it is necessary to improve the productivity of fabrication documents through 3D BIM. However, research and evidence data on direct comparison analysis of 3D BIM-based documents extraction versus 2D CAD-based documents extraction are hard to find. Thus, this study focuses on productivity analysis of 3D BIM based fabrication documents extraction. In this study, the productivity data of fabrication documents extraction for module construction of EPC project was analyzed. For the productivity analysis, a case study on the fabrication documents of Module A (1,965 sheets) and Module B (1,216 sheets) was conducted. Fabrication documents for each module include general arrangement drawing, assembly drawing, single part drawing and single plate drawing. Comparison of 2D CAD based fabrication documents extraction and 3D BIM based fabrication documents extraction, the productivity for the entire work was improved from 17 hours to 16 hours for Module A and 12 hours to 7 hours for Module B. Especially, the productivity of the assembly drawings, which occupies a large part of the fabrication documents, was improved by about 48.75% from the total time required from 281 hours to 144 hours.

KEYWORDS: 2D CAD, 3D BIM, Fabrication Documents, Productivity

키워드: 2D CAD, 3D BIM, 제작도면, 생산성

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설 생산성 혁신 및 안전성 강화를 위한 스마트 건설기술 로드맵에 따르면 계획·설계 단계의 경우 엔지니어링 지식이 포함된 설계 자동화를 통해 설계 생산성을 향상시키고자 하고 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2018). 그 동안 설계 생산성을 향상시키기 위해 Building Information Modeling(BIM)을 적용한 다양한 연구들이 수행되었다. 특히, 철골공사를 대상으로 한 BIM 정보 활용 프로세스 제안에 관한 연구(Kim et al., 2018), 복잡한 철골 접합부에 대한 모델링 자동화에 관한 연구(Eom and Shin, 2010), 설계 프로세스 간의 상호운용성을 향상시키기 위한 인터페이스 개발에 관한 연구(Eom and

Shin, 2011), 철골구조물의 시공도면 자동생성 프로세스를 제안한 연구(Shin and Yang, 2009) 등이 이뤄졌다.

설계단계의 업무 중 도면 산출은 제작 및 시공과 연계하여 정보를 제공하기 때문에 중요도가 매우 높다. 특히, 철골공사와 같이 부재가 공장에서 사전 제작되어 현장에 반입되어야 하는 경우 제작도면 산출에 대한 생산성을 향상시키는 것이 매우 중요하다(Lim, 2017). 이러한 측면에서 BIM 기반 설계도면 작성은 투입인력과 시간을 절감하는데 매우 중요하다(Chin, 2016). 선행 연구에서 Oh et al. (2013)은 BIM 기반 구조도면을 작성하기 위한 기준을 제시하였으며, Park et al.(2016)은 BIM 기반 건축인허가 설계도서 작성을 위한 도면요구정보에 대한 표준을 제안하였다. Kim et al.(2018)은 BIM 기반 실시설계 도면 작성시 비효율적인 중복작업과 추가 작업을 최소화하기 위해 BIM 모델로 수정해

¹⁾정회원, 한양사이버대학교 건축도시건설공학부 디지털건축도시공학과 조교수 (nhham@hycu.ac.kr)

²⁾정회원, 한양사이버대학교 건축도시건설공학부 디지털건축도시공학과 학사과정 (jptsyang@gmail.com)

³⁾정회원, 한양사이버대학교 건축도시건설공학부 디지털건축도시공학과 부교수 (karenyuh@hycu.ac.kr) (교신저자)

아할 사항과 CAD 도면에서 수정해야 할 사항을 구분하는 기준을 수립하였다. 하지만 기존 연구의 경우 철골 접합부 모델링 자동화, 상호운용성 향상 등 너무 미시적인 업무 자동화에만 초점을 맞추고 있으며, 아직 기존의 2D CAD 기반 업무 프로세스를 중심으로 BIM 전환설계 방식이 더 일반적이다(Kim et al., 2016). 이러한 한계로 인해 설계 생산성 향상의 근본적인 근거가 되는 2D CAD 기반 설계 대비 3D BIM 기반 설계의 직접적인 효과에 대한 연구 및 근거 데이터는 매우 발견하기 어렵다(Neelamkavil and Ahmed, 2012). 따라서 본 연구에서는 3D BIM 기반의 제작도면 산출에 초점을 맞추어 2D CAD 기반 설계 대비 생산성 분석을 수행하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 3D BIM 기반의 제작도면 산출의 생산성을 분석하기 위해 다음과 같이 연구를 진행하였다.

첫째, 3D BIM 기반 제작도면 산출의 생산성 분석이 필요한 배경과 연구의 목적을 제시하였다.

둘째, 이론적 고찰에서는 설계단계에서 산출되는 설계 및 제작도면의 중요성, BIM의 기능 및 특성, BIM 기반 도면화의 장점 및 한계에 대한 선행 연구를 고찰하였다.

셋째, 2D CAD 기반 제작도면 산출 프로세스와 3D BIM 기반 제작도면 산출 프로세스를 비교 분석하였다.

넷째, EPC 프로젝트 사례를 대상으로 2D CAD 기반 제작도면 산출 방식과 3D BIM 기반 제작도면 산출 방식의 생산성을 분석하였다. 분석 대상은 총 4개(A, B, C, D)의 Module 중 Module A와 Module B를 대상으로 3D Model 기반 도면 산출의 생산성과 반복적인 3D Modeling 작업에 따른 생산성에 초점을 맞추어 분석하였다.

마지막으로는 3D BIM 기반 제작도면 산출 방식의 생산성 데이터를 근거로 시사점을 도출하고, 향후 연구 방향을 도출하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 건설 프로젝트에서 설계도면의 역할 및 중요성

최근 국내에도 비정형(Ryu and Kim, 2016), Engineering-Procurement-Construction(EPC)(Wang and Choi, 2019), 초고층 프로젝트(Ham, 2018) 등 난이도가 높은 건설 프로젝트가 증가하고 있다. 이러한 프로젝트들의 특성은 설계와 시공이 긴밀하게 통합되어야 하며, 때때로 설계와 시공 단계 프로세스 사이에 제작공정이 포함되는 경우가 많다. 즉, 설계와 시공이 동시에 진행되는 Fast-track 방식이나, 제작공정이 주공정성에 영향을 미치는 경우 건축물에 대한 정보를 포함하고 있는 설계도면은 건축물의

품질 확보 및 엔지니어의 업무 생산성 향상뿐만 아니라 프로젝트의 공기 관리에 매우 중요한 역할을 한다(Lee et al., 2019).

설계단계에서 작성되는 설계 및 엔지니어링 정보들은 도면을 통해 시공단계로 전달된다. BIM 도입 이후 BIM 기반으로 작성된 3D Model도 납품 성과물에 포함되지만, 아직까지 도면에 대한 비중은 크다. 조달청 시설사업 BIM 적용 기본 지침서 v1.32에 따르면 BIM 활용목표로 시공도/제작도 작성을 명시하고 있으며, BIM 데이터 추출 도면을 기반으로 시공도면 및 부재 제작도를 작성하는 기준을 마련하고 있다(PPS, 2017). 이처럼 설계도면을 작성하는 것은 설계단계나 시공단계에 걸쳐 업무의 많은 부분을 차지한다.

하지만 실무적으로는 아직까지 3D BIM 기반 제작도면 산출이 2D CAD 기반 제작도면 산출보다 생산성이 높다는 근거가 제시되지 않았기 때문에 BIM 기반으로 작성된 3D Model을 근거로 한 도면 산출 방식의 확산에 어려움이 있다. 반면, 선행연구를 통해서 시공단계에 전달된 설계도면들의 품질이 매우 낮다는 것이 밝혀지고 있다(Ham, 2018). 특히, 2D CAD로 작성된 설계도면을 기반으로 3D BIM으로 전환하는 방식의 경우 도면간의 부적합, 치수의 불일치, 정보의 부족 등으로 인해 공기 지연 및 공사비 상승을 유발하는 설계오류가 시공단계에서 리스크로 작용할 수 있다고 밝히고 있다(Kim et al., 2016). 따라서 3D Model을 기반으로 한 제작도면 산출의 생산성에 대한 구체적인 사례 연구가 필요하다.

2.2 BIM의 주요 기능 및 도면화(Documentation)

일반적으로 알려진 BIM의 주요 기능은 Table 1과 같다. 이 중 3D BIM 작성은 객체(Object) 정보 기반으로 3D Model을 작성하고, 시각화하는 것으로 설계오류 및 간섭검토, 물량산출, 도면작성, 시각화, 공정 시뮬레이션 등 관련 업무의 기준이 된다. 특히, 본 연구에서 3D Model은 설계 및 엔지니어링 정보를 설계도면에 일관되게 공급할 수 있는 데이터베이스 역할을 한다.

Table 1. Examples and effects of using BIM (Kim, 2017)

Field of application	Effects
3D Modeling	· 3D modeling and visualization based on object information · Improved consistency of models and drawings
Review design errors and interferences	· Minimize design changes and construction errors · Promoting communication among participants
Quantity Take Off	· Extraction of quotation information and calculation of quantities (site, type, stage)
Documentation	· Linking models and drawings · Shop Drawing Extraction from 3D Model
Visualization	· Extracting and documenting building information · Rapid decision support with image cut and video creation
4D Simulation	· Review inter-process interference and schedule errors · Scheduling and adjustment of resource input plan

3D Model은 속성 정보를 갖고 있는 객체(Object) 즉, 건축물을 구성하는 부재의 조합으로 작성되며, 프로젝트 단계별로 LOD(Level of Detail) 수준이 다르다. 이렇게 구성된 3D Model을 기반으로 평면도, 입면도, 단면도 등 2D 형태의 설계도면을 작성하기 위한 뷰(View)를 추출한다. 다음으로 Sheet를 구성하고, 개별 Sheet에 앞서 추출된 뷰(View)를 배치한다. 배치된 뷰(View)는 축척을 조정하고, 가시성 설정을 통해 필요한 설계정보를 명확하게 표현할 수 있다. 마지막으로 설계도면에 2D 주석요소(ex. 키맵, 실명, 치수, 재료명, 범례, 상세선 등)를 추가적으로 표현하여 정보를 상세화한다. 3D BIM을 활용한 도면 작성의 가장 큰 장점은 설계변경 및 도면 수정 시간의 단축이다. 3D Model에서 변경되는 사항은 해당 객체(Object)가 포함되어 있는 모든 도면에 적용되기 때문에, 2D CAD 방식에서 모든 도면을 찾아서 수정해야했던 방식을 개선할 수 있다(Kim, 2017). 종합하면, 3D BIM 방식과 2D CAD 방식의 차이는 설계 및 엔지니어링 정보를 얼마나 일관되게 관리할 수 있는가에 초점이 맞춰져 있다. 3D BIM 방식의 경우 대부분의 BIM 저작 도구에서 3D Model, View, Sheet 통합적으로 관리할 수 있는 기능을 제공하고 있다. 따라서 이를 효과적으로 활용할 경우 업무의 비중이 큰 설계도면 작성의 생산성을 향상시킬 수 있다.

2.3 철골 제작도면 산출 생산성 분석의 중요성

BIM 기반 도면화에 대한 선행연구가 많이 발견되지만, 건축 인허가 설계도서의 작성 등 행정적인 정보의 입력에 초점이 맞춰져 있거나(Park et al., 2016), 철골 접합부, 구조 설계도면의 생성 등에 초점이 맞춰져 있다(Oh et al., 2013). 반면, 철골 구조가 적용된 건설 프로젝트의 제작도면은 설계, 제작, 시공 업무와 긴밀하게 연결되어 있다(Kim et al., 2018). 또한 비정형 마감에 떠받치는 철골 하지재의 경우에도 사전에 공장에서 제작되어 현장에서 설치 및 조립되어야 건축물의 마감 품질을 관리할 수 있다(Kim et al., 2017).

이러한 차원에서 사전제작(Prefabrication)이나 디지털 제작(Digital Fabrication)의 프로세스, 생산성 등에 대한 연구는 최근에 늘어나는 추세에 있다. 보통 공장에서 이뤄지는 사전제작 및 디지털 제작은 일반적으로 부가적인 제조로 분류되며, 컴퓨터 기반 설계 방식 및 로봇틱 기반 생산 공정을 기반으로 한다(Isolda et al., 2017). 빌바오 구겐하임 박물관의 경우 3D Model을 통해 약 50,000장의 2D 도면을 자동으로 생성하여 프로젝트 참여자들에게 제공하였다(Lee et al., 2019). Jang과 Lee(2018)는 BIM 기반 MEP rack에 대한 pre-fabrication 프로세스, 생산성, 경제성에 대한 분석을 수행하였다. Nahangi와 Haas(2014)는 pipe spool에 대한 제품품질관리를 위하여 3D 방법론을 제시하였다.

생산은 노동력 등과 같은 생산요소를 유형·무형의 경제제로

변환시킴으로써 효율을 산출하는 과정으로 생산성(Productivity)이란 투입량 대비 산출량이라고 설명할 수 있다. Neelamkavil과 Ahmed(2012)는 설계단계에서 BIM 활용을 통해 산출량 대비 투입 시간 절감을 생산성 분석에 활용하였으며, Kaner et al. (2007)은 도면 생성의 생산성 분석을 위해 BIM과 CAD 방식을 적용한 도면 작업을 1장의 drawing에 투입된 시간으로 분석하였다. 이처럼 철골 제작도면 산출 생산성을 분석하기 위해 투입인원 및 시간, 산출된 도면의 수량이 필요하다. 하지만 기존 연구에서는 BIM 기반 철골 제작도면 산출 과정을 분석하고, 투입 인원 대비 시간을 정량적으로 분석한 연구는 발견하기 어렵다.

만약 현장에서 발생한 설계 및 엔지니어링의 변경 사항에 신속하고, 정확하게 대응하지 못해 제작도면의 정보가 불충분하거나, 제작을 담당하는 전문 건설업체와 의사소통이 원활하지 못할 경우 자재 신규 발주 및 추가 제작으로 인한 공사비 증가, 공기 지연, 기 발주자재의 잉여분 발생, 중복된 철골 부재의 이중 제작 등 프로젝트 리스크로 작용할 수 있다. 따라서 설계변경에 신속하고, 정확하게 대응할 수 있는 3D BIM 기반 철골 제작도면 산출에 대한 확산을 위해 일반적으로 수행되고 있는 2D CAD 기반 제작도면 산출 방식과 비교 분석하는 연구가 필요하다.

EPC 프로젝트의 경우 설계와 시공이 동시에 진행되는 경우가 많다. 또한 대부분의 부재들은 철골 및 관련된 부재들로 구성되어 있다. 따라서 제작도면의 신속하고, 정확한 납품이 프로젝트 성과에 매우 큰 영향을 미친다. Table 2는 EPC 프로젝트의 주요 도면 목록을 나타낸다.

Table 2. Drawing list

Types of drawings	example
General Arrangement drawing	Floor plan, Elevation, Section, Detail, 3D View, etc.
Assembly drawing	Column, Post, Girder, Beam, H.brace, V.brace
Single part drawing	H-beam, Pipe, SQ tube, Angle, Channel
Single plate drawing	Plates

3. 철골 제작도면 산출 방식 비교분석

3.1 2D CAD 기반 제작도면 산출 프로세스

2D CAD 기반 제작도면 산출은 2D CAD로 작성된 설계도서를 검토한 후 Figure 1과 같은 2D 기본도면(General arrangement drawing)을 작성한다. 이 설치도면에는 평면도, 입면도, 단면도, 상세도 등이 포함된다.

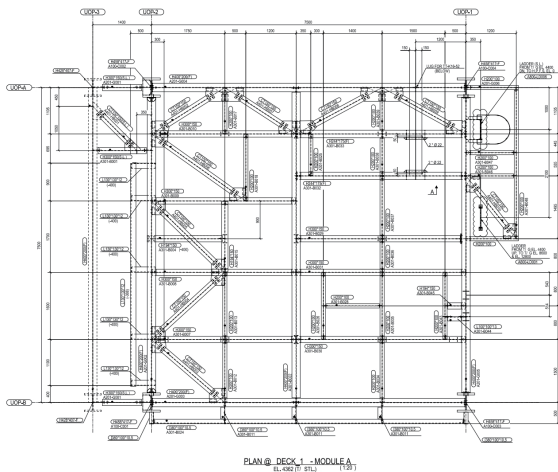


Figure 1. General arrangement drawing

현장에서 철골 부재 설치를 위해 사용되는 2D 설치도면을 통해 공장에서 제작을 위한 2D 제작도면을 작성한다. 2D 제작도면에는 Figure 2~4와 같은 조립도(Assembly drawing), 단품도(Single part drawing, Single plate drawing) 등이 포함된다. 이후에 작성된 도면들을 2D 설계도서와 설치도, 설치도와 조립도, 조립도와 단품도를 교차 검토하게 된다. 검토된 도면을 근거로 물량산출을 수행한다.

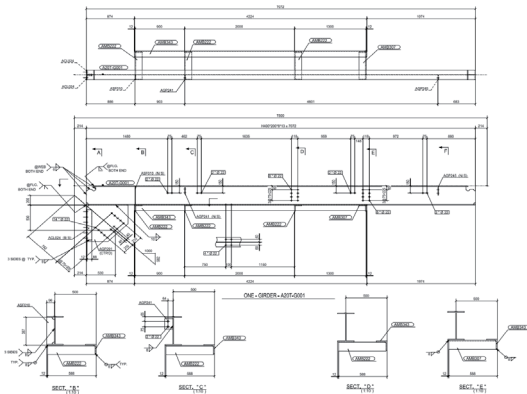


Figure 2. Assembly drawing

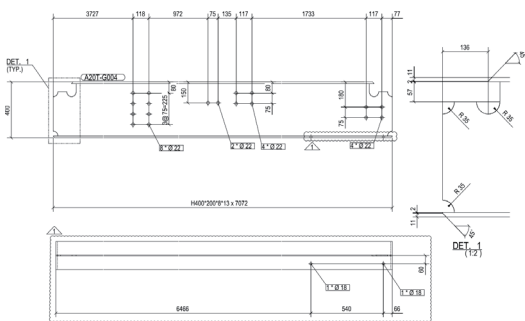


Figure 3. Single part drawing

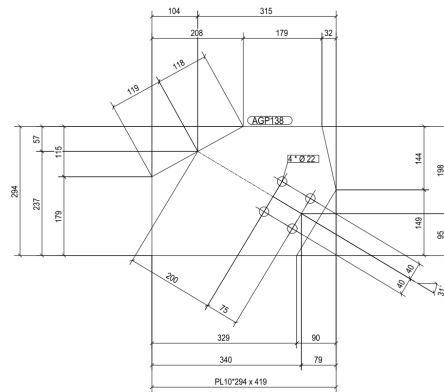


Figure 4. Single plate drawing

가공 단계에서는 앞선 도면을 근거로 Single part와 Single plate에 대한 제작이 이뤄진다. Single part의 경우 H-BEAM, PIPE, SQ TUBE, ANGLE, CHANNEL 등이 포함되며, 절단 및 출가공 등 CNC 머신을 활용하기 위해 수동으로 코딩을 수행하며, 조립 위치를 수동으로 표시해야 한다. Single plate의 경우 plate를 Nesting 하는 작업 뿐만 아니라, CNC 머신을 활용한 레이저 가공이 수동 코딩을 통해 이뤄진다. 이러한 수작업은 작업의 지연, 잠재적 오류 가능성, 원자재 손실 등을 야기할 수 있다.

3.2 3D BIM 기반 제작도면 산출 프로세스

3D BIM 기반 제작도면 산출은 3D Model을 중심으로 이뤄진다. 설계단계에서 3D Model을 구축하는 방식은 프로젝트 참여자 수를 고려하여 작업 구간, 작업 부위 등 기준을 설정하고, Figure 5와 같이 공동작업 환경을 구축할 수 있다. 3D Model을 구축하는 과정에서 설계에서 발생할 수 있는 논리적 오류, 중복, 누락 등의 문제를 사전에 체크할 수 있다.

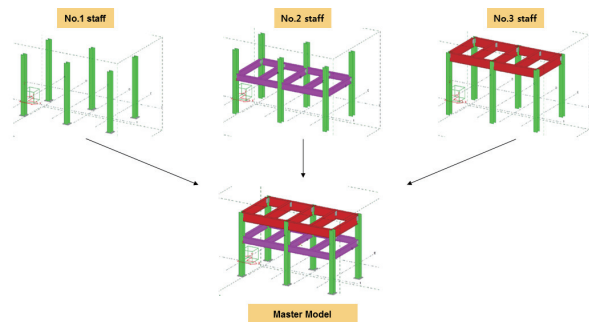


Figure 5. Collaborative 3D Modeling

또한 구축된 3D Model을 통해 Figure 6과 같이 작업자들이 사전에 자동 간섭체크를 수행할 수 있다. 현장에서 3D Model을 통해 이슈사항에 대한 조정 및 해결이 가능하다(Chin, 2016). 이를 통해 기존 2D CAD 기반 제작도면 산출 방식에서 2D 설계도서를 교차 검토하는 시간을 절감할 수 있다.

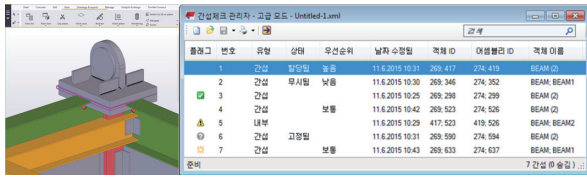


Figure 6. Automative clash detection

모든 참여자들의 검토를 통해 무결한 3D Model이 구축되면, 공장 제작에 필요한 2D 혹은 3D 형태의 Shop drawing을 자동으로 생성할 수 있다. 생성된 Shop drawing에는 제작을 위해 필요한 정보를 추가하거나, 배치하는 편집 작업이 이뤄진다. 그 중 3D Model의 각 부재 Object에 포함된 정보를 기반으로 Figure 7 과 같이 부재에 대한 물량 정보를 자동으로 산출할 수 있다. 산출된 물량 정보는 3D Model을 통해 산출된 Shop drawing에 제작을 위한 정보로 첨부된다.

종류	번호	부재명	부재명	길이(mm)	수량	중량(kg)	중량(kg)	면적(m ²)	체적
GRID	A20F-0004	A20F-0004	H400*200*13	7072	1	466.75	466.75	11.53	DN490A
	A20F-0004	ACJ025	L100*100*13	4392	2	15.86	31.72	0.65	A36
	A20F-0004	ACJ025	L100*100*13	1105	2	21.09	42.18	0.86	A36
	A20F-0004	APR25	RL15*75	374	1	7.58	7.58	0.17	SA400
	A20F-0004	APR25	RL15*75	954	1	85.41	85.41	1.56	DN490A
	A20F-0004	APR25	RL15*75	1232	1	108.14	108.14	1.77	DN490A
	A20F-0004	A20F-0004	H400*200*13		소계:		741.69	15.85	
BEAM	A30F-8001	A30F-8001			1				
	A30F-8001	A30F-8001	H194*150*9	1841	1	50.21	50.21	1.54	DN490A
	A30F-8001	A30F-8001	H194*150*9		소계:		50.21	1.54	

Figure 7. Quantity take-off

제작단계에서는 CNC(Computerized Numerical Control) Machine을 활용한 제작에 3D Model에 포함된 정보를 활용할 수 있다. 즉, 부재의 절단, 천공, 용접, 조립 위치 자동 마킹에 필요한 데이터를 취득할 수 있다. 또한 Figure 8과 같이 공장에서 판재에 자동으로 부재를 배치시키는 Nesting Data로 활용할 수 있다.



Figure 8. Nesting data from 3D Model

이처럼 3D BIM을 기반으로 한 제작도면 산출 방식은 2D CAD 기반 방식에 비해 현장과 공장의 프로세스를 통합함으로써 시간과 비용을 절감하고, 인력 중심의 프로세스로 인한 오류를 감소시킬 수 있다. 3D Model을 정보의 중심으로 활용함으로써 정확도 및 생산성을 향상시킬 수 있다. 뿐만 아니라, Nesting 자동화 등을 통해 원자재 절감도 가능한 장점이 있다. 반면, 건축물의 복잡도 높거나 규모가 커질 경우 모든 참여자들의 검토가 반영된

무결한 3D Model을 구축하는 데 한계가 발생할 수 있다. 이러한 이유로 대규모 프로젝트의 도면 산출 자동화 관련 연구를 찾아보기 힘들다. 하지만 이는 3D Model을 기반으로 한 설계, 제작, 시공 프로세스에 모든 참여자들이 익숙해지고, 건설 프로젝트에 참여하는 전문가들의 3D Model을 다루는 역량이 높아질수록 점차 해결될 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 정형화된 형태의 사례 프로젝트를 통해 3D BIM 기반의 철골 제작도면 산출에 대한 생산성을 분석하고자 한다.

4. Case Study

4.1 개요

본 연구의 사례는 EPC(Engineering Procurement Construction) 프로젝트로서 총 4개의 Module로 구성된 Plant 시설이다. 발주처로부터 제공받은 설계도서를 기반으로 3D Modeling을 수행하였으며, 3D BIM 기반으로 도면 제작이 이루어졌다. 사례 프로젝트는 2014년 12월부터 2015년 9월까지 진행되었으며, 세부 과정은 다음과 같다.

- 1) 발주처로부터 설계도서를 받아 검토 및 질의응답 과정을 거쳐 3D Modeling 진행,
- 2) 3D Modeling 완료 후 2D 설치도면 및 제작도면, 보고서(구조물의 도면번호, 부재번호/종류/수량/사이즈/중량, 도장면적, 볼트 종류/수량 등의 정보를 포함) 생성
- 3) 발주처로부터 도면 승인을 위해 도면 납품(사례 프로젝트에서 제시한 도면 생산성 비교 자료는 첫 도면 납품 기준임)
- 4) 이 후 설계변경 및 여러 가지 요인으로 인한 도면 수정 후 도면 재 납품을 반복하며, 발주처로부터 최종 제작 승인을 받으면 공장 제작 시작
- 5) 제작 승인 후에도 설계변경은 이루어질 수 있으며, 이에 따라 도면을 수정
- 6) 통상 제작 승인 이후에는 프로젝트에 소요되는 시간이 줄어들게 되므로, 모든 인원 또는 일부는 새로운 프로젝트에 투입됨
- 7) 프로젝트의 스케줄에 따라 제작 완료된 부재는 현장설치가 이루어지며, 제작과 현장설치가 동시에 진행되는 시점에서는 제작과 현장설치 중 발생한 요인들로 인해 도면 수정이 요구되기도 하며, 그러한 과정까지 마무리되면 프로젝트는 종료됨

2D CAD 기반 도면 제작은 3D Model 요소를 제외하면 위에서 설명한 과정과 동일하다. 프로젝트가 진행되는 동안 도면 수정과 도면 납품은 여러 번 반복된다. 이러한 과정을 2D CAD 기반으로 진행하게 되면 도면생성, 제작, 현장설치, 검토의 전 과정에 걸쳐 많은 시간이 소요되고, 오류가 발생하게 되며, 이로 인해 비용 증가가 수반된다.

하지만 3D BIM 기반으로 도면 제작을 진행한 사례 프로젝트의 경우, 수정 시간 및 오류가 감소되었고, 변동 사항이 반영된 정확한 Data(도면번호, 부재번호/종류/수량/사이즈/중량, 도장 면적, 볼트 종류/수량)를 자동으로 산출할 수 있었다. 특히, 이러한 Data는 보고서 형식으로 작성되어 공장에서 변동사항 발생 시 신속하게 대처할 수 있었다. 또한 3D Model을 통해 수정 사항 반영 여부를 쉽게 식별할 수 있었고, 상호 간의 의사소통이 효율적이며 원활하였다.

전체 모듈은 Module A (180.96 Ton), Module B (120.06 Ton), Module C (114.16 Ton), Module D (120.94 Ton)로 구성되어 있으며, 각각 1,965장, 1,216장, 939장, 1,175장의 제작 도면이 납품되었다. 본 연구에서는 3D BIM 기반 제작도면 산출과 2D CAD 기반 제작도면 산출의 경제성을 비교 분석하고자 하였다. 따라서 Figure 9와 같이 전체 4개의 Module 중 제작 도면의 수량이 각각 1,965장, 1,216장인 Module A, Module B를 선정하였다. 각각의 도면은 기본도면(General Arrangement drawing), 조립 도면(Assembly drawing), part에 대한 단품도(Single part drawing), plate에 대한 단품도(Single plate drawing)로 구성되어 있다.

데이터 수집은 해당 프로젝트를 수행했던 설계사무소의 담당자를 대상으로 인터뷰하여 2D CAD 기반 제작도면 산출과 3D BIM 기반 제작도면 산출에 대한 생산성 데이터를 수집하였다. 2D CAD 기반 제작도면 산출은 AutoCAD를 활용하는 경우를 기준으로 하였으며, 3D BIM 기반 제작도면 산출은 TEKLA를 활용하는 경우를 기준으로 하였다. 본 연구에서 3D BIM 기반 도면 제작과 2D CAD 기반 도면 제작의 생산성을 비교분석하기 위해 총 4인이 투입되어 1일당 8시간을 일한 것으로 가정하였으며, 사례 프로젝트에 투입된 엔지니어는 2D CAD 기반 도면 제작 및 3D BIM 기반 도면 제작이 모두 가능한 5년~10년 이상의 경력자를 대상으로 하였다. 보통 3~5년 경력의 엔지니어의 경우 역량의 개인차가 있어 프로젝트의 공기, 품질에 영향을 미치기도 하지만 최소 5년 이상의 경력자는 프로젝트를 수행하는 데 있어서 숙련된 엔지니어로 인정받는다.

노무비의 경우 3D BIM 기반 엔지니어가 2D CAD 기반 엔지니어에 비해 평균 1.25~1.5배 정도 높을 수 있다. 하지만 노무비는 기술 외의 직급, 프로젝트 관리 능력, 외국어 능력, 자격증 등 부가적인 요소를 포함하여 책정되므로, 2D CAD 기반 엔지니어와 3D BIM 기반 엔지니어의 도면 제작 생산성을 비교하기 위한 근거 단가를 설정하는 것에 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 제작도면 산출 프로세스에 초점을 맞추어 2D CAD 기반 제작도면 산출과 3D BIM 기반 제작도면 산출의 생산성을 비교 분석하였다.

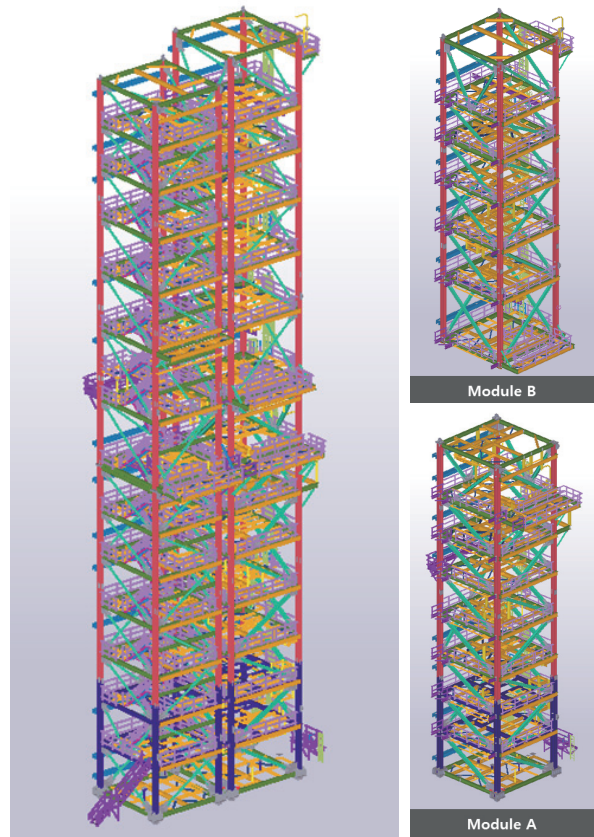


Figure 9. Case project

Table 3,4는 Module A, Module B에 해당하는 제작도면 리스트를 나타낸다.

Table 3. Drawing list : Module A

Module	Drawing list	No. of drawings
A	General Arrangement drawing	26
	Assembly drawing	675
	Single part drawing	769
	Single plate drawing	495
Total		1,965

Table 4. Drawing list : Module B

Module	Drawing list	No. of drawings
B	General Arrangement drawing	14
	Assembly drawing	420
	Single part drawing	466
	Single plate drawing	316
Total		1,216

4.2 생산성 데이터 수집

4.2.1 2D CAD 기반 제작도면 산출

AutoCAD를 활용한 제작도면은 현장에서 사용되는 도면이며 설치도면과 제작도면은 부재 제작 이전에 납품된다. 평면도, 입면도, 단면도, 상세도 등 2D 설치도면(General arrangement drawing)을 통해 조립도(Assembly drawing), 단품도(Single part drawing, Single plate drawing) 등을 산출한다. 이 후에 완성된 제작도면들은 2D 설계도서와 설치도, 설치도와 조립도, 조립도와 단품도를 교차 검토하게 된다. 반면, TEKLA와 같은 3D Modeling을 지원하는 소프트웨어의 경우 3D Model로부터 관련 도면에 표현되는 View가 생성되므로 Fireproofing check 등 특이한 사항을 제외하고는 기본도면, 조립도면, 단품도 등에 대한 형상 검토를 따로 수행할 필요가 없다. 따라서 2D CAD 기반 제작도면 산출에서는 Table 5, 6과 같이 도면의 매수, 도면 1매당 작업에 소요되는 시간, 총 시간에 대한 데이터를 수집하였다. 이를 통해 개별 모듈의 제작도면 산출 시간을 분석하였다.

2D CAD 기반 제작도면 산출 과정은 크게 개별 도면을 작성하는 도면화 작업과 도면을 검토하는 작업으로 구분하였으며, 총 4인이 투입되어 1일당 8시간을 일한 것으로 가정하였다.

Table 5는 Module A에 대한 2D CAD 기반 제작도면 산출에 대한 생산성 데이터를 나타낸다. 이 중 도면화 작업의 비중이 높은 조립도면에 대한 생산성 데이터는 Table 6에 추가적으로 조사하였다. Column, Girder에 대한 단위 도면 당 소요시간이 상대적으로 높게 나왔다. BEAM, BRACE/POST에 대한 소요시간은 상대적으로 낮게 나타났으나, 총 매수가 많아 총 소요시간에서 차지하는 비중은 높게 나타났다.

Table 5. Productivity data for Module A (2D CAD)

Scope of work		Total number of drawings	Total Time	
			min./dwg.	working time
Documentation	General Arrangement drawing	26	90	39 (9.16%)
	Assembly drawing	675	25	281 (66.09%)
	Single part drawing	769	5	64 (15.06%)
	Single plate drawing	495	5	41 (9.69%)
	TOTAL	1965	-	426
	Working period (Day/8hours/4 man)			13
Drawing Review	Working period (Day/8hours/4 man)		4	
Total working period (Day/8hours/4 man)			17	

Table 6. Module A Productivity data for assembly drawings (2D CAD)

Assembly drawing	Total number of drawings	min./dwg.	working time
COLUMN	23	60	23 (8.17%)
GIRDER	73	55	67 (23.78%)
BEAM	380	25	158 (56.26%)
BRACE/POST	199	10	33 (11.79%)
TOTAL	675	[Avg. min./dwg.] 25	281

Table 7은 Module B에 대한 생산성 데이터를 나타낸다. Module A 대비 총 제작도면 매수는 적지만 도면의 유형별 작업 소요시간에 대한 비율은 비슷하게 나타났다.

Table 7. Productivity data for Module B (2D CAD)

Scope of work		Total number of drawings	Total Time	
			min./dwg.	working time
Documentation	General Arrangement drawing	14	90	21 (8.04%)
	Assembly drawing	420	25	175 (67.01%)
	Single part drawing	466	5	39 (14.87%)
	Single plate drawing	316	5	26 (10.08%)
	TOTAL	1216	-	261
Working period (Day/8hours/4 man)			8	
Drawing Review	Working period (Day/8hours/4 man)		4	
Total working period (Day/8hours/4 man)			12	

4.2.2 3D BIM 기반 제작도면 산출

본 연구의 사례 프로젝트의 경우 일반적인 BIM 전환설계 방식이 아닌 3D BIM을 기반으로 한 제작도면 산출 방식으로 수행되었다. 2D CAD 기반 제작도면 산출 방식과 대비하여 동일한 엔지니어링 역량을 가진 4인의 엔지니어가 투입된 것으로 제작도면 산출에 소요되는 시간을 분석하였다.

Module A~D의 3D Model을 구축하는 작업을 담당하는 4인의 엔지니어는 제작을 위한 납품 순서에 따라 우선 순위에 있는 Module A, B에 대한 3D Model 구축을 진행한다. 이 때의 작업 방식은 3D Model을 공유하는 방식을 기반으로 하며 4인의 엔지니어가 동시에 동일 Module에 대한 부재별 또는 층별 접합

부에 대한 3D Modeling을 진행한다. 3D Modeling 과정에서 간섭되는 부재가 많아 공유 작업이 어려울 경우 일부 인원은 후순위에 있는 Module에 대한 3D Modeling 작업을 수행한다. 제작도면을 납품하기 위해 Module 별로 접합부에 대한 상세한 정보가 필요하다. 따라서 1개의 Module 단위에 대한 주요 접합부의 3D Modeling 작업이 완료되면, 한 명은 잡철(ex. LADDER, HANDRAIL)에 대한 3D Modeling을 추가적으로 진행하고, 나머지 3인의 엔지니어는 후순위에 있는 Module B~C에 대한 3D Modeling 작업을 진행하게 된다. Module A에 대한 잡철 모델링이 완료된 후 제작도면에 대한 넘버링 및 도면 생성이 끝나면, Module B~C에 대한 3D Modeling 작업을 진행하던 엔지니어 등 총 4인의 엔지니어가 3D Modeling이 완료된 Module에 대한 도면 편집을 수행하게 된다. 3D Modeling 작업 및 3D Model을 기반으로 한 도면 산출 작업은 납품 기한 및 상황에 따라 투입된 인력을 유연하게 배분하여 효율적인 작업 수행이 가능하다.

Table 8은 Module A에 대한 3D BIM 기반 제작도면 산출에 대한 생산성 데이터를 나타낸다. 이 중 도면화 작업의 비중이 높은 조립도면에 대한 생산성 데이터는 Table 9에 추가적으로 조사하였다. 2D CAD 기반 제작도면 산출과 비슷하게 Column, Girder에 대한 단위 도면 당 소요시간이 상대적으로 높게 나왔으며, BEAM, BRACE/POST에 대한 소요시간은 상대적으로 낮게 나타났다. 하지만 2D CAD 방식과 3D CAD 기반 방식을 대비할 경우 도면화 작업에 대한 소요시간은 Column의 경우 60분에서 40분으로, Girder의 경우 55분에서 40분으로, Beam의 경우 25분에서 10분으로, Brace/Post의 경우 10분에서 5분으로 개선된 것으로 확인되었다.

Table 8. Productivity data for Module A (3D BIM)

Scope of work	Total number of drawings	Total Time	
		min./dwg.	working time
3D Modeling	Working period (Day/8hours/4 man)		10
Documentation	General Arrangement drawing	26	26 (12.76%)
	Assembly drawing	675	144 (70.62%)
	Single part drawing	769	26 (12.58%)
	Single plate drawing	495	8 (4.05%)
	TOTAL	1,965	204
	Working period (Day/8hours/4 man)		6
Total working period (Day/8hours/4 man)			16

Table 9. Module A Productivity data for assembly drawings (3D BIM)

Assembly drawing	Total number of drawings	min./dwg.	working time
COLUMN	23	40	15 (10.65%)
GIRDER	73	40	49 (33.82%)
BEAM	380	10	63 (44.01%)
BRACE/POST	199	5	17 (11.52%)
TOTAL	675	(Avg. min./dwg.) 13	144

Table 10은 Module B에 대한 생산성 데이터를 나타낸다. Module A과 대비하여 3D Model을 기반으로 수행하는 도면화 작업에 대한 생산성 데이터는 동일하지만, 3D Modeling에 대한 소요시간은 Module A의 경우 4인의 엔지니어가 동시에 수행했을 경우 10일이 걸렸던 것에 비해 Module B는 총 3일 밖에 소요되지 않았다. 이는 첫 번째 Module에 대한 3D Modeling 작업시 도면의 유형에 따른 템플릿 세팅, 도면에 포함되는 각종 정보 표현(중량, 볼트, 번호 체계 등)의 기준을 수립하는 데 더 많은 시간이 소요되기 때문이다.

Table 10. Productivity data for Module B (3D BIM)

Scope of work	Total number of drawings	Total Time	
		min./dwg.	working time
3D Modeling	Working period (Day/8hours/4 man)		3
Documentation	General Arrangement drawing	14	14 (11.26%)
	Assembly drawing	420	90 (72.01%)
	Single part drawing	466	16 (12.49%)
	Single plate drawing	316	5 (4.24%)
	TOTAL	1,216	124
	Working period (Day/8hours/4 man)		4
Total working period (Day/8hours/4 man)			7

이처럼 3D Model 기반으로 제작도면을 산출하는 방식을 활용할 경우 3D Modeling 작업의 정확성에 따라 나머지 도면 및 산출되는 정보(BILL OF MATERIAL, BOLT TYPE & Q'TY etc.), NC FILE, IFC 등에 대한 오류가 적어지기 때문에 신뢰성이 향상

될 수 있다. 또한 1차 제작도면 생성 후 발생하는 설계 및 엔지니어링에 대한 변경사항(REVISION)에 능동적으로 대처할 수 있다. 즉, 3D Model을 수정하면 BIM 소프트웨어가 제공하는 파라메트릭한 특성으로 인해 View가 업데이트되고, View가 포함된 제작도면도 자동으로 업데이트된다. 이를 통해 작업시간 절감, 휴먼 에러 감소 등의 효과를 얻을 수 있다. 그리고 CNC Machine에 입력되는 파일 생성을 통해 제작 및 가공에 대한 정확성과 효율성이 향상될 수 있다. 부가적으로 설치 및 시공과정에서는 다양한 3D Model View를 통해 공정을 쉽게 이해할 수 있도록 스케줄링을 지원할 수 있으며, 중립 포맷인 *.ifc 파일 포맷으로 변환하여 다른 상용 소프트웨어에서 작성된 3D Model과 통합하고, 상호 검토할 수 있다.

4.3 2D CAD 및 3D BIM 기반 제작도면 산출 생산성 비교 분석

도면화 작업과 도면 검토 작업이 포함된 2D CAD 기반 제작도면 산출 방식과 도면화 작업이 포함된 3D BIM 기반 제작도면 산출 방식의 가장 큰 차이점은 3D Modeling의 유무이다. 3D BIM 기반 방식의 경우 3D Model, View, Sheet의 Object 기반으로 연계된 도면화 작업을 수행하기 때문에 3D Model의 정확성이 보장된다는 전제하에 산출되는 제작도면의 신뢰성은 확보할 수 있다. 하지만 2D CAD 기반 방식의 경우 산출되는 도면에 대한 전수 조사가 필요할 뿐만 아니라, 휴먼 에러가 발생할 수 있는 여지가 있다. Figure 10은 Module A를 기준으로 각 도면의 산출에 소요되는 시간을 비교한 내용이다. General Arrangement Drawing의 경우 1매당 소요시간이 90분에서 60분으로, Assembly drawing의 경우 1매당 소요시간이 25분에서 13분으로, Single part drawing의 경우 1매당 소요시간이 5분에서 2분으로, Single plate drawing의 경우 1매당 소요시간이 5분에서 1분으로 개선되었다.

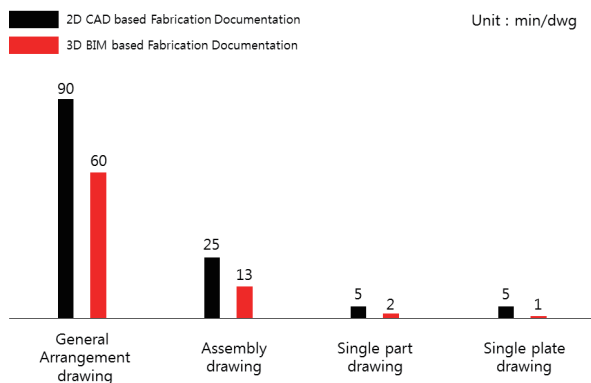


Figure 10. Comparison Analysis of 2D CAD and 3D BIM

특히, 제작도면 중 많은 부분을 차지하는 조립도면의 생산성은 총 소요시간이 281시간에서 144시간으로 48.75% 개선되었다. 전

체 작업에 대한 생산성은 2D CAD 기반 제작도면 산출방식 대비 3D BIM 기반 제작도면 산출방식이 Module A의 경우 17시간에서 16시간으로, Module B의 경우 12시간에서 7시간으로 개선되었다. Module B가 Module A보다 개선이 큰 이유는 3D Modeling 작업에 활용되는 부재의 라이브러리들을 Module A 작업 시에 세팅하기 때문이며, 세팅된 라이브러리들을 재활용하는 Module B에서 개선의 효과가 나타난 것으로 판단된다.

3D BIM 방식의 경우 3D Modeling에 소요된 시간을 포함하고, 2D CAD 방식의 경우 전체 도면 검토 소요시간을 포함하여, 철골 제작도면의 생성 소요시간을 분석한 결과는 Table 11과 같다. 2D CAD 기반 제작도면 생성의 경우 도면 검토 시간을 포함하여 도면 생성 소요시간을 재산출하였다. 3D BIM 기반 제작도면 생성의 경우 3D Modeling 시간을 포함하여 도면 생성 소요시간을 재산출하였다. 산출된 값은 각각 도면 검토 시간 및 3D Modeling 시간을 전체 도면 매수로 나눈 값을 기존 값에 추가하였다.

Table 11. Comparison Analysis of 2D CAD(including working time of Drawing Review) and 3D BIM(including working time of 3D Modeling)

Documentation		2D CAD based (min/dwg)	3D BIM based (min/dwg)	Ratio (%)
Module A	General Arrangement drawing	90.98	62.44	31.37
	Assembly drawing	25.98	15.24	41.34
	Single part drawing	5.98	4.44	25.75
	Single plate drawing	5.98	3.44	42.47
Module B	General Arrangement drawing	91.58	61.18	33.20
	Assembly drawing	26.58	13.98	47.40
	Single part drawing	6.58	3.18	51.67
	Single plate drawing	6.58	2.18	66.87

5. 결론

본 연구에서는 철골 구조가 적용된 플랜트 사례 프로젝트의 제작도면 산출에 대한 2D CAD 기반 방식과 3D BIM 기반 방식에 대한 경험적인 비교를 수행하였다. 이를 통해 3D Modeling 및 3D Model을 기반으로 한 제작도면 산출 방식이 가지고 있는 장점을 정량적으로 분석하였다. 3D Model 기반의 제작도면 산출은 초기 작업시에는 생산성이 크게 개선되지 않으나, 반복적인 활용을 통해 업무 생산성을 개선할 수 있다는 것을 확인하였다. 본 내

용을 기반으로 3D BIM 기반의 제작도면 산출 방식의 장점 및 기대효과를 요약하면 다음과 같다.

첫 번째로 건설 프로젝트에서 자주 발생하는 설계변경에 신속하고, 정확하게 대응가능하다. 공동작업 및 3D Model의 반복적인 활용을 통해 3D Modeling 작업의 생산성이 향상되고, 3D Model과 연계된 View, Sheet가 자동으로 수정됨으로써 도면 산출 작업의 생산성도 더불어 향상될 수 있다.

두 번째로 3D BIM 기반 도면 산출은 설계자동화, 시공자동화를 위한 기반 기술로 활용되어야 한다. 특히, 3D BIM 기반 설계 및 시공 방식은 복잡한 2D CAD 기반 설계 프로세스를 통합시켜 줌으로써 설계 자동화에 기여할 수 있다. 예를 들어, 반복적이고, 단순할 뿐만 아니라, 대량 작업이 필요한 철골 부재의 제작 공정의 경우 컴퓨터 기반의 제작 설계와 CNC Machine과 같은 로봇 생산시 효과가 클 수 있다. 또한 주부재의 조립 위치를 자동으로 마킹함으로써 쓸데없는 인력 낭비를 막을 수 있다. 부수적으로 작업의 정확성 및 품질 향상, 작업인원 축소 등이 기대된다.

세 번째로 작업자간 커뮤니케이션 향상을 통해 현장에서 소모되는 중이도면 활용의 감소, 부재 생산 시 발생하는 폐기물을 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

마지막으로 본 연구는 BIM 적용에 따른 생산성 향상을 3D BIM 기반으로 제작도면을 산출하는 미시적인 Task를 2D CAD 방식과 비교함으로써 매우 명확하게 보여주었다.

본 연구의 내용은 설계, 제작, 시공 업무의 통합을 위한 프로세스 개선의 근거 자료로 활용될 수 있으며, 사전 제작이 적용되는 프로젝트는 참고 문헌으로 충분히 활용 가능할 것으로 기대된다.

References

- Chin, S. Y. (2016). The Truth of 2D Drawing Extraction from BIM, Magazine of KIBIM, Winter 2016. pp. 27–30.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2018). Department of Technology Policy, Smart construction technology roadmap for construction productivity innovation and safety enhancement, pp. 1–26.
- EOM, J. U., Shin, T. S. (2010). A Study on the Automation of the Connection modeling for Steel Structures based on BIM, Journal of Korean Society of Steel Construction, 22(1), pp. 99–108.
- EOM, J. U., Shin, T. S. (2011). A Development of Interface Module between Structural Design and Detail Design based on BIM, Journal of Korean Society of Steel Construction, 23(1), pp. 113–124.
- Ham, N. H., Moon, S., Kim, J. H., Kim, J. J. (2018). Downloaded 565 times Case Studies Economic Analysis of Design Errors in BIM-Based High-Rise Construction Projects: Case Study of Haeundae L Project, Journal of Construction Engineering and Management Vol. 144, Issue 6 (June 2018), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001498](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001498)
- Isolda, A. J., Florian, M., Norman, H., Timothy, W., Guillaume, H. (2017). Potential benefits of digital fabrication for complex structures: Environmental assessment of a robotically fabricated concrete wall, Journal of Cleaner Production. 154, 2017, pp.330–340.
- Jang, S., Lee, G. (2018). Process, productivity, and economic analyses of BIM-based multi-trade prefabrication—a case study, Automation in Construction, vol. 89, pp. 86–98.
- Kaner, I., Sacks, R., Kassian, W., Quitt, T. (2008). Case Studies of BIM Adoption for Precast Concrete Design by Mid-sized Structural Engineering Firms, ITcon Vol. 13, pp. 303–323.
- Kim, B. J., Kim, Y. J., Chin, S. Y. (2018). A development of a checklist to check the consistency of BIM and drawings at the construction documentation phase, Journal of KIBIM, 8(1), pp. 33–42.
- Kim, B. J., Ju, H. W., Jang, M. S., Kim, B. J., Chin, S. Y. (2016). An Analysis on Design Error Issues of BIM Conversion Design Projects through Case Studies, Journal of KIBIM, 6(2), pp. 47–57.
- Kim, H. J. (2017). Analysis of BIM utilization in construction site, Construction Technology, Ssangyong Construction, pp. 68–73.
- Kim, J. K., Yoo, M. Y., Ham, N. H., Kim, J. J., Choi, C. S. (2018). Process of Using BIM for Small-Scale Construction Projects – Focusing on the Steel-frame Work –, Journal of KIBIM, 8(2), pp. 41–50.
- Kim, S. J., Park, Y. M., Park, J. J. (2017). Review of Freeform Buildings using CNC T-BAR System, Journal of Academic and Technical Papers, Journal of The Korean Institute of Building Construction, 17(1), pp. 60–61.
- Lee, J. S., Kwon, N. H., Ham, N. H., Kim, J. J., Ahn, Y. H. (2019). BIM-Based Digital Fabrication Process for a Free-Form Building Project in South Korea, <https://doi.org/10.1155/2019/4163625> (Jul. 03. 2019).
- Lim, C. H. (2017). Application of 3D Information to Reduce Rework, Thesis (Master) – Hanyang University Graduate School of Engineering: Plant Engineering Major 2017. 2

- Nahangi, M., Haas, C. T. (2014). Automated 3D compliance checking in pipe spool fabrication, *Advanced Engineering Informatics*, vol. 28, no. 4, pp. 360–369.
- Neelamkavil, J., Ahamed, S. S. (2012). The Return on Investment from BIM-driven Projects in Construction. IRC-RR-324, National Research Council, Canada, 2012.
- Oh, H. O., Jung, J. H., Lee, J. C. (2013). A Guideline for Structural Drawings Based on BIM, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 29(3), pp. 39–46.
- Park, S. M., Ryu, J. R., Woo, S. H., Choo, S. Y. (2016). A Proposal for Required Drawing Information Standard and Its Effectiveness for Writing BIM-Based Construction Consent Documents, *Journal of the regional association of architectural institute of korea*, 18(2), pp. 19–26.
- Public Procurement Service (2017). Facility Project Basic Guide for Applying BIM, v1.32, <https://www.pps.go.kr/mobile/item/domesticView.dom?boardSeqNo=3127&pageIndex=1&boardId=PPS089> (Jul. 15. 2019).
- Ryu, H. G., Kim, S. J. (2016). Implications Deduction through Analysis of Reverse Engineering Process and Case Study for Prefabrication and Construction of Freeform Envelop Panels, *Journal of The Korean Institute of Building Construction*, 16(6), pp. 579–585.
- Shin, T. S., Yang, J. M. (2009). A Proposal for the Automation Process of Creating Shop Drawings in Steel Constructions, *Journal of the regional association of architectural institute of korea*, 11(4), pp. 267–274.
- Wang, H. K., Choi, J. H. (2019). Data-driven Interactive Planning Methodology for EPC Plant Projects, *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 20(2), pp. 95–104.