

BIM 기반 OSC-DfMA 검토자동화를 위한 기초연구 -라멘구조 PC 공동주택 대상으로-

이승로¹, 정서영², 이슬기^{1*}
¹광운대학교 건축공학과, ²한국건설기술연구원

BIM-based approach for OSC-DfMA review automation -Focus on ramen-structured PC apartment complex-

Seung-Ro Lee¹, Seo-Young Jung², Seul-Ki Lee^{1*}
¹Department of Architectural Engineering, Kwangwoon University
²Department of Construction Policy Research, KICT

요약 현장 노무 중심의 건설생산방식의 문제점들을 완화하거나 보완하기 위하여 OSC를 도입 및 활성화하기 위한 노력을 하고 있다. OSC 최적설계를 위해 DfMA 도입을 위한 노력을 진행하고 있지만, 정보 운용성 부족, 커뮤니케이션 효율성 부족, 갈등 관리 부족 등의 많은 한계를 가지고 있다. 이를 해결하기 위한 방안으로 BIM을 적용하려는 움직임이 있다. 따라서 본 연구에서는 BIM을 기반으로 OSC 생산방식의 생산가능성 검토를 자동화하는 방안을 제안하고, 사례연구를 통해 제안 방법의 실현가능성을 검증하였다. 사례연구는 지하 1층~지상 7층으로 구성된 라멘조 PC 공동주택 건축물을 대상으로 저자의 선행연구에서 도출한 55개의 OSC-DfMA 항목 중 생산적합성을 판단할 수 있는 항목 중 기본설계 단계에서 획득 가능한 항목을 검토하였다. 연구범위에 해당하는 검토항목에 대해 IFC 구조를 분석하였으며, 그 결과를 바탕으로 Autodesk Revit으로 모델링한 사례모델로부터 Revit Add-on인 DiRootsOne을 활용하여 검토항목이 추출 가능하고, 검토결과 시각화가 가능함을 확인하였다. 본 연구의 결과는 향후 BIM기반 OSC-DfMA 검토자동화 시스템 개발의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

Abstract OSC is being introduced and reinvigorated to address or enhance on-site labor-centered building production processes. DfMA is being introduced to optimize OSC design, but it has numerous drawbacks, including inadequate information operability, communication, and conflict resolution. BIM is being promoted to solve this. This study proposed a BIM-based methodology to automate the production ability review of the OSC production method, and performed a case study to confirm its practicality. The case study focused on a ramen-structured PC apartment complex and used 55 OSC-DfMA components from the author's prior research to determine the production suitability at the basic design stage. Based on the IFC structure analysis for study-related review items, DiRootsOne, a Revit add-on, could extract review items from the case model generated in Autodesk Revit and illustrate the review outcomes. This work should provide the foundation for BIM-based OSC-DfMA review automation.

Keywords : BIM, IFC, OSC, DfMA, Precast Concrete(PC)

*Corresponding Author : Seul-Ki Lee(Kwangwoon Univ.)

email: sklee@kw.ac.kr

Received September 8, 2023

Accepted December 8, 2023

Revised October 13, 2023

Published December 31, 2023

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현장 작업을 중심으로 이루어지는 국내 건설공사의 상황은 낮은 생산성과 높은 산재사고율, 기능인력의 고령화, 공사현장 인근의 민원 발생처럼 쉽게 개선하기 어려운 문제들이 지속적으로 지적되고 있다. 이에 건설업계에서는 이와 같은 현장 노무 중심의 건설생산방식의 문제점들을 완화하거나 보완하기 위하여 OSC(Off-Site Construction)를 도입 및 활성화하기 위한 노력을 하고 있다.

OSC란 공장 등의 장소에서 계획 및 생산된 건축물의 구성요소를 현장으로 운반하여 설치, 시공하는 방식으로, 기존 건설 생산방식에 비해 생산 품질 및 안전 향상, 원가 절감, 공기단축이 가능하다. 하지만, 이와 같은 이점에도 불구하고, OSC 방식은 기존 생산방식과 달리 공장 설비, 운반장비, 양중장비, 조립공법 등 생산환경 및 기술에 따른 제약사항들이 다수 존재한다. 따라서, 이와 같은 생산환경에 의한 제약사항을 고려한 설계안의 개발이 필수적이다. 이에 건설업계에서는 OSC 최적설계를 위해 DfMA(Design for Manufacturing & Assembly) 도입을 위한 노력을 진행하고 있다.

DfMA를 적용하면 생산성 향상, 설계오류 감소, 품질 향상 등의 다양한 이점이 있음에도 불구하고, 정보 운용성 부족, 커뮤니케이션 효율성 부족, 갈등 관리 부족 등의 많은 한계를 가지고 있다[1]. 이와 같은 한계를 극복하고 DfMA의 이점을 극대화하기 위해서는 DfMA 기반의 OSC 설계 및 생산 프로세스에 BIM 도입이 필수적이다. OSC 및 DfMA는 구성요소의 모듈화 및 표준화를 추구하고 있어, 프로젝트 초기단계에서 설계를 최적화하는 것이 중요한데, 이때, BIM(Building Information Modelling)을 객체 기반 설계 도구 및 통합 협업 환경으로 사용하면 DfMA 프로세스를 추진하는 데 활용될 수 있기 때문이다[2,3]

따라서 본 연구에서는 BIM을 활용하여 OSC 생산방식의 생산적합성 검토자동화 방안을 제안하고 사례연구를 통해 제안방법의 실현가능성을 검증하는 것을 목적으로 연구를 진행하였다. 본 연구의 결과는 향후 BIM기반 OSC-DfMA 검토자동화 시스템 개발의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

BIM 검토 시스템 개발을 위한 구성요소[4]인 1) 건설 기준을 해석하여 컴퓨터가 읽을 수 있는 형태로 변환하는 'Rule Interpretation', 2) 검토대상 구조물의 BIM 모델 준비하는 'BIM Preparation', 3) 자동 검토를 실행하는 'Rule Execution', 4) 검토 결과를 확인하는 'Reporting Checking Results'에 따라 본 연구에서는 선행연구의 검토항목으로 DfMA 검토 자동화 가능성을 확인하는 것을 연구범위로 설정하였다. 본 연구의 목적 달성을 위한 연구의 흐름은 다음과 같다.

- (1) 기존 문헌고찰을 통해 BIM 기반 OSC-DfMA 검토자동화 프로세스 개발 방향을 제안한다.
- (2) 본 연구의 대상이 되는 OSC-DfMA 검토항목을 선정한다. 본 연구에서는 저자의 선행연구[5]에서 도출한 55개의 OSC-DfMA 평가항목을 중 OSC 생산환경에 적합성을 판단할 수 있는 항목 중 기본설계 단계에서 획득 가능한 항목을 대상으로 한다. 다음으로 선정된 검토항목에 대해 BIM 기반 검토자동화가 가능하도록 컴퓨터가 읽을 수 있는 형태로 변환하기 위한 선정된 검토항목의 속성정보 정의 및 IFC 구조를 분석한다.
- (3) 앞에서 제시한 BIM 기반 OSC-DfMA 검토의 실현 가능성을 검토하기 위하여 OSC 프로젝트 사례를 대상으로 하여 사례연구를 진행한다. 이때, 대상 사례는 다양한 OSC 유형 중 PC(Precast Concrete) 기반의 OSC 프로젝트를 선정하였다. 사례 프로젝트는 Autodesk Revit을 활용하여 모델링하였으며, 검토를 위한 입력변수와 검토결과 처리과정과 검토결과 시각화는 Revit Add-on인 DiRootsOne을 활용하였다.

2. 예비적 고찰

DfMA는 제조분야에서 설계 변경을 최소화하기 위해 개발된 개념으로 동시공학(Concurrent Engineering)적 개념을 사용하여 제품 생산 단계와 관련한 여러 상황을 설계 단계에서 미리 검토함으로써 생산 및 조립 단계에 발생가능한 오류를 사전에 방지하는 설계 접근방식을 의미한다[5]. 제조분야에서는 DfMA 적용을 통해 품질 향상, 안전성 향상, 생산성 향상, 설계 오류 감소 등의 효과를 보았으며, 건설업에서도 이와 같은 DfMA의

효과를 보기 위해 DfMA를 적용하기 위한 시도를 하고 있다.

먼저, Banks et al. [6], Chen & Lu [7] 등은 사례연구를 통해 DfMA의 적용 효과를 분석하였으며, 분석 결과 건설업에 DfMA를 적용할 경우 시공성 향상, 비용 절감, 작업 안전 개선, 품질 향상, 폐기물 감소 등의 이점이 있음을 확인하였다. 한편, 이와 같은 DfMA의 이점을 극대화하기 위해 OSC 생산방식에 DfMA를 적용하고자 하는 다양한 연구들이 수행되었다. Tan et al. [8]은 기존의 DfMA 가이드라인을 분석하고 제조업과 건설업의 차이를 고려하여 건설업에 적용가능한 DfMA 가이드라인의 개발방향을 도출하였으며, Hyun et al. [9]은 OSC 프로젝트에 대한 고려사항의 누락으로 인한 설계오류를 OSC 프로젝트의 저해요인으로 지적하면서 이를 해결하기 위해 DfMA를 적용할 것을 강조하며, DfMA 원칙을 적용한 OSC 설계 프로세스를 제안하고 사례연구를 진행하였다. 또한, Jung & Yu [5]는 OSC 최적 설계를 위해 활용가능한 55개의 DfMA 평가항목을 도출하고, 이를 활용한 OSC-DfMA 통합평가모델을 제시하는 연구를 진행하였다.

한편, DfMA를 적용하면 생산성 향상, 설계오류 감소, 품질 향상 등의 다양한 이점이 있음에도 불구하고, DfMA 기반의 OSC 설계는 정보 운용성 부족, 커뮤니케이션 효율성 부족, 갈등 관리 부족 등의 많은 한계를 가지고 있음을 시사하는 연구에서는 이와 같은 한계를 극복하고 OSC 생산방식에 DfMA를 효과적으로 적용하기 위한 수단으로 BIM을 언급하였다[1]. BIM은 건물을 구성하는 객체들을 중심으로 속성정보를 관리할 수 있기 때문에 건물의 생애주기 동안의 모든 정보를 효과적으로 공유할 수 있다는 특징이 있다. 이와 같은 이유로 인해 BIM을 객체 기반 설계 도구 및 통합 협업 환경으로 사용할 경우 DfMA 프로세스 진행이 효과적일 것이라고 예측되어 오고 있다[2,3].

이와 같은 배경 속에서 BIM-DfMA 관련 연구들이 몇몇 수행되었다. 먼저, Abrishami & Duran [10]은 BIM과 DfMA의 융합을 강조하며, 건축물의 전체 수명주기에 따른 BIM기반의 DfMA 접근방식의 프레임워크를 제시하였다. 또한, Alfieri et al. [11]은 이탈리아 OSC 생산 환경에 적합한 OSC 단계별 BIM-DfMA 적용 전략을 제시하였다. 이와 같은 연구들은 프로젝트 생애주기 단계별 BIM기반 DfMA 적용 방향을 제시하였다는 점에서 의의가 있다.

그 외에도 Gbadamosi et al. [12]는 DfMA 설계 원

칙과 린 건설의 개념을 통합하여 조립용이성, 취급용이성, 조립속도 및 낭비 측면에서 최적의 설계 대안을 선택하기 위한 BIM기반의 DfMA 평가 방법을 제시하였다. 이와 같은 연구는 OSC 설계의 DfMA 관점에서의 생산 효율성 측면의 설계 대안 평가를 위하여 BIM을 적용하였다는 점에서 의의가 있으나, OSC 생산환경에서의 적합성을 검토하기 위한 프로세스를 제시하지 못하였다는 점에서 한계가 있다.

이처럼 선행연구를 고찰한 결과, 기존 연구에서는 OSC 프로젝트의 최적 설계안을 선정하기 위한 OSC-DfMA 평가모델을 개발한 연구들과 BIM 정보를 활용하여 DfMA를 검토하려는 연구들은 있었으나 객체의 물리적인 평가와 수정, 평가 자동화, 시각화에 대한 연구는 부족함을 확인하였다.

BIM은 디지털화된 형상 정보와 건축 정보를 동시에 가지고 있는 3차원 건축 데이터베이스로서 주요 기대 효과 중 하나가 프로젝트 조직 내의 커뮤니케이션 향상이다.

따라서 본 연구에서는 OSC-DfMA 검토 업무의 효율성을 높이기 위해 BIM을 활용하여 OSC-DfMA 생산적 합성을 검토하고, 검토결과를 BIM 모델에 시각화하여 원활한 의사결정을 지원할 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

3. BIM기반 OSC-DfMA검토를 위한 정보 정의

3.1 OSC-DfMA 검토항목 선정

본 연구에서는 OSC-DfMA 검토항목은 선행연구[5]에서 제시한 검토항목을 활용하였다. 선행연구에서는 검토항목은 공장제작 단계 18개 항목, 운반단계 10개 항목, 현장조립단계 22개 항목, 유지보수 6개 항목, 총 55개항목으로 구성되었으며, 각 단계별로 생산가능성, 생산안전성, 생산품질, 생산효율성로 분류되어 있다. 본 연구는 BIM 기반 OSC-DfMA 검토 가능성 확인 뿐만 아니라 검토결과와 시각화가 가능함을 확인하기 55개 항목 중 BIM 모델에 시각화할 수 있는 객체별 형상정보에 대한 항목에 대해 우선적으로 사례연구를 실시하였다. 해당 항목은 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Review items for case study[5]

Stage	Items
manufacturing stage	Have you reviewed the size/weight/configuration of the module in consideration of the factory's lifting equipment?
Transport stage	Have you reviewed the size/weight/configuration of the module, in consideration of transportation equipment?
	Have you reviewed the size/weight/configuration of the module, in consideration of road conditions inside and outside the site?
on-site assembly stage	Have you considered the size/weight/configuration of the module in consideration of the lifting equipment on the site?

선정된 평가항목을 검토대상, 검토속성, 검토기준으로 구분하면 다음 Table 2와 같다.

Table 2. Object, Properties and Criteria of the Review items

Object	Properties	Criteria
Wall/ Column/ Beam/ Girder/ Slab	Length/ Width/ Height/ Weight	Spec. of Factory lifting equipment
		Spec. of transportation equipment
		Road Traffic Act
		Spec. of lifting equipment on the site

BIM기반 OSC-DfMA 자동검토 알고리즘의 입력변수, 매개변수, 출력변수는 다음과 같다.

- ① 입력변수는 OSC-DfMA 자동검토에 반드시 입력되어야 하는 변수로서 BIM 모델로부터 추출되는 정보로서 검토대상(벽/기둥/거더/바닥 등)의 크기(길이/높이/폭) 및 중량에 대한 속성정보이다.
- ② 매개변수는 입력변수와 비교할 변수를 의미하며, 검토대상별 검토속성이 DfMA 원칙에 따라 설계되어있는지 검토하는데 활용하는 비교기준으로서 기계장비의 Spec. 또는 법적기준에 의해 정의된다.
- ③ 출력변수는 입력변수가 매개변수를 초과하는지를 비교한 크기와 중량적합도의 검토결과이다. 본 연구의 대상인 객체별 형상에 대한 검토항목은 만족해야 하는 길이 또는 중량의 기준이 있으며 그 기준과 비교하여 적합/부적합으로 나타낼 수 있지만,

검토항목의 성격에 따라 출력변수는 다르게 정의될 수 있다.

3.2 OSC-DfMA 검토를 위한 속성정보와 IFC 맵핑

IFC 파일에 포함된 건물 구성요소의 스키마는 다음 Fig. 1과 같다.

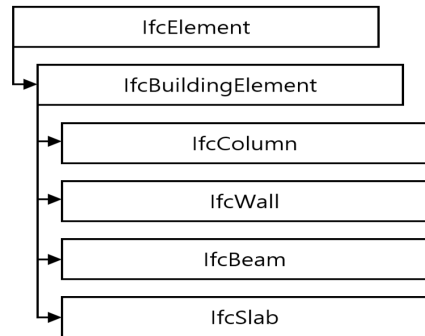


Fig. 1. Schema of building element in IFC

IfcBuildingElement는 IfcElement의 하위유형으로, IfcColumn, IfcWall, IfcBeam, IfcSlab 등 건물을 구성하는 객체를 포함하고 있다. 모든 IfcBuildingElement의 기하학적 표현은 여러 기하학적 표현을 허용하는 IfcProductDefinitionShape 및 IfcLocalPlacement에 의해 제공된다. IfcProductDefinitionShape는 기하학적 표현을 포함하여 제품의 표현을 정의하며, IfcLocalPlacement는 다른 제품의 배치와 관련하여 제품의 상대적 배치 또는 프로젝트의 기하학적 표현 컨텍스트 내에서 제품의 절대 배치를 정의한다. 이처럼 각 객체들의 엔티티는 저마다 위치정보, 형상정보를 관련 엔티티를 참조함으로써 포함하고 있으며, IFC 내에 있는 정보를 추적하면 그 값을 얻을 수 있다.

IfcProductDefinitionShape은 IfcProductRepresentation의 하위유형으로 IfcProduct에 대한 모든 형태 관련 정보를 정의한다. 건물 구성요소의 기하학적 표현은 IfcProductDefinitionShape에 의해 제공되며, 스웱슬리드, 클리핑, 매핑된 표현 등 여러 기하학적 표현의 사용을 지원한다. 그 외에도 일반 표현 유형인 'SurfaceModel', 'Brep' 및 'BoundingBox'가 허용되고 있다.

IfcColumn, IfcWall, IfcBeam, IfcSlab 각각의 형상정보 구조는 다음 Fig. 2와 같다[13].

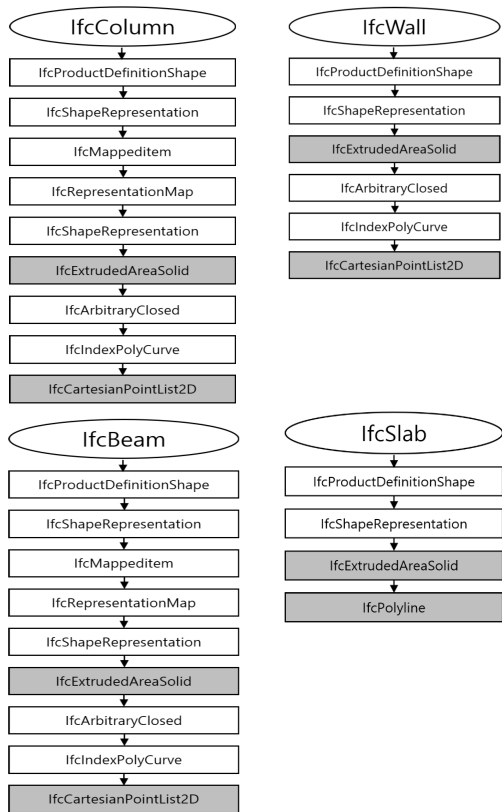


Fig. 2. Shape information structure of IfcBuildingElement

대상객체별 요구정보 추출을 위한 해당 IFC 엔티티 맵핑 결과는 다음 Table 3과 같다.

Table 3. Mapping of Required information - IFC entity

Building Element	Required information		Related IFC Entities
IfcColumn	width	b	IfcCartesianPointList2D
	length	h	IfcCartesianPointList2D
	height	depth	IfcExtrudedAreaSolid
IfcWall	width	layertickness	IfcCartesianPointList2D
	length	coordinates	IfcCartesianPointList2D
	height	depth	IfcExtrudedAreaSolid
IfcBeam	width	b	IfcCartesianPointList2D
	height	h	IfcExtrudedAreaSolid
	length	Span	IfcCartesianPointList2D
IfcSlab	width	sweptArea	IfcExtrudedAreaSolid
	length	sweptArea	IfcExtrudedAreaSolid
	thickness	depth	IfcExtrudedAreaSolid

4. BIM 기반 OSC-DfMA 검토자동화 실현가능성 검증을 위한 사례연구

4.1 사례연구 개요

본 연구에서 제안하는 OSC-DfMA 검토자동화를 위한 사례연구 프로세스는 다음 Fig. 3과 같다.

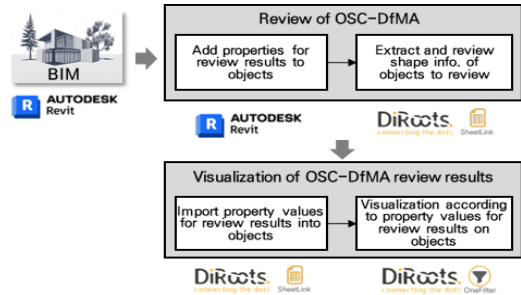


Fig. 3. Process of Case Study

본 연구에서 활용한 사례연구 대상 프로젝트는 지하 1층, 지상 7층으로 구성된 라멘조 PC 공동주택 건축물이며, Autodesk의 Revit을 활용하여 모델링하였으며, 검토대상별 객체 유형 및 개수는 다음 Table 4와 같다.

Table 4. PC application object information in the case project

Object	Type	Count
Wall	Base Wall: Normal - 150mm	186
	Base Wall: Normal - 200mm	159
Column	Concrete-square-column: 600 x 600	168
Beam/ Girder	Concrete-rectangular beam: 380x420mm	16
	Concrete-rectangular beam: 430x420mm	130
	Concrete-rectangular beam: 500x420mm	65
	Concrete-rectangular beam: 600x420mm	78
Slab	Slab: 70mm	492

4.2 사례연구 결과

4.2.1 OSC-DfMA 검토

본 연구에서는 검토를 위한 입력변수와 출력변수를 BIM 모델에서 추출하고 다시 입력하기 위해 Revit Add-on인 DiRootsOne 기능 중 SheetLink을 활용하였다.

검토결과가 입력될 속성정보(예: 공장 양중장비의 적합도 등)를 Revit에 Shared Parameter를 미리 정의하

고 이를 Project Parameter에 로드하여 추가한다. 검토 대상의 크기에 대한 속성정보를 SheetLink을 활용하여 엑셀파일로 추출하고, 중량은 체적으로 계산한다. 또한, Project Parameter로 추가된 검토결과에 해당하는 열은 공란으로 추출된다. 공란으로 추출된 검토결과에 해당하는 열에는 검토대상별 속성정보와 검토기준의 크기와 중량을 비교하여 '적합' 또는 '부적합'이라는 결과가 나오도록 하는 IF 조건문을 작성한다. 여기서 검토기준은 사례 프로젝트의 사업계획서에 제시된 운송장비와 공장 및 현장의 양중장비의 Spec., 도로교통법에서 규정된 크기와 중량에 대한 제한기준을 활용한다. 다음 Fig. 4는 OSC-DfMA 검토결과로서 앞서 정의한 입력변수, 출력변수가 엑셀에 입력된 화면이다.

Fig. 4. OSC-DfMA review results in EXCEL

4.2.2 OSC-DfMA 검토결과 시각화

SheetLink를 활용하여 크기적합도와 중량적합도를 다시 BIM 모델로 다시 import하고 검토결과를 시각화하기 위해 DirrootsOne의 OneFilter를 활용하였다. OneFilter는 부재별 속성정보에 따라 색을 다르게 지정할 수 있다. 부적합한 요소를 적색으로 시각화한 결과는 다음 Fig. 5와 같다.

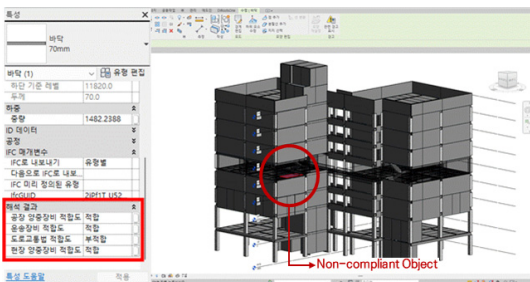


Fig. 5. Visualization of OSC-DfMA review results in Revit

5. 결론

본 연구의 목적은 DfMA의 이점을 극대화하기 위하여 BIM을 활용하여 OSC 생산방식의 생산가능성 검토를 자동화할 수 있는 방안을 제안하고, 사례연구를 통해 제안 방법의 실현가능성을 검증하는 것이다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 저자의 선행연구에서 도출한 OSC-DfMA 검토 항목 중 우선순위 항목을 선정하여 선정된 검토항목의 속성정보 정의 및 IFC 구조를 분석해봄으로써 BIM 기반 OSC-DfMA 검토자동화의 기반이 되는 검토기준을 컴퓨터가 읽을 수 있는 형태로 변환하는 프로세스를 정의하였다.

둘째, 사례연구를 통해 OSC-DfMA 검토를 위해 필요한 입력변수와 결과변수의 자동화가 가능함을 확인하였고, 검토 결과를 BIM 모델에 다시 입력하고 시각화가 가능함을 확인하였다. 이를 통해 OSC-DfMA 검토에 BIM을 활용한다면 부적합한 객체를 일일이 수작업으로 찾아서 수정하지 않아도 되어 생산적합성의 확보뿐만 아니라 검토결과에 대한 의사결정을 원활하게 하여 업무의 소요 시간을 단축할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 기존 연구에서 고려하지 않은 BIM 정보를 활용하여 객체의 DfMA 검토 및 수정, 시각화에 대한 연구를 진행하여 BIM기반의 OSC-DfMA 검토 프로그램 개발의 기반을 마련하였다는 점에서 의의가 있다.

하지만, 본 연구에서는 기존 연구의 OSC-DfMA 검토 항목 중 일부 항목으로 한정하여 연구를 진행하였는데, 향후 연구범위를 확장하여 모든 검토항목을 검토하기 위한 연구를 진행한다면 더 넓은 범위의 DfMA를 완성도 있게 검토할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, OSC-DfMA 검토를 위한 입력변수를 추출하고, 결과변수를 부재의 속성정보로 다시 입력하는 방법을 Revit과 Revit Add-on만을 활용하여 사례연구를 수행하였으나, 향후 연구에서는 Revit API를 활용하여 OSC-DfMA 검토를 위한 입력변수를 자동으로 추출하고, IFC 속성확장 방법의 하나인 속성세트정의(Property Set Definition) 방식[14]을 활용하여 검토결과를 저장할 수 있는 Pset을 정의함으로써 BIM기반 OSC-DfMA 평가 프로그램의 완성도를 높일 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] B. Qi, A. Costin, "BIM and Ontology-Based DfMA Framework for Prefabricated Component", *buildings*, Vol.13, No.2, Feb. 2023.
DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings13020394>
- [2] Building and Construction Authority, BIM for DfMA Essential Guide, 2016.
https://www.corenet.gov.sg/media/2032999/bim_essential_guide_dfma.pdf
- [3] W. Lu, T. Tan, J. Xu, J. Wang, K. Chen, S.Gao, F. Xue, "Design for manufacture and assembly(DfMA) in construction: the old and the new", *Architectural Engineering and Design Management*, Vol.17, No.1-2, pp.77-91, May 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1080/17452007.2020.1768505>
- [4] C. Eastman, J. M. Lee, Y. S. Jeong, J. K. Lee(2009) "Automatic rule-based checking of building designs", *Automation in Construction*, Vol.18, No.8, pp.1011-1033. Dec. 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.07.002>
- [5] S. Y. Jung, J. H. Yu, "Design for Manufacturing and Assembly(DfMA) Checklists for Off-Site Construction (OSC) Projects", *Sustainability*, Vol.14, No.19, pp.1-25, Sep. 2022.
DOI: <https://doi.org/10.3390/su141911988>
- [6] C. Banks, R. Kotecha, J. Curtis, C. Dee, N. Pitt, R. Papworth, "Enhancing high-rise residential construction through design for manufacture and assembly-a UK case study", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Management-Procurement and Law*, Vol.171, No.4, pp.164-175, Aug. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1680/jmapl.17.00027>
- [7] K. Chen, W. Lu, "Design for manufacture and assembly oriented design approach to a curtain wall system: A case study of a commercial building in Wuhan, China", *Sustainability*, Vol.10, No.7, June 2018.
DOI: <https://doi.org/10.3390/su10072211>
- [8] T. Tan, L. Weisheng, T. Gangyi, X. Fan, C. Ke, X. Jinying, W. Jing, G. Shang, "Construction-Oriented Design for Manufacture and Assembly (DfMA) Guidelines", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.146, No.8, Aug. 2020.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001877](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001877)
- [9] H. Hyun, H. Kim, J. Kim, "Integrated Off-Site Construction Design Process including DfMA Considerations", *Sustainability*, Vol.14, No.7, March 2022.
DOI: <https://doi.org/10.3390/su14074084>
- [10] S. Abrishami, R. M. Durán, "BIM and DfMA: A Paradigm of New Opportunities", *Sustainability*, Vol.13, No.17, Aug 2021,
DOI: <https://doi.org/10.3390/su13179591>
- [11] E. Alfieri, E. Seghezzi, M. Sauchelli, G. M. Di Giuda, G. Masera, "A BIM-based approach for DfMA in building construction: framework and first results on an Italian case study", *Architectural Engineering and Design Management*, Vol.16, No.4, pp.247-269, Feb. 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1080/17452007.2020.1726725>
- [12] A. Q. Gbadamosi, A. M. Mahamadu, L. O. Oyedele, O. O. Akinade, P. Manu, L. Mahdjoubi, C. Aigbavboa, "Offsite construction: Developing a BIM-Based optimizer for assembly", *Journal of Cleaner Production*, Vol.215, pp.1180-1190, April 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.113>
- [13] https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_2/FINAL/HTML/
- [14] J. S. Won, J. Y. Shin, H. S. Moon, K. B. Ju, "The Development Method of IFC Extension Elements using Work Breakdown Structure in River Fields", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.19, No. 4, pp.77-84, April 2018.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.4.77>

이 승 로(Seung-Ro Lee)

[정회원]



- 2023년 8월 : 광운대학교 건축공학과 (공학사)
- 2023년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 건축공학과 석사과정

<관심분야>

BIM, Dynamo, DfMA

정 서 영(Seo-Young Jung)

[정회원]



- 2017년 8월 : 광운대학교 건축공학과 (공학석사)
- 2022년 8월 : 광운대학교 건축공학과 (공학박사)
- 2022년 10월 ~ 2023년 2월 : LH 토지주택연구원 연구원
- 2022년 3월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 박사후연구원

<관심분야>

OSC, DfMA, 건설 유지관리 자동화 등

이 슬 기(Seul-Ki Lee)

[정회원]



- 2010년 8월 : 광운대학교 건축공학과 (공학석사)
- 2014년 8월 : 광운대학교 건축공학과 (공학박사)
- 2014년 11월 ~ 2021년 2월 : 서울대학교 건설환경종합연구소 책임연구원
- 2021년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 건축공학과 조교수

〈관심분야〉

BIM, 온톨로지, 자연어처리, 건설안전관리