

철도인프라 BIM 성과관리를 위한 업무 및 성과기록 표준 템플릿 개발

Development of Business and Performance Record Standard Template for Rail Infrastructure BIM Performance Management

신민호¹⁾, 김환용²⁾, 최영우³⁾, 한상천⁴⁾

Shin, Min-Ho¹⁾ · Kim, Hwan-Yong²⁾ · Choi, Young-Woo³⁾ · Han, Sang-Cheon⁴⁾

Received November 06, 2020; Received December 01, 2020 / Accepted December 03, 2020

ABSTRACT: Recently, the government has actively promoted the introduction of BIM at the national level to improve the efficiency and productivity of the construction industry, and private interest in the application of BIM has also increased. However, despite the large amount of references and information, not much research has been done in quantitative ways to accurately measure the performance of BIM projects. The purpose of this study is to review performance measurement cases using ROI, investment effect analysis, and queue model analysis using domestic and overseas BIM guideline research and to present standard templates that can quantitatively measure BIM performance records according to domestic conditions based on this. Performance measurement trends and cases according to the application of BIM were analyzed, and nine quantification elements were derived from this, and based on this, a performance measurement data collection template at the BIM life cycle stage was prepared. Detailed items and contents were prepared for the nine quantification elements, and the final template consisted of a total of 43 questions, divided into the entire stage (15), the beginning (8), the middle (8), and the latter (12) areas. It is expected that by using the standard template of railway BIM performance records developed in this study, the BIM design stage will be diagnosed and the deficiencies will be supplemented, which will be the basic data for measuring actual quantitative performance in all life cycle performance of future BIM projects.

KEYWORDS: BIM(Building Information Management), Performance Measurement, Guideline, Quantification Indicator, Standard Template

키워드: BIM, 성과측정, 가이드라인, 정량화 지표, 표준 템플릿

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건설 산업의 업무 효율성 및 생산성 향상을 위한 국가적 차원의 BIM 도입 활성화가 적극적으로 이루어지고 있으며, 이와 더불어 BIM적용에 대한 민간 차원의 관심 또한 증가하고 있다 (Shin et al., 2016).

국내에서도 BIM의 도입을 위해 2009년 국토해양부가 처음으로

로 BIM적용 가이드를 마련하였고, 국토해양부와 조달청은 2010년부터 2016년까지의 단계적인 BIM도입 전략을 발표하였다 (MOLIT, 2018).

그 이후 건설프로젝트의 품질을 향상시키고 BIM을 활성화하기 위하여 2012년부터 500억 원 이상의 공공건축물에 BIM설계를 의무적으로 적용하였고, 2016년부터 조달청이 발주하는 모든 맞춤형 서비스 공사에 BIM 설계를 의무화 하였다. 또한, 정부는 BIM 설계 적용을 토목분야로 영역을 넓혀 2020년까지 사회기반

¹⁾정회원, 우송대학교 철도건설시스템학부 부교수 (minhoshin57@wsu.ac.kr)

²⁾정회원, 한양대학교 ERICA 건축학부 부교수 (hwankim@hanyang.ac.kr)

³⁾학생회원, 인천대학교 도시건축학부 석사과정 (nlpulni@naver.com)

⁴⁾학생회원, 인천대학교 도시건축학부 석사과정 (luckyt7@naver.com) (교신저자)

시설(SOC) 건설공사의 20% 이상에 BIM을 확대적용하기로 하였다(Son and Ock, 2016).

프로젝트 전 과정에서 BIM은 CAD 이후의 두 번째 건설기술 변화이며 3D모델, 통합 프로젝트 등 건설의 전 생애주기에 관한 정보모델을 형성한다. BIM 기반 정보 표현은 직관적이고 효율적이며, 정보처리는 정확하다. 또한 BIM 기반 정보 전송은 확실하고 안전하며 상호작용은 편리하다는 이점을 가지고 있다(Guo et al., 2019).

다만 국내 및 해외 BIM 가이드라인 연구, 다양한 프로젝트의 입찰안내서(RFP, Request for Proposal) 및 수행사례, BIM Execution Planning Guide 등 BIM 실행에 필요한 참고 자료 및 정보들이 많음에도 불구하고 BIM 프로젝트의 운영에 대한 성과를 정확하게 측정하기 위한 정량적인 방식은 많은 연구가 이뤄지지 않고 있다(Ham and Kim, 2015).

이미 미국, 네덜란드, 호주가 대표적으로 많은 BIM 프로젝트 성과평가를 위한 도구 개발이 이루어지고 있지만 국내에서 실시한 BIM 프로젝트에 대한 평가도구로 사용하기에는 성격이 달라 적용하기 어려워 국내에서 진행된 BIM 프로젝트의 성과평가를 위한 평가기준이 필요하다(An and Yun, 2019).

따라서 본 연구에서는 기존에 국내 및 해외 BIM 가이드라인 연구 및 수행 사례를 활용한 ROI, 투자효과분석, 대가행렬모형 분석 등을 이용한 성과측정 사례를 검토하고 이를 기반으로 국내의 실황에 맞게 BIM의 성과기록을 정량적으로 측정할 수 있는 표준 템플릿을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 BIM 성과관리를 위한 표준 템플릿 개발을 주요 목적으로, 다양한 BIM 활용 사업들 중 사업대상지의 면적, 사업비, 기간 등의 측면에서 규모가 큰 철도인프라를 내용적 범위로 설정하였다. 특히 철도인프라는 사업규모가 클에 따라 공기지연 발생 시 발생하는 추가비용이 큰 것으로 나타나며, 이에 따라 철저한 성과관리가 필요하다고 판단된다.

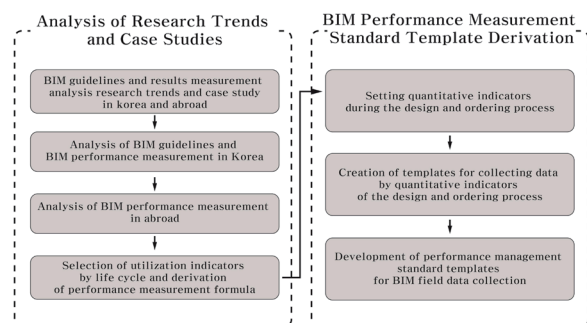


Figure 1. Research process

연구의 방법은 국내 BIM 가이드라인, 성과측정 분석연구 및 국외 BIM 성과측정 분석 연구 중 사례분석을 통한 성과측정 결과가 있는 연구와 정량적 지표를 규정한 연구들을 중심으로 분석하여 진행하였다.

BIM성과기록 템플릿을 만들기 위해 연구 동향 및 사례분석, BIM 표준 템플릿 도출 단계로 나누어 진행하였으며, 각 단계별 특징은 Figure 1 과 같다.

첫째, 국내외 BIM 가이드라인 및 BIM 성과 측정의 선행연구 검토 후 정량적 측정이 가능한 활용 지표를 선정한다. 둘째, 설계 및 발주과정 단계의 정량적 지표의 세부항목 및 내용을 설정하고 철도인프라 시범사업의 데이터 수집을 위한 표준 템플릿 예시를 작성하였다. 향후 연구과제로 시공, 준공, 생애주기 단계의 표준 템플릿 개발을 최종 목표로 하고 있으나, 본 연구에서는 설계단계에 초점을 맞추기로 한다.

2. 선행연구 고찰

2.1 국내 BIM 가이드라인 및 BIM 성과측정 분석연구

본 연구에서는 국내외 BIM 적용에 따른 성과측정 동향 및 사례분석을 통해 BIM 성과관리를 위한 업무 및 성과 기록 표준 템플릿 개발을 목표로 하고 있다.

2016년 이후 국내외 BIM 적용에 따른 성과측정 관련 선행연구 자료 중 성과측정 결과가 있는 연구와 정량적 지표를 규정한 연구를 수집하고 선별하였다. 분석한 자료는 총 14건 중 9건은 국내 논문과 보고서이고, 5건은 국외 논문이다. Table 1에 선행연구 논문을 연도순으로 정리하였다. 이를 통해 생애주기 단계별 성과측정 요소에 관련된 인용 요소들을 도출하였다.

BIM은 2000년경에 국내에 도입되어 15여년이나 지났음에도 불구하고 국내 건축사무소 75% 이상은 BIM을 운영해볼 경험이 없는 것으로 조사되었다(Son et al., 2016).

BIM에 대한 연구는 꾸준히 진행되어 왔으며, 연구 중에서도 건축설계분야의 설계프로세스에 대한 연구가 대부분을 차지하고 있었다. 많은 연구자들과 실무자들은 BIM을 협업의 새로운 도구로 모색해 왔으며, 이에 조직의 전략이 BIM의 도입과 활용 등에 미치는 영향에 관한 연구들이 있었다(Lee et al., 2016).

Song et al., (2019)에서는 공동주택 건설사업 전체 과정 중 BIM의 적용방안을 수립하는 과정에서 시공단계에 활용하는 BIM을 중심으로 적용 방식을 파악하고 단계적 도입을 위한 전략적 주요 업무를 도출하였다.

논문을 통해 BIM 프로젝트의 성과측정을 분석하고 관련된 보고서를 통해 BIM 적용 목적을 도출할 수 있었으며, 이를 통해 인용요소들을 도출하여 이후 생애주기 단계별 성과측정 템플릿을

Table 1. Analysis of domestic BIM performance measurement trends

Researcher	Subject	Citation Contents
Shin (2016)	Development of a Performance Management system for BIM in the construction Industry	BIM performance management framework development and CSF, KPI performance index can be quoted
Son (2016)	A study on the BIM ROI measurement method in architectural design	Investment and profit factors for BIM human capital and quality improvement
Shin (2016)	Development of IT BSC-based evaluation system for BIM performance measurement in architectural design field	By analyzing the scope of BIM work and how to use it, the improvement of design quality and efficiency of design work is derived as a common purpose of applying BIM. Building an IT BSC-based BIM evaluation system by reflecting the purpose and scope of use of BIM
Lee (2016)	Quantitative index selection for BIM-based design collaboration performance evaluation	<Key indicators derived through surveys for experts> Ten indicators such as the degree of inconsistency between drawings, information request processing time, number of model accesses, number of BIM projects, etc.
Kim (2017)	Performance analysis of BIM manpower input in the construction stage using case analysis	Comparative analysis of RFI economic feasibility of BIM monthly report according to non-BIM experts and BIM experts.
Korea Railroad Research Institute (2018)	Rail Infrastructure BIM Guidelines VER 1.0	<BIM utilization and management by business stage> Design stage: BIM implementation plan, BIM model, quantity and drawing creation, etc. Construction stage: BIM model object adequacy, coordination by field, etc. Completion stage: final BIM report, revision of completion stage, review of conflict, etc.
Korea Railroad Research Institute (2018)	BIM-based economic and social benefit analysis and decision-making support system establishment	Citation of elements in the support system for the generation and management of information for each stage of design and construction through the establishment of a life cycle concept information integrated operation and management system using BIM.
Ham (2018)	Analyzing the performance of BIM coordinators in the construction stage using a queue model	Based on the number of BIM coordinators actually invested through the case project, the optimal number of employees is searched for and compared and analyzed for the waiting costs of participants.
Song (2019)	Derivation of major BIM tasks in the construction stage based on the contribution to goal achievement and the expected adaptation effect	Understanding how to apply BIM in the construction stage Arrangement of business and business characteristics of orderer at construction stage Derivation of strategic major tasks for step-by-step BIM introduction

작성하는데 필요한 정량화 요소들을 도출하고자 하였다.

국내 논문들은 BIM 인적자본과 경제성 분석에 초점을 맞춰 BIM 가이드라인을 제시하고 있었으며, 한국철도기술연구원의 보고서를 통해 사업 단계별 BIM 활용 및 생애주기 개념을 도출할 수 있었다. 또한 선행연구에서 개발된 BIM 가이드라인을 통해 철도인프라 생애주기 설계단계에서의 활용 가능성을 분석하였다.

현재 한국도로공사가 도로분야 BIM 발주 및 도입에 있어 선도적으로 적용하고 있는 실정이며, 2015년 BIM 가이드라인 1.0을 발간하고 이를 기반으로 신규 고속도로 사업에 BIM 발주를 추진하고 있다. 국내 철도사업은 아직 BIM 적용이 의무화되지 않았으나, 주로 시공사를 중심으로 부분적으로 도입 및 활용하고 있으며, 설계품질 및 시공방안 검토로 활용하고 있다.

2.2 해외 BIM 성과측정 분석연구

국외 인프라 BIM 정책 동향을 살펴보면 미국의 경우 5억 달러 이상 프로젝트는 IPD(Integrated Project Delivery)를 의무화하고 있으며, 15년 기준 47개 BIM 가이드라인을 제시하고 있다. 15년 기준 유럽은 34개 이상의 BIM 지침과 표준 및 BIM 가이드라인이 있으며, BIM 활용 지침은 건물, 인프라 및 교량에 맞추어 구성하였다.

국토교통부에서 2018년 발표한 “철도 BIM 2030 로드맵”에 따르면, BIM 설계 정보를 통해 정확한 시설물 정보를 얻을 수 있게 되어 기계, 전기, 설비 등 자재와 설비의 유지관리 정보와 도면의 정확성이 높아짐으로써 시설물의 유지관리 비용 절감과 시스템

Table 2. Analysis of overseas BIM performance measurement trends

Researcher	Subject	Citation Contents
Dariusz Walasek, (2017)	Analysis of the adoption rate of Building Information Modeling and its Return on Investment	Most of the profits from applying BIM benefit from energy efficiency analysis, facility maintenance, rework and RFI reduction, and collision detection.
Noor Akmal Adillah Ismail (2018)	Sustainable BIM-Based Cost Estimating for Quantity Surveyors	BIM visualization, help with BIM models in cost determination Accurate data utilization to reduce rework, step-by-step integration of BIM model and information Reliable database, interference coordination through 3D modeling in building elements
Ilias Krystallis (2019)	Towards a methodology for quantifying the benefit of BIM	Identify measurement factors among the four areas of BIM costs, BIM benefits, BIM evaluation methods, and applicability
Vrijhoef, Ruben Dijkstra (2019)	Modelling and simulating time use of site workers with 4D BIM	Modeling the time use of workers using 4D BIM, and quantifying specific intervention calculations
Cha (2020)	A study on 3D/BIM-based on-site performance measurement system for building construction	Selected 8 site productivity that can be used to measure the performance of BIM-enabled projects Use as a tool to facilitate management through the introduction of a new system

활용이 가능해질 것을 기대하며 많은 해외 국가에서 철도에 BIM을 도입하고 있다고 설명하였다.

국외사례의 경우 2017년 이후의 BIM 성과측정 동향 관련 논문을 선별하여 분석하였다. 분석한 자료는 총 5건으로 Table 2에 선행연구 논문을 연도순으로 작성하였다.

국외 논문을 살펴보면, 전문가 인터뷰를 통해 BIM의 경제성을 평가하거나, 정량화를 통한 BIM 자동화 비용과 3D 모델링을 통한 생산성 요인들을 도출하고 효과적으로 관리하기 위한 방안을 제시하는 경우가 주를 이루었다.

국외의 BIM 성과측정 동향 분석 연구는 현재까지 BIM 적용의 이점을 상업적 이유로 과장되었는지에 대한 의문과 더불어 BIM 적용의 이점을 어떻게 정량화 할 수 있는지를 밝히고 있으며, 건설 분야 전문가들을 대상으로 그룹 인터뷰를 통해 BIM 적용 시 비용의 이점과 방법론에 대해 제시하였다(Ilias et al., 2019). 또한, 건설 산업에서 지속가능성을 촉진시키기 위해 BIM을 적용할 시 인력, 프로세스 기술의 세 가지 측면을 통합하여 평가하여야 하며, 정량화를 통한 BIM 자동화에 대해 BIM 모델과 정보의 단계별 통합 활용에 대해 분석하였다(Noor et al., 2018).

국외 논문을 통해 BIM에 활용 가능한 현장 생산성 요인들을 선정하고, 정확한 데이터의 활용, 새로운 시스템 도입을 통한 유연한 관리방안 등, 다양한 요소들을 추출하였다.

2.3 연구의 차별성

현재까지의 관련 연구는 BIM 성과 측정항목에 대해 모호한 평가기준을 제시하고 있으며 BIM을 통한 기업 차원의 수립전략 달성정도 및 창출된 가치가 명확하게 평가되는 데에 한계를 보이고 있다(Shin et al., 2016). 국내에서도 성공적인 BIM 도입을 위해 연구기관, 대학, 건설업체 등에 의한 지속적인 연구 개발 등을 통해 경험을 축적하고 있지만, 대부분의 국내 BIM 적용 프로젝트에서는 접합 상세나 간섭체크 등 단위기능 BIM 활용에 머물러 있는 실정이다(Lee et al., 2009).

또한 대부분의 국내 연구는 사례연구를 통해 일회성 체크리스트로 성과분석을 하고 있어 다른 BIM 프로젝트에 적용하려면 그 프로젝트에 맞게 수정해야한다는 한계점이 있다.

본 연구는 국내 건설 산업의 BIM 적용에 따른 국내외 성과측정 분석의 연구동향 및 사례조사 분석을 통해 인용요소를 추출하고, 문헌별 정량화 지표를 도출하여 동향분석을 통한 생애주기 단계별 성과측정 정량화 지표를 선정하고 전 생애주기 성과측정 표준 템플릿 개발의 목표 달성을 위해 설계 단계에서 정량적 성과측정 방안을 제시한다는 점에서 이전 연구와 차별성을 갖는다.

3. BIM 업무 및 성과기록 정량화 지표 도출

3.1 BIM 성과측정 정량화 요소 도출

철도인프라 BIM 적용에 따른 정량적 성과측정 방안 도출에 앞서 성과측정 정량화 요소를 적용할 수 있는 철도인프라 건설의 생애주기를 BIM 적용 단계별로 구분하였다.

국토교통부 “철도 BIM 2030 로드맵”에서는 철도 건설 사업에 참여하는 주체에 따라 발주자, 설계, 시공, 유지관리 및 자산관리의 4가지 측면에서 BIM 도입의 기대효과를 기술하였다(Ministry of Land, 2018).

Table 3. Expected effect of introducing BIM (Source: Rail BIM 2030 roadmap, 2018)

Phase	Agent	Expectation Effectiveness
Planning	Orderer	Support for rational policy decisions using 3D route information Pre-examination by accurate estimation Definition of clear instructions for assignment by understanding the requirements
Design	Design company	Design examination taking into account visualization, surrounding environment, and intellectual circumstances Ensure accuracy by automatically reflecting design changes Minimize design errors due to early collaboration
Construction	Construction company	Reduced cost and duration by reflecting immediate revision of drawings Prevents waste on site by establishing detailed process plans Decreased the construction period and cost due to the reduction of design errors.
Maintenance	Maintenance company	Visualization of facility information using BIM information Efficient management of defects in the maintenance and construction stages of railway facilities Reduction of maintenance costs and efficient operations

하지만 본 연구에서는 Figure2와 같이 국가철도공단 공사 및 운영 관리 규정에 기술된 건설단계인 기획, 설계, 시공, 준공 단계를 기준으로 하되, 연구의 주요 결과물인 BIM 업무 및 성과기록 템플릿을 향후 시범사업에 적용하기 위하여 기획단계를 제외하고, 건설 전체 단계를 포괄하는 생애주기 단계를 추가하여 설계, 시공, 준공, 생애주기 4가지 측면을 중심으로 다루었다.

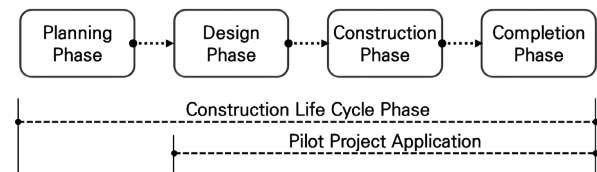


Figure 2. Life cycle phase of railway Infrastructure

철도인프라 건설 생애주기 단계별로 적용이 가능한 성과측정 템플릿 작성을 위해 다음과 같은 과정을 통해 9가지 성과측정 정

량화 요소를 도출하였다.

먼저, 2장에서 분석한 14건의 국내외 선행연구를 기반으로 BIM 성과관리, BIM 투자 및 수익, BIM 협업 성과측정 지표, BIM 경제성 분석, 사업단계별 BIM 관리, 사업 단계별 BIM 업무의 6가지 BIM 성과측정 관련 주요 내용을 도출하였다.

BIM 성과관리 항목의 경우 철도인프라 설계, 시공, 준공 단계별 BIM 적용에 따른 결과 또는 생애주기 단계 결과에 대한 내용으로 BIM 성과물, 품질검토 및 BIM 수익요소를 통해 정량화가 가능하다고 보인다.

Table 4. IM performance measurement quantification element derivation process

Stage 1		Stage 2		Stage 3
Analysis of Prior Research	▶	Main Contents related to BIM Performance Measurement	▶	Quantification Element
Analysis of Domestic BIM Performance Measurement Trends (9 Cases)	▶	BIM Performance management	▶	BIM Result
		BIM Investment and Return		Construction period
		BIM Collaboration Performance Measurement Index		Quality review
		BIM Economics Analysis		Personnel expenses
		BIM Management by Business Stage		BIM Human capital
		BIM Work by Business Stage		Operation cost
Analysis of Overseas BIM Performance Measurement Trends (5 Cases)	▶		▶	BIM Investment element
				BIM Profit Element
				Processing capability element
Total: 14		Total: 6		Total: 9

BIM 투자 및 수익, BIM 경제성 분석 항목의 경우 철도인프라 건설 단계별 또는 초기 투자비용과 그에 따른 수익 비교를 통해 BIM 적용에 대한 효과를 검증하는 내용으로 BIM 투자요소 및 BIM 수익요소를 통해 정량화가 가능하다고 보인다.

BIM 협업 성과측정 지표 항목의 경우 설계, 시공, 준공 각 단계 보다는 전 단계 혹은 다음 단계와 연결되는 과정에서 발생하는 협업에 대한 내용으로 품질검토, 인건비, BIM 인적자본, 작업비용, BIM 처리능력 요소를 통해 정량화가 가능하다고 보인다.

사업 단계별 BIM 관리 항목의 경우 위에서 언급한 협업 성과측정 지표 항목과는 반대로 철도인프라 건설 각 단계에만 적용 가능

한 BIM을 관리하는 내용으로 BIM 성과물, 공사기간, BIM 인적자본, 작업비용 요소를 통해 정량화가 가능하다고 보인다.

사업 단계별 BIM 업무 항목의 경우 설계, 시공, 준공 또는 생애주기 각 단계별 BIM 업무 투입 인원 및 업무 내용 등과 관련된 내용으로 BIM 성과물, 인건비, 작업비용, BIM 처리능력 요소를 통해 정량화가 가능하다고 보인다.

마지막으로 BIM 성과측정 6가지 주요 내용과 관련된 성과측정 정량화 요소들에서 공통된 항목을 정리하여 총 9가지의 요소를 도출하였다.

3.2 정량화 요소별 세부항목 구분 및 내용 도출

철도인프라 시범사업 현장의 BIM 성과측정을 위하여 철도인프라 BIM 가이드라인을 포함한 관련 문헌검토를 통해 아래와 같이 9개 정량화 요소별로 총 43개의 세부항목 및 내용을 도출하였다.

BIM 성과물 요소의 경우 단계별 BIM 적용에 따른 구체적인 업무의 결과물에 대한 측정이 예상되며 BIM 수행계획서, 활용 성과물, 모델 및 보고서의 세부항목을 포함한다. 공사기간 요소의 경우 기간 연장에 따른 간접비, 이자, 지체 보상금과 추가적인 지반 검사로 발생하는 비용 측정이 예상되며 리스크 비용, 공기지연 일수, 현장 여건조사의 세부항목을 포함한다.

품질검토 요소의 경우 주로 모델 작성 시 동일 좌표계 사용, 부재별 LOD 수준, 데이터 손실 또는 누락 등에 대한 측정이 예상되며 BIM 적용 및 구축 관련, 좌표기반 BIM 모델, 모델 개체 적정성 등의 세부항목을 포함한다. 인건비 요소의 경우 철도인프라 BIM 기술자의 투입인원, 기간, 임금 등에 대한 측정이 예상되며 BIM 기술자의 수, 등급의 세부항목을 포함한다.

BIM 수익요소의 경우 BIM 활용을 통한 직접적 성과물에 해당하는 협업관계에서의 소통용이 및 오류·재작업 감소와 BIM을 활용하지 않은 경우 발생하는 추가비용의 측정이 예상되며 품질향상, 시간관리, 비용관리 수익요소의 세부항목을 포함한다.

마지막으로 BIM 처리능력 요소의 경우 BIM 소프트웨어 및 하드웨어 설치 대수와 관련 부서 인원수, BIM 적용 비율 및 기여율에 대한 측정이 예상되며 BIM 소프트웨어·하드웨어 유지 보수 수준, 품질 보증률, BIM 기여율의 세부항목을 포함한다.

4. 설계단계 BIM 업무 및 성과측정 표준 템플릿

4.1 설계단계 적용을 위한 시기별 분류

앞서 국내외 BIM 성과측정 동향 분석을 통해 생애주기 단계별 활용가능하다고 판단되는 정량화 지표 9개 요소와 세부항목을 도출하였다.

Table 5. Details and contents of performance measurement quantification elements

Quantification Elements		Detailed Item	Detailed Contents
BIM Results		BIM Action Plan	Action plan writing
		BIM Utilization Achievement	Submit BIM utilization results in accordance with the BIM performance plan
		Final BIM Model	Final BIM Model writing
		Final BIM Report	Final BIM Report writing
		Related to BIM Application and Implementation	Advantages of introducing BIM
Construction period		Risk Costs in the Process of Resolving Design Errors	overhead, interest, delay compensation, etc
		Calculate the number of days of construction delay	-
		Field Condition Survey	ground survey
Quality review		Related to BIM Application and Implementation	BIM application threshold
		Related to BIM Application and Implementation	Advantages of introducing BIM
		Coordinate-Based BIM Model	Same coordinate system/extender/2D drawing same coordinate system
		Model object adequacy	Data linkage/construction fit when writing LOD level/4D of each member
		Sectoral coordination	Interference Check Report/Intervention Check Report Content Actions
		Create Quantities and Drawings	Data verification/drawing according to LOD level and model interlock/contains drawings in model
Personnel expenses		Data loss	Loss of graphic object/Missing information data when converting extensions
		Number of BIM Technicians	Duration of BIM Residency
		Number of BIM Technicians	BIM Residency Career
		BIM Technician Rating	Calculation of Wages by Technician Rating
BIM Human capital		Number of BIM Technicians	Status of change in input personnel
		Related to the Educational System	BIM-related training
		Related to the Educational System	BIM Technical Qualification Certification
		Create Design Modeling	Create model results through design coordination/number of expert input
Operation cost		Model review	Create Model Quality Checklist/Create Checklist Staff
		Engineering type sorting criterion	Single, multi-process
		Business handling standard	Average number of work processes per person
		Calculation of BIM Design Service Cost	Cost calculation compared to existing 2D design cost
BIM investment element	Human capital	BIM Modeling Operations	BIM modelling operation cost
		Educational expenses and hours	-
	Quality improvement	The burden of new technology	How to Increase Value of Utilization of BIM
		Software purchase and upgrade costs	Initial investment cost
BIM Profit Element	Quality improvement	Hardware Purchase and Maintenance	Types and Costs
		Strengthening competitiveness	Use cases and application rates
		Satisfaction with the owner	Satisfaction ratio
	Time management	Conflict reduction	Additional costs due to poor collaboration
		Marketing Effect through the Use of BIM	Number of BIM-related outcomes per year
	Cost management	Time-shortening	Reduce errors and rework while communicating with the orderer
Reduced 3D and accumulated outsourcing costs		Advantages of introducing BIM	
Processing capability element		Design price increase	Provide additional services and improve design quality
		Retention of BIM-related support department	Total number of people in BIM department / total number of people
		BIM S/W Maintenance Level	Total number of BIM S/W installations / BIM departments
		BIM H/W Maintenance Level	Total number of BIM H/W installations / BIM departments
		BIM Quality Assurance Rate	Number of BIM construction carried out / Total number of BIM construction carried out
	Percentage of BIM contribution to design work outcomes	Estimated Outsourcing Costs / Total Cost of BIM Projects	
Total: 9		Total: 43	

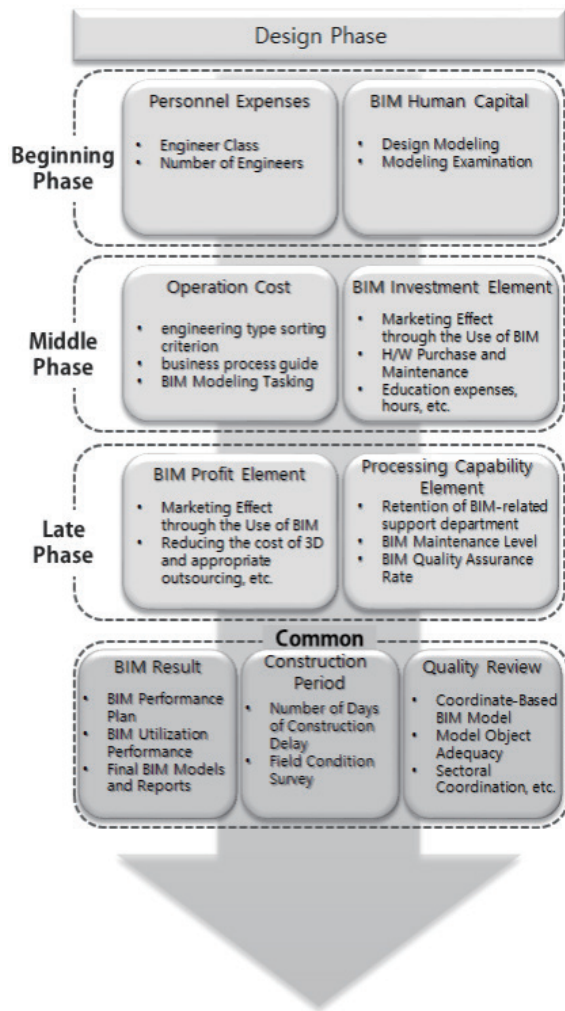


Figure 3. Performance measurement elements according to the BIM design phase

각 생애주기별로 측정할 수 있는 성과의 세부적인 데이터 수집을 위해 설계단계를 시기별로 초반부, 중반부, 후반부로 나누어서 정량화 요소를 적용 및 검토하였다. 설계단계의 초반부에는 설계 모델링 생성 및 검토를 위해 투입할 수 있는 BIM 기술자 등에 관한 인적자본과 인건비 요소를 적용하였다. 설계단계의 중반부에는 업무처리에 발생하는 작업비용, 품질향상을 위한 투자요소를 적용하였고 후반부에는 BIM 설계를 통해 발생 가능한 수익요소와 처리능력 요소를 적용하였다. BIM 성과물, 공사기간, 품질검토는 설계단계의 초반부, 중반부, 후반부에 공통적으로 검토 가능할 것으로 판단하였다. 설계단계의 시기별 정량화 요소 적용은 Figure 3과 같으며, BIM 성과측정을 위한 정량화 지표요소와 세부항목을 통하여 설계단계에 해당하는 데이터 수집 템플릿을 작성하고자 한다.

4.2 설계단계 BIM 적용에 따른 성과측정 데이터 수집 템플릿 개발

분류된 정량화 요소 세부항목을 활용하여 성과측정 데이터 수집을 위한 템플릿 예시를 작성하였다. 각 요소별 세부항목에 따라 설계단계에 해당하는 정량화 데이터 수집이 가능하도록 총 23개 세부항목, 43개 질의를 작성하였다. 공통적으로 해당하는 정량화 요소 3가지인 BIM 성과물, 공사기간, 품질검토는 BIM 수행 계획서 및 보고서 작성의 달성도(비율), 설계오류 해결에 따른 리스크 비용과 공기지연에 따른 비용(원/일(day)), 품질검토를 위한 재작업에 따른 시간소요(시간) 등을 질의로 작성하였다. 인건비와 BIM 인적자본을 적용가능하다고 판단한 설계단계 초반부에서는 기술자 등급에 따른 임금 산정(인건비용), BIM 모델 작성 투입 인원, 1인 평균 업무 처리 건수(횟수) 등의 데이터를 수집하고자 작성하였다. 설계단계의 중반부에서는 작업비용과 투자요소 성과측정을 위해 BIM 모델링 작성비용, 공정 구분, 인적자본을 위한 BIM 인력 교육비용 및 소프트웨어 구입, 업그레이드 비용을 질의로 작성하였다. 설계단계의 후반부에서는 BIM 수익요소와 BIM 처리능력에 대한 성과측정 데이터를 수집하기 위해 간섭요류를 줄이기 위한 회의 시간(참여자 수, 횟수), 실제 현장에서의 BIM 적용 횟수(횟수, 비율), 발주자의 만족도(비율) 등을 질의로 작성하였다. 설계단계 시기별 성과측정 데이터 수집 템플릿 예시는 아래 Table 6과 같다.

Table 6. Template for collecting life cycle performance measurement data_design phase

Phase Level	Quantification Elements	Questions for Performance Measurement
Common	BIM Result	What are the cost items when creating the performance plan? (budget, working hours, personnel, average wage)
		What is the rate of achievement of BIM utilization compared to the plan?
		What is the LOD for the final BIM model?
		What is the goal attainment rate compared to what is stated in the plan? (ratio)
	Construction period	What do you think is the biggest advantage of introducing BIM integration at the design stage (automated drawing and other outcomes / reduced design errors / 3D drawings / reduced design time / reduced cost)?
		What is the delay time and risk associated with the design error resolution process?
What is the standard for calculating air delay and how much is the cost for a one-day delay?		
		During the design phase, what are the number of days and unit costs involved in the site condition survey during the construction period?

Phase Level	Quantification Elements	Questions for Performance Measurement
Common	Quality review	What is the most difficult part of applying integrated BIM during the design phase?
		What do you think is the biggest advantage of introducing integrated BIM at the design stage?
		How do you verify compatibility criteria for BIM models based on the same coordinate system?
		When writing modeling that doesn't fit your design objectives, how do you solve problems that you can't use as a model?
		How do you measure the cost of a BIM Coordinator for quality review?(people, working hours, labor costs, etc.)
		How much work has been done on the LOD level for quality review?
Beginning Phase	Personnel expenses	What is the average number of corrections due to data loss and missing?
		If BIM professionals are present at the site for integrated BIM application at the design stage, how long do you think is appropriate?
		For integrated design phase BIM application, if BIM professionals are present on the site, what level of staff do you think is appropriate?
		What are the number of technicians and hours of operation?
	BIM Human capital	When working in the design phase, how many inputs do you have?
		Have you ever received BIM-related training, including schools, educational institutions, companies, associations, private institutions, etc?
		Do you think a railway infrastructure BIM technology certificate or technician qualification certification system is necessary for the application of BIM at the design stage of the railway infrastructure field?
		What are the staff, working hours, and labor costs required for design modeling?
Middle Phase	Operation cost	When reviewing the model, what are the checklist creation staff, working hours, and labor costs?
		During the design phase, what is the cost of creating data using BIM? (labor, time, software use, etc.)
		What is the average number of work done per person?(Number of times) (within three months, three to six months, six months to one year, the entire design period, optional period according to work and construction type) How do you calculate the cost of carrying out the BIM by comparing it with the existing 2D design? (Compared to the existing 2D design cost, 5-10%, 10-20%, 20 to 30% / Based on the construction cost ± Actual cost ± Difficulty level and work)

Phase Level	Quantification Elements	Questions for Performance Measurement	
Middle Phase	Operation cost	What is the cost of BIM modeling during the design phase? (labor, software use, etc.)	
	BIM investment element	Human capital	How long does it take to train BIM personnel? (Time, work count) While most design phases are still within the 2D software system, what measures do you think can increase the value of your BIM?
		Quality improvement	There will be an inevitable initial investment in the early stages of BIM adoption. What is the cost of purchasing and upgrading software? (costs) What software do you usually use when using BIM? / What are the software purchase and upgrade costs?
	Late Phase	BIM Profit Element	Quality improvement
Time management			What is the average meeting time in Interference and Error Review? (time, number of times)
Cost management			List the order of the great benefits of using BIM rather than the 2D software system (reducing drawing errors and omissions / improving productivity due to increased work efficiency / increasing project participants' understanding / reducing construction costs) Recently, BIM has created many new jobs. What BIM experts do you have in your company? (BIM Modeler: Conducting Modeling, Employee Level / BIM Coordinator: Conducting Model Review and Inter-Property Conventions; Conducting 3 to 5 years of experience / BIM Manager: Establishing and operating a full BIM PJT operation plan; Managing director or higher level of BIM experience for more than 5 years / etc.)
			Processing capability element

5. 향후 연구 진행 방향 및 결론

본 연구는 국내에서 진행되는 BIM 프로젝트의 성과측정 기준을 만들기 위해 국내 BIM 가이드라인, 성과측정 및 해외 BIM 성과측정 연구 중 성과 측정 결과가 있는 연구와 정량적 지표를 규정한 연구를 분석 하여 정량화 요소를 도출한 후, 철도인프라 시범사업의 데이터 수집이 가능한 표준템플릿 예시를 제시하였다. 철도인프라 건설 설계단계를 시기에 따라 공통, 초반, 중반, 후반 부로 나누어 항목을 구분하였으며, 정량화 요소의 세부항목 및 내용에 따라 43개 구체적인 질의를 도출하였다.

본 연구는 철도인프라 BIM 성과관리를 위한 정량적 성과측정 방안을 제시하는 차별성을 갖지만, 다음과 같은 세 가지 측면의 한계점을 갖는다.

첫째, 본 연구의 BIM 성과측정 표준 템플릿은 기존의 선행연구와 사례조사로 분석하였으나, 선행연구 및 사례조사가 현장에서 수집한 데이터를 활용 했다 하더라도 일회성으로 그친 연구기 때문에 표준 템플릿 사용에 대해선 현장 가능성 검토가 필요하다.

둘째, BIM 성과측정을 위한 43개의 질의는 학술적 관점에서 문헌검토를 통해 선정한 내용이므로, BIM 프로젝트 실무자의 설문 및 요인분석의 수행으로 항목들의 신뢰도 및 중요도에 대한 검증이 필요하다.

셋째, 템플릿의 적용 범위는 설계 및 발주단계를 중심으로 연구가 진행되었고 추후 시공, 준공, 전생애주기 단계로의 적용이 가능하도록 보완이 필요하다.

본 연구의 연구결과는 BIM 프로젝트의 성과측정평가 지표와 산출식을 통해 향후 BIM 프로젝트의 전 생애주기 성과측정에 있어 실제 정량적 성과를 측정해 볼 수 있는 중요한 기초자료가 될 수 있을 것이라 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 국토교통과학기술진흥원이 지원한 "철도인프라 생애주기 관리를 위한 BIM 기반 통합플랫폼 개발사업 [20RBIM-B158173-01]"에서 지원을 받아 수행된 연구 결과의 일부입니다.

References

- An, J. W., Yun, S. H. (2019). A Basic Study on the Development of the BIM Service Level Assessment Process, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 19(5), pp. 87–93.
- Cha, H. S., Kim, J. (2020). A Study on 3D/BIM-based on site performance measurement system for building construction, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 19(3), pp. 1–12.
- Dariusz W., Arkadiusz B. (2017). Analysis of the adoption rate of Building Information Modeling [BIM] and its Return on Investment [ROI], *Journal of the Procedia Engineering*, 172, pp. 1227–1234.
- Guo, J., Liu, J., Wang J., Deng X. (2019). Research on the Application of BIM Technology in Whole Process Cost Management, *IOP Conference Series: Earth and Environment Science*, 242, pp.1–5.
- Ham, N. H., Kim, J. J. (2015). A Case Study on BIM Operating and Performance Measurement in Construction Phase, *Journal of the Building Information Modeling Institute of Korea*, 5(2), pp. 1–5.
- Ham, N. H., Yuh, O. K., Ji, K. H. (2018). Empirical Evaluation of BIM Coordinator Performance using Queuing Model in Construction Phase, *Journal of the Building Information Modeling Institute of Korea*, 8(3), pp. 31–42.
- Ilias, K., Eleni, P., Giorgio, L., Ornella, I. (2019). Towards a methodology for quantifying the benefits of BIM, *European Conference on Computing in Construction*, pp. 19–24.
- Kim, H. J., Yoo, M. Y., Kim, J. J., Choi, C. S. (2017). Performance Analysis of BIM Labor using Case Analysis, *Journal of the Building Information Modeling Institute of Korea*, 7(3), pp. 31–39.
- Korea Railroad Research Institute (2018). Development of BIM-based Standard Management Technology for Railway Infrastructure.
- Korea Railroad Research Institute (2018). Rail Infrastructure BIM Guidelines VER 1.0
- Lee, J. G., Lee, H. S., Park, M. S., Kim, S. Y. (2016). Selecting Quantifiable Indicators for Evaluating BIM-based Design Collaboration Performance, *Journal of the Architecture Institute of Korea*, 32(10) pp. 35–43.

- Lee, G. I., Park, J. J., Choi, H. L., Shin, M. H., (2018). A Study on the Development of BIM based Railway Infrastructure Information Management System for the Analysis of BIM Applications in Government and Public Agencies, *Journal of the Building Information Modeling Institute of Korea*, 8(1), pp. 1–14.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2018). Rail BIM 2030 Roadmap. http://big.yonsei.ac.kr/railbim/reports/RailBIM2030Roadmap_Full_Kr_Final.pdf (November, 5, 2020).
- Noor, A. A. I., Nur, H. I., Hazwani, R. S. (2018). Sustainable BIM-Based Cost Estimating for Quantity Surveyors, *Article in Chemical Engineering Transactions*, 63, pp. 235–240.
- Ruben, V., Alexander, K. (2018). Modelling and Simulating Time Use of Site Workers With 4D BIM, *Conference of the International, Group for Lean Construction*, pp. 155–165.
- Shin, J. H., Choi, J. S., Kim, I. H. (2016). Development of IT BSC-based Assessment System to Measure BIM Performance for Architectural Design Firms, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 32(1), pp. 3–12.
- Son, H. I., Ock, J. H. (2016). A Study on the BIM ROI Measurement Method in Architectural design Firm, *Journal of the Society for Computational Design and Engineering*, 21(3), pp. 267–280.
- Song, S. H., Bang, J. D., Sohn, J. R. (2019). Identification of Major BIM-applicable Tasks with Contribution to Achieving Objectives and Expected Benefit in Construction Stage, *Journal of the Building Information Modeling Institute of Korea*, 9(3), pp. 41–53.