

사례분석을 활용한 시공단계 BIM 인력 투입 성과 분석

Performance Analysis of BIM Labor using Case Analysis

김형진¹⁾, 유무영²⁾, 김재준³⁾, 최창식⁴⁾

Kim, Hyoung-Jin¹⁾ · Yoo, Moo-Young²⁾ · Kim, Jae-Jun³⁾ · Choi, Chang-Shik²⁾

Received August 28, 2017; Received September 15, 2017 / Accepted September 18, 2017

ABSTRACT: BIM is effective to improve the labor productivity of construction participants. From this point of view, it is important to analyze the outcome related with BIM Labor which covers most of the BIM investment costs. This research focuses on BIM RFI which is one of the major task of the BIM labor and analyze the outcomes. In addition, this research was quantitatively analyzed by the standby time and related cost caused by BIM labor, which affect the results of the project participants. To this end, analytical standby queue model was utilized to analyze the labor focusing on micros TASK. 11 projects were selected to analyze the results of BIM labor and RFI that the project participants requested to the BIM labor was collected. Through this, it collected variables for analyzing results, and Finally, we pulled out 4 projects for analysis. In this study, the basic results analysis of RFI processing of the BIM labor, the probabilistic analysis of BIM labor service status, and the economic analysis of BIM labor optimal inputs were performed by using the research model presented. The results of this study can be utilized to formulate the optimal strategy for BIM labor inputs(e.g. number of employees, level, time point, etc.) of the construction phase. Moreover, it can contribute to ensuring the credibility of the BIM ROI results by presenting the cost of BIM services in BIM ROI analysis and the standby cost of project participants.

KEYWORDS: BIM, BIM Labor, Queue Waiting Line, Performance

키 워 드: 빌딩정보모델, BIM인력, 대기행렬, 성과

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 건설산업은 다양화, 융·복합으로 인하여 빌딩 정보 모델(Building Information Modeling, BIM)의 활용이 보편화되었다(Park, 2011). BIM의 사용이 증가함과 동시에 BIM 활용성에 대한 성과분석 또한 관심이 증가하였다. 더욱이 BIM의 보편화 및 건설산업의 다양화로 BIM관련 업무 또한 증가하고 더욱 세분화되어 지고 있어 BIM 성과분석에 BIM 인력(BIM 인력)의 중요성이 강조되고 있다(Kim, et al., 2013). 하지만 국내 건설산업의 경우 BIM 전문가가 많지 않고, 초기 투자비용이 높아 실제 활용측면에 어려움이 있고, 체계적인 데이터관리가 이루어지지 못하여 BIM 인력의 성과분석을 위한 데이터가 부족한 실정이다(Seo, et al., 2012). 그리고 BIM 투자비용에서 BIM 인력의 인건비는 큰 비중을 차지하고(Kim, et al., 2016) 있지만, BIM 인력과 관련된 연구자료 또한 미비한 상황이다.

이에 본 연구에서는 실제 D기업 BIM관련 담당자들이 시공단계에서 BIM업무를 기록한 월간 보고서를 바탕으로 시공단계 BIM 인력 투입에 따른 성과분석을 통해 프로젝트 관리자들이 BIM 인력 투입에 대한 의사결정을 지원하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 BIM 성과분석에 관한 선행연구 고찰

BIM 성과분석에 관한 기존 연구는 성과 평가도구, 투자수익(Return on Investment, ROI), 정량적인 연구 방법이 사용되었다.

분석방법 중 성과평가 도구는 건설 프로젝트에 BIM을 활용함으로써 발생하는 이점을 평가하는 도구이다. 그리고 ROI는 기업에서 투자대비 수익을 측정하여 사업의 수익성을 판단하는 방법 중 하나로 건설산업에서 가장 일반적으로 사용되는 성과분석법이다(Neelamkavil, and Ahamed, 2012).

성과평가 도구의 경우 BIM 도입 가이드라인으로써, 가이드라

¹⁾학생회원, 한양대학교 일반대학원 건축공학과 석사과정 (sksmsrlagudwls@hanmail.net)

²⁾학생회원, 한양대학교 일반대학원 건축공학과 박사과정 (yoomoos@gmail.com)

³⁾정회원, 한양대학교 건축공학과 교수 (jjkim@hanyang.ac.kr) (교신저자)

⁴⁾정회원, 한양대학교 건축공학과 교수 (ccs5530@hanyang.ac.kr)

인에 맞추어 항목별 평가가 가능하다. 그러나 일부 평가항목의 경우 특정 지역에 초점이 맞추어져있고, 프로젝트별 평가 차별성이 없어 신뢰성이 떨어지는 단점이 있다. 또한 국내 BIM 성과 측정을 위한 연구에는 BIM 활용만족도, 역량, 평가를 위한 측정 도구는 제시수준에 그쳐 해외처럼 실제 사례를 통한 성과 검증이 필요하다(Kang, et al., 2013).

BIM ROI를 산출하기 위해서는 직접비용, 프로젝트 진행과정에서 계획에 없던 수익, 수익 총 3가지의 요소가 필요하다. 하지만 건설 프로젝트의 사례를 통해 투자수익을 산출할 수 있는 일관된 지표가 미비하다(Neelamkavil, et al., 2012).

BIM의 성과분석에 관한 다수의 정량적인 연구와 분석이 있으나, 근거 데이터가 구체적으로 제시되어 있지 않다(Park, et al., 2011). 그리고 BIM 성과분석을 위한 자료가 시공 이전 설계단계에 국한되어 있으며, 구조적 결함이나 설계 오류에 대한 검토위주의 분석이 이루어져 해석이 제한적이다(Lee, et al. 2012).

위 선행연구 고찰을 종합해 보면 성과측정을 위한 도구들은 객관적이지 못한 평가체계를 가지고 있으며, 성과분석을 위한 연구 또는 ROI는 기초 데이터가 구체적으로 제시되지 않아 신뢰성이 부족하다는 결론을 내릴 수 있다.

2.2 BIM 인력의 역할

BIM 성과분석에 앞서 BIM 인력들이 시공단계에서 어떤 BIM RFI를 수행하는지 알아보는 것이 필요하다. 건설업에서 BIM을 관리하는 인력을 통칭해서 BIM 인력라고 하는데 업무의 성격에 따라 다양한 역할을 수행한다(Kim, at al., 2013). 연구 사례의 BIM RFI는 시공과정에서 발생한 데이터이기 때문에 논문에 필요한 BIM 인력의 역할을 파악하기 위해 이전 연구들을 참고하여 BIM 인력을 Figure 1.과 같이 정리하였다(Barison, and Santos, 2010, Joseph, 2011).

BIM 인력을 활용하는 위치에 따라 크게 발주처(Stakeholder), 설계사(Design Firms), 건설사(General Contractor or Subcontractor Firms) 3가지로 구분하였고 각 위치별로 발주처의 경우 BIM 프로젝트 상담자(BIM Project Consultant)의 역할,

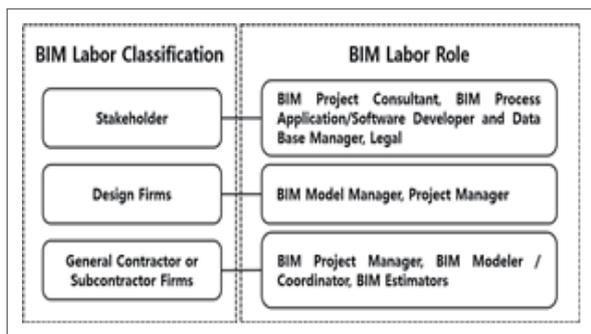


Figure 1. Classification of BIM labor

BIM 절차(BIM Process)를 지원하는 개발자 및 데이터관리, 법규관리를 수행하며 설계사에서는 BIM 프로젝트 모형관리 및 프로젝트에 관련된 행정관리를 수행한다. 마지막으로 건설사에서는 BIM 프로젝트 관리, BIM 건설에 관련된 도면수정자(BIM Modeler, 단순 도면 수정 및 작성), BIM 조정자(BIM Coordinator, 건설관리, 간섭검토, 공정별 모델 관리), 자원관리 등의 역할을 수행한다.

본 논문의 사례들은 시공현장에서 D기업의 직원들이 BIM 인력들에게 BIM RFI를 요청한 자료를 데이터로 사용하고 있다. 그렇기 때문에 BIM 인력의 역할은 건설사들이 하는 BIM 코디네이터, BIM 도면수정자가 해당된다. 시공단계에서 BIM 인력의 역할 범위는 프로젝트 참여자들에 의해 요청된 BIM RFI를 해결하는 것이 주 업무이다.

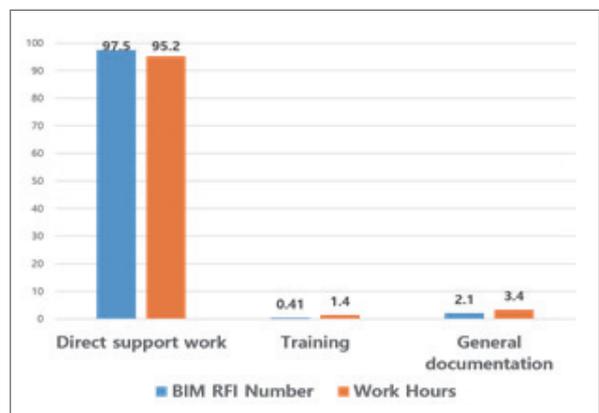


Figure 2. Rate of BIM RFI number and work hours

특히 Figure 2.에서처럼 시공단계에서 요청된 BIM RFI는 시공에 직접적인 영향을 주는 건수가 요청된 BIM RFI 중에서 97.5%로 가장 큰 비율을 차지하고 있다(Kim, et al., 2016). 특히 설계 수정 및 간섭체크의 업무가 대부분을 차지하고 있어 BIM 인력역할이 매우 중요하다(Park, and Park, 2010).

따라서 실제 건설 프로젝트의 사례를 통해 BIM RFI를 수집하고 BIM RFI 건수로 활용하여 BIM 성과분석에 BIM 인력의 영향도를 분석할 필요가 있다.

2.3 대기행렬이론

프로세스에서 발생하는 작업들을 처리하는데 작업의 효율성을 수치를 데이터로 통계적인 답안을 제시하는 방법으로 경제학에서 대기행렬을 많이 사용한다. 특히 BIM 인력의 성과 측정에 BIM RFI를 활용하려고 하는데 이 때 적용하기 좋은 방법이 대기행렬모델이다. 대기행렬의 경우 다양한 형태의 서비스를 받을 때 발생하는 대기시간들의 현상을 나타낸다(Han, 2001). 특히 건설 환경에서 작업자의 투입 및 대기시간을 이용한 성과측정에 효율

점을 알아보는데 적합한 분석방법이다(Ham, and Kim, 2015). 그리고 작업흐름(Work Flow)에 따른 시간분석과 비용분석이 가능한 대기행렬모형은 효율적인 경영전략을 필요로 하는 프로젝트 참여자들에게 분석결과를 수치적으로 제시하기 때문에 신뢰성이 높다(Park, 2014).

이 논문에서 사용하고자 하는 대기행렬이론(Queueing Theory)은 기업의 참여자들이 주어진 자원을 활용함에 있어 가장 효율적인 방안을 수치적으로 알려주는 이론으로 경영과학(Management Science)분석방법 중 하나이다(Ham et al., 2015). 대기행렬의 목적은 고객에게 최선의 서비스를 제공하기 위해 고객의 대기시간, 대기행렬 길이, 서비스 시간과 같은 요인들을 통계학적으로 분석함으로써 고객들과 서비스 제공자(Servers)들에게 합리적인 의사결정 안을 제공한다. 대기행렬이론은 Figure 3.과 같이 현실에서 발생하는 다양한 형태의 대기행렬시스템(Queue systems)을 대기행렬모형(Queue models)으로 표현 가능하다.

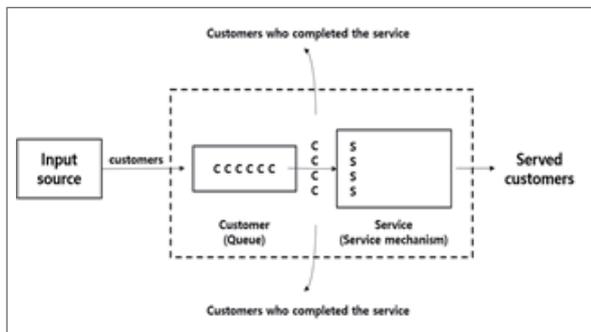


Figure 3. Basic queueing system

고객(Customer)은 서비스를 받기 위해 개별적으로 대기행렬 시스템에 도착하고, 만약 고객이 도착 즉시 서비스를 받지 못하면 대기행렬에서 기다리게 된다. 단, 대기행렬에서 서비스를 받고 있는 고객은 대기행렬에서 제외 된다. 서비스 순서는 대기행렬에 도착한 순서대로 선입선출법(First-come, First-served, FCFS)으로 진행된다. 일반적으로 서버(Server)는 1개의 서비스를 제공하며, 고객은 여러 서버 중 1개의 서버로부터 서비스를 제공 받으며 서비스 완료 후 대기행렬시스템을 떠나는 구조이다.

대기행렬은 Figure 4.와 같이 총 3가지(단일서버대기행렬, 복수서버대기행렬, 번호표교부대기행렬) 유형이 있으며 각 유형별 특징에 따라 상황에 맞는 방법을 선택하여 사용할 수 있다.

첫 번째 단일서버대기행렬(Single-Server Waiting Line System)의 경우 고객이 대기행렬에 도착하여 1개의 서버에서 만 서비스를 제공받을 수 있고 도착순서 대로 서비스를 받게 된다. 두 번째 복수서버대기행렬(Multiple-Server Waiting Line System)은 고객이 대기행렬에 도착하면 도착순서에 따라 여러

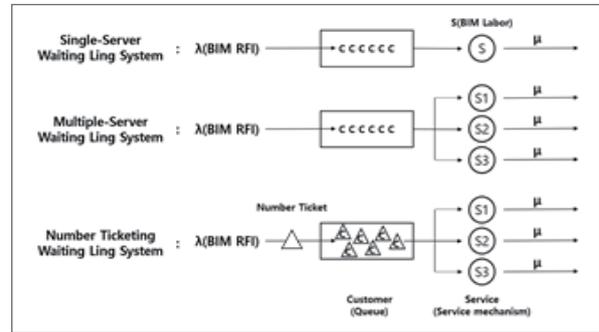


Figure 4. Type of queueing system

서버 중 하나를 선택하여 서비스를 제공받을 수 있다. 마지막 세 번째의 경우 고객이 대기행렬에 도착한 순서대로 순번을 지정 받아 대기행렬에서 자유롭게 기다리다 여러 서버 중 하나를 선택하여 서비스를 제공받는 방법이다. 이 방법은 대기행렬에서 기다리는 시간을 활용할 수 있다는 장점이 있다. 건설현장의 경우 BIM 인력이 배정되는 인원수가 대체로 2명 이상이 현장별로 투입되기 때문에 위 3가지 유형 중 서버 수가 2이상인 복수서버대기행렬을 사용하고자 한다. 또한 이 논문에서는 현장에서 발생하는 BIM RFI 건수가 BIM 인력에게 요청되는 시간과, 처리 시간이 불규칙적이기 때문에 BIM RFI의 도착시간과 처리시간을 지수분포로 가정하였다.

Table 1. The condition of the queue system

Classification	Single-server waiting line system	Multiple-server waiting line system	Number ticketing waiting line system
Average arrival time	$1/\lambda$	$1/\lambda$	$1/\lambda$
Service arrival time	$1/\mu$	$1/\mu$	$1/\mu$
Number of server(s)	1	2 or more	2 or more
Server utilization(ρ)	$\lambda/s\mu$	$\lambda/s\mu$	$\lambda/s\mu$
Queue system	Infinity	Infinity	Infinity
Queue rule	First-come, first-served	First-come, first-served	First-come, first-served

BIM프로젝트의 경우 프로젝트마다 BIM 인력을 투입하여 간섭 오류에 대한 수정이나 프로젝트 참여자의 요구사항을 해결한다. 여기서 BIM 인력의 경우 대기행렬에서 서버 수를 의미하며, 프로젝트 참여자의 요청안은 고객을 의미, 고객의 건수는 BIM 월간 보고서에서 BIM RFI에 의해 결정된다. 그리고 복수서버대기행렬의 구성 요인들을 Table 1.과 같이 정리 해보았다(Kendall, 1953).

먼저 대기행렬의 도착과정을 살펴보면 고객이(Customer) 서비스를 받기 위하여 대기행렬시스템에 도착한 시간을 도착간격 시간(Inter Arrival Time)이라고 한다. 도착간격시간은 고객이 대기행렬시스템에 도착하거나, 먼저 도착한 시간과 이후에 도착한 시간과의 차이 시간이 해당된다. 만약 도착간격시간에 대한 데이

터가 충분히 누적되면 단위시간당 평균 도착고객수를 확률적으로 추정할 수 있는데, 이를 평균도착률(Mean Arrival Rate, λ)라고 정의한다. 평균도착률을 통해 도착간격시간을 확률분포를 이용하여 추정할 수도 있다. 대기행렬시스템에서 고객이 도착하는 시간이 불규칙 적이기 때문에 평균도착률의 경우 도착시간을 변수로 $1/\lambda$ 의 확률분포를 평균으로 사용한다.

서비스의 효율은 상황에 따라 서버 수를 조절하여 탄력적인 관리가 가능하다. 서버는 1명의 고객 당 1개의 서비스가 제공되며, 서비스의 시작부터 끝나는 순간까지의 시간을 서비스 시간(Service Time)이라고 정의한다. 서버 한 개가 쉬지 않고 일한다는 조건하에 서버 1개가 시간당 서비스를 완료하는 평균 고객 수를 평균서비스율(Mean Service Rate, μ)이라고 한다. 평균도착률과 마찬가지로 평균서비스시간 또한 확률분포의 평균으로 $1/\mu$ 로 표기한다.

서버 수는 서비스를 제공하는 당사자로서 본 논문에서는 BIM 인력수가 해당된다.

평균서비스율(Mean Service Rate, μ)은 서버 한 개가 쉬지 않고 일한다는 조건하에 서버 1개가 시간당 서비스를 완료하는 평균 고객 수를 의미 한다. 평균도착률과 마찬가지로 평균서비스시간 또한 확률분포의 평균으로 $1/\mu$ 로 표기한다.

시스템의 용량의 경우 고객이 대기행렬에서 최대로 대기할 수 있는 수를 의미하고, 이를 대기행렬의 용량(Queue Capacity)으로 정의한다. 대기행렬의 용량을 측정하기 위해서는 우선 대기행렬 모형에서 고객이 대기하고 있는 위치에 따라 대기행렬의 고객과 서비스를 받고 있는 고객으로 서로 다른 의미이기 때문에 정확히 구분할 필요가 있다. 대기행렬의 크기는 고객이 서비스를 받기 이전 대기하고 있는 고객 수만을 표본으로 사용한 것이고, 대기행렬의 고객 수와 대기행렬시스템 내부에서 서비스를 받고 있는 고객 수를 합한 고객 수는 대기행렬시스템의 고객 수로 구분한다. 대기행렬의 규모는 대기행렬에서 고객이 최대로 대기할 수 있는 고객 수로 결정되는데 고객의 수를 제한하지 않는 무한대기행렬(Infinite Queue)과 고객의 수를 제한하는 유한대기행렬(Finite Queue)로 구분하고, 일반적으로 무한대기행렬을 사용한다.

마지막으로 대기행렬의 서비스 규칙은 고객들이 서비스를 받게 되는 순서로 대기행렬규칙(Queue Discipline)이라고 한다. 일반적으로 도착순서에 따라 순서가 정해지는 선입선출법을 사용한다.

이에 본 논문에서 성과분석 방법으로 사용된 대기행렬모델의 경우 실제 시공단계의 사례를 통해 얻은 BIM 인력의 정보와, BIM RF, 작업시간의 명확한 데이터를 사용하기 때문에 신뢰성이 보장된다. 또한 대기행렬모델의 분석 특성상 사례별로 BIM 인력의 투입의 적합성을 수치적으로 보여주지 때문에 프로젝트 참여자에게 BIM 인력투입의 의사결정을 제한할 수 있다.

3. 연구의 범위 및 연구방법

3.1 연구의 범위 및 진행과정

BIM 성과분석을 위한 기본 데이터는 D기업의 11개 BIM 프로젝트 현장의 시공단계 BIM 월간보고서를 사용하였다. 보고서의 프로젝트 기간은 15~17년 1분기 까지 이고, BIM 인력들의 작업에 관련된 자료를 사용하였다. 월간 보고서에는 BIM 인력들이 프로젝트참여자가 요구하는 변경사항이나 제시안들을 각 프로젝트마다 구분하여 기록되어져있는데, 이 데이터들을 같은 항목끼리 분류하여 BIM RF(Request For Information)로 활용하였다. 또한 프로젝트 참여자의 요청에 의한 BIM RF건들은 BIM 인력의 업무능력 과 업무량을 시간 기준으로 성과분석의 데이터로 활용하였다. 분석방법은 BIM RF를 처리하는 과정에서 발생하는 대기시간에 대한 비용을 효율적으로 판단할 수 있는 복수서버 대기행렬모델을 사용하였다.

분석을 위해 BIM 인력의 업무능력을 세분화 하여 적용하였다. 논문에서 언급되는 BIM 인력은 BIM과 관련된 업무를 하는 인력으로써, BIM 인력의 의미를 갖고 있다. 또한 BIM 인력을 능력에 따라 상급자(BIM 경력이 5년 이상인자)의 경우 BIM 코디네이터(BIM Coordinator)라고 정의하고, 그 이하 경력의 하급자는 BIM 도면수정자로 설계 수정, 일반 행정 처리와 같은 간단한 업무를 수행하는 인력으로 정의한다.

연구순서는 성과분석을 위한 신뢰성 확보를 위해 BIM RF 데이터를 수집 및 정리하여 분석할 사례를 선정한다. 그리고 선정된 사례를 복수서버 대기행렬을 활용하여 분석함으로써 프로젝트에서 BIM 인력의 성과를 분석 및 해석을 통해 프로젝트 참여자들의 의사결정에 도움을 주고자 한다.

3.2 연구방법

3.2.1 복수서버대기행렬모델의 구성

이 논문에서 사용하는 복수서버대기행렬모델은 다음과 같이 구성되어 저있다. BIM RF의 서비스는 선입선출법에 따라 도착순으로 처리되며, 요청된 BIM RF는 모두 처리하는 무한대기행렬을 사용한다. 평균서비스율의 경우 D기업에서 BIM을 담당하고 있는 실무자 21명을 대상으로 인터뷰한 결과 값 평균 3건/일을 전제로 두고 사례들을 해석하고자 한다.

그리고 서버의 이용률(ρ)은 $\lambda/s\mu$ 로 파악할 수 있는데 서버의 이용률이 1에 가까울수록(1이하일 경우 정상적인 서비스가 가능한 상태) 서버의 활용도가 높다는 것을 의미한다. BIM 인력의 활용도가 높다는 것은 BIM RF의 처리가 현장에서 바쁘게 처리 되고 있다는 의미기도 하지만, BIM 인력이 다른 업무를 하지 못할 만큼 바쁘다는 의미이기도 한다. 따라서 현장상황에 맞게 서버 이용률을 분석하여 적절한 서버 수를 배정하는 것이 중요하다. 만약 서

비 이용률이 1보다 클 경우에는 서버의 수에 비해 고객의 수가 더 큰 것을 나타내므로 서버의 추가가 필요하다는 것을 의미한다.

이와 같은 복수서버대기행렬모델을 통해 기본 성과척도 분석, 확률분석, 경제성 분석 총 3가지의 분석을 실시한다.

3.2.1 복수서버대기행렬모델의 성과척도

성과척도란 대기행렬시스템에 대체로 얼마나 많은 고객이 기다리고 있는지, 대기 고객들은 대체로 얼마나 오래 기다리는지에 대한 상황판단을 위한 척도이다. 위 두 개의 상황 중 첫 번째, 대기행렬시스템에서 기다리고 있는 고객 수의 경우에는 대기행렬 시스템의 서비스 수를 변화시켜 업무의 효율성을 조절할 수 있다. 두 번째, 고객들의 대기시간에 관한 경우 대기행렬에 대기 고객이 얼마나 있는지 보다는 서비스를 받기위해 얼마나 대기해야 되는지가 중요한 차이점이다. 성과척도는 네 가지의 기호로 표현할 수 있다. L =서비스 중인 고객+시스템 내부 평균 고객 수를 나타내며, L_q =서비스 중인 고객을 제외하고 대기행렬의 평균 고객 수, W =각 고객의 시스템 내에서 평균 대기시간(서비스 시간을 포함), 마지막으로 W_q =고객이 대기행렬에서 기다리는 평균 대기 시간(서비스시간은 제외)을 나타낸다. 성과척도를 통해 BIM 인력 수를 조절하면 프로젝트 참여자가 설정한 고객의 최대 대기시간을 초과하지 않도록 설정이 가능하다. 이는 BIM 인력을 투입함에 있어 프로젝트별로 개별적인 관리를 할 수 있다는 것이다.

다음은 확률분석을 통해 대기행렬시스템에서 대기시간에 대한 서비스처리율을 조절할 수 있다. 목표 설정은 P_n (시스템 내에 n 명의 고객이 있을 안정 상태 확률)값을 이용하여 설정할 수 있다. 방법은 주어진 시간에 처리해야 될 고객 수(n)를 설정하여 작업처리에 가장 알맞은 BIM 인력을 설정할 수 있다. 또한 고객이 시스템 내에서 대기하는 시간을 표기 가능한데, 이를 확률변수 $^{\circ}W$ 라 하고, 대기행렬 내에서 고객의 대기시간 확률변수를 $^{\circ}W_p$ 라고 표기한다. 이와 같은 확률변수 $^{\circ}W$, $^{\circ}W_p$ 를 이용하여 확률분포로 나타내면 대기행렬시스템 또는 대기행렬 내에서 적절한 BIM 인력 수를 결정할 수 있다.

이 논문에서 목표를 달성하기 위한 조건으로 2시간 안에 95% 업무를 처리 하도록 설정하여 확률 분석을 실시하였다.

마지막으로 건설 산업은 프로젝트마다 매년 다른 조건에 의해 BIM RFI가 달라진다. 때문에 대기행렬시스템 내부의 대기비용과 BIM 인력의 투입비용 이 두 가지의 적절한 균형이 BIM 인력투입의 경제성 평가에 있어 중요한 요인으로 작용한다. 대기행렬시스템에서 총 비용을 최소화하기 위해서 최소값 $TC(Total Cost)=SC(Service Cost)+WC(Waiting Cost)$ 의 산술식을 이용한다. 서비스비용에 해당하는 $SC=C_s*s(C_s$: 단위시간당 1명의 서버에 대한 비용, s : 서버의 수)이고, 대기비용 $WC=C_w*L(C_w$: 대기행렬시스템내의 각 고객에 대한 대기비용/단위시간, L : 대기행

렬시스템의 평균 고객 수)로 나타낸다. 그리고 WC 는 BIM 인력수 (s)가 처리해야 될 BIM RFI 건수를 구하는데 사용할 수 있다. 다시 말해 BIM RFI 건수를 이용해 프로젝트에 적합한 BIM 인력수를 조절하여 경제성을 높일 수 있게 되는 것이다.

4. 사례 선정 및 BIM 인력 성과 분석 지표 도출

4.1 데이터 수집 및 사례선정

15년 하반기부터 17년 상반기 까지 D기업에서 BIM을 적용한 프로젝트를 대상으로 각 현장의 BIM 인력들이 BIM 월간 보고서를 통해 월마다 보고한 BIM RFI정보를 토대로 데이터를 수집하였다. 그리고 수집된 자료들 중 BIM 인력의 생산성에 관여하는 요인들(현장명, 시공비용, 시설 군, 개월 수, BIM 인력수, 공기지연 방지 활동, 생산성 향상 BIM자료 지원 활동, 물량산출 및 검증 활동)만 간추려 아래 Table 2.처럼 정리해 보았다.

우선 수집된 데이터를 통해 D기업의 국내 BIM프로젝트 시설 분류를 살펴보면, 대규모 공동주택과 Office가 11개 사례 중 8개로 가장 많은 비중을 차지하였고 기타 물류센터, 병원, 호텔이 있었다. 시설비율에서 알 수 있듯이 D기업이 국내에서 가장 많이 수주하고 있는 공동주택과 Office에 BIM을 활용하여 건설관리를 보다 경제적으로 하고자 하는 의도를 알 수 있으며, 이 논문의 분석결과 값이 가치가 있다고 할 수 있다.

실제 사례 프로젝트별로 BIM 인력수는 대부분 과장급으로 1명이 배정 되었으며, 병원처럼 난이도가 있는 프로젝트(Uhm et al., 2013)는 3명의 BIM 인력이 배정되었다. 예외로 Office임에도 불구하고 문래동 오피스 현장의 경우 BIM 인력이 2명이 배정되어 있는데, 이는 BIM 숙련도에 따라 대리급 1명, 사원급 1명으로 타 현장과의 차이점이 파악되었다.

11개의 사례들 중 BIM 인력투입의 성과분석에 적합한 사례를 선정하기 위해서 다음과 같은 조건을 제시하고자 한다. BIM RFI가 많은 사례를 선정하여 선정된 사례 중 같은 형태의 사례들끼리 묶어 분석하고 다른 형태의 사례와 비교분석을 통해 시설 군에서 BIM 인력 투입의 차이점을 알아보고자 한다. 이는 같은 형태의 프로젝트를 비교분석함으로써 유사한 조건에서 BIM 인력의 능력이나 인원에 따라 어떤 차이가 보이는지 파악할 수 있다. 그리고 시설군의 차이가 BIM 인력과 관계성이 있는지 판단이 가능하기 때문이다. 위 조건에 따라 같은 시설군의 프로젝트 3건과, 다른 시설 군 프로젝트 1건을 선정하여 총 4개의 프로젝트를 선정하였고, Table 2.에서 음영으로 표시하였다. 선정된 사례는 Office 형태 프로젝트 3건(프로젝트 E, F, K)과 병원 프로젝트 1건(프로젝트 I)이 해당된다. 이 논문에서 현장 명칭을 프로젝트 E의 경우 Project 1로 명시하였고, 프로젝트 F는 Project 2, 프로젝트 K는 Project 3, 프로젝트 I는 Project 4로 구분하여 사용하였다.

Table 2. Daelim industrial BIM application information

No.	Project name	Construction cost (one million won)	Type	Month	BIM labor	Construction period delay prevention	Productivity improvement BIM data support	Supply input-output and inspection	Total
1	Project A	141,810	Office	6	-	1	33	22	56
2	Project B	79,000	Office	8	1	4	46	5	55
3	Project C	89,600	Office	3	1	0	5	0	5
4	Project D	396,000	Office	13	1	52	43	23	118
5	Project E	103,000	Office	16	2	59	292	30	381
6	Project F	250,000	Office	13	1	105	88	21	214
7	Project G	11,400	Commercial	8	1	6	42	6	54
8	Project H	50,000	Office	15	1	10	138	22	170
9	Project I	305,200	Hospital	17	3	69	184	56	309
10	Project J	514,500	Hotel	14	1	15	87	53	155
11	Project K	121,200	Office	14	1	72	202	63	337

4.2 BIM 인력의 성과지표

앞서 D기업 BIM 인력의 인터뷰를 통해 BIM 인력의 서비스율(μ)을 3건/일로 가정 하였다. 이에 본 연구에서는 BIM 코디네이터의 서비스율은 3건/일, BIM 도면수정자의 서비스율은 1건/일로 업무능력에 따라 다르게 설정하여 BIM 인력투입 성과분석의 신뢰도를 높였다.

Table 3. BIM labor performance index of selected cases

Classification	Project 1	Project 2	Project 3	Project 4
BIM labor period(Day)	352	286	308	374
BIM labor count(s)	2	1	1	3
Average arrival rate(λ)	1.082	0.748	1.094	0.826
Average service rate(μ)	2	3	1	1.67
Server utilization($\rho=\lambda/s\mu$)	0.271	0.249	1.094	0.165
Server efficiency($1-\rho$)	0.729	0.751	-0.094	0.835

BIM 월간 보고서를 토대로 BIM 인력의 성과 분석을 위한 지표는 Table 3.과 같다. BIM 인력의 투입기간은 1개월을 22일(1달을 30일로 보고 휴일 8일을 제외한 일수)로 기준하여 분석하였다. BIM 인력이 단위기간(일) 당 처리한 BIM RF를 건수로 알아본 결과 Project 1은 평균도착률(λ) 1.08건/일로 분석되며, Project 2는 평균도착률(λ) 0.75건/일, Project 3은 평균도착률(λ) 1.09건/일, Project 4는 평균도착률(λ) 0.83건/일로 분석되었다. 이는 프로젝트 시설 군에 차이 없이 시공현장의 BIM RF 요청 건은 차이가 없음을 의미한다.

평균 서비스율(μ)의 경우 Project 1은 BIM 코디네이터 1명, Modeler 1명이 투입되어 $\mu=2$ 건/일, Project 2는 BIM 코디네이터

1명으로 $\mu=3$ 건/일, Project 3은 BIM 도면수정자 1명으로 $\mu=1$ 건/일, Project 4는 BIM 코디네이터 1명, Modeler 2명으로 $\mu=1.67$ 건/일의 결과 값이 나왔다. 실제 사례에서 서비스율(μ)은 인터뷰 결과 값인 3건/일보다 작은 값으로 BIM RF 건수가 비교적 작은 것임을 알 수 있는데, 이런 이유는 BIM RF 요청 건이 적기 때문이라고 판단할 수 있다.

BIM 인력의 투입과 관련된 서버이용률(ρ)을 살펴보면 Project 1, 2, 4의 경우 대리급 이상의 BIM 숙련자가 투입됨에 평균 서버이용률(ρ)이 0.23의 낮은 값으로 분석되었다. 이는 대기행렬이 안전상태에 도달할 수 있는 조건 $\rho < 1$ 을 만족하므로 BIM 인력이 BIM RF들을 매우 원활하게 서비스할 수 있다는 것을 의미한다. 그에 반해 Project 3의 경우 BIM 도면수정자 1명만 투입됨에 따라 서버이용률(ρ)이 1.09로 $1(\rho > 1)$ 을 넘어서 업무역량이 과도한 결과 값으로 분석 되었다.

5. BIM 인력 투입 성과 분석

5.1 성과척도 분석

선정된 4개의 사례를 대기행렬을 이용하여 성과척도를 분석한 결과 Table 4.과 같은 결과 값이 나왔다.

Project 1의 성과척도 값들은 다음과 같다. L 은 0.58건, L_q 는 0.04건, W 는 0.54일, W_q 는 0.04일 이다. 성과척도 값을 해석하면, 2명의 BIM 인력(BIM 코디네이터 1명, BIM 도면수정자 1명)가 투입되었을 때 시스템 내에 있는 평균 BIM RF는 0.58건이고 서비스를 받고 있는 BIM RF를 제외한 대기행렬에 있는 BIM RF는 0.04건으로 BIM RF 건이 도착하자마자 바로 서비스를 받을 수 있는 상황임을 의미한다. 그리고 BIM RF가 수정될 때까지의 평균시간은 하루(8시간 기준)의 0.54%인 약 4.3시간 정도가 소요

됨을 알 수 있다. 전체 적으로 Project 1은 서비스는 원활하게 진행되지만 서비스 대비 시간이 많이 걸린다는 결론을 내릴 수 있다. 여기서 서비스 시간이 서비스 과정에 비해 오래 걸린다는 것이 객관적으로 서비스 시간도 적당한 수준이다.

Table 4. Analysis of BIM labor performance scale for selected cases

Type	Project 1	Project 2	Project 3	Project 4
BIM labor count(s)	2	1	1	3
L	0.584	0.332	(N/A)	0.498
L_q	0.043	0.083	(N/A)	0.003
W	0.54	0.444	(N/A)	0.602
W_q	0.04	0.249	(N/A)	0.004

Project 2의 성과척도 L 은 0.33건, L_q 는 0.08건, W 는 0.44일, W_q 는 0.25일의 결과 값이 분석되었다. 데이터를 해석해보면 BIM 코디네이터 1명이 투입되어 시스템 내에 있는 평균 BIM RFI는 0.33건이고 서비스를 받지 않는 BIM RFI는 0.08건으로 Project 1과 유사하지만 Project 2의 BIM 인력이 좀 더 여유롭다고 해석할 수 있다. BIM RFI의 평균 대기시간 또한 하루(8시간 기준)의 0.44%로 약 3.5시간이 소요되어 Project 1과 비슷한 결론을 내릴 수 있다.

Project 3은 성과척도를 분석하기에 현장 BIM 인력의 업무가 과도하기 때문에($\rho > 1$) N/A(Not Applicable)값으로 분석되었다.

마지막 Project 4의 경우 난이도가 있는 병원현장으로 BIM 코디네이터 1명과 BIM 도면수정자 2명 총 3명으로 가장 많이 배정되었다. Project 4의 성과척도 값은 L 은 0.50건, L_q 는 0.00건, W 는 0.60일, W_q 는 0.00일로 분석되었다. 성과척도 값을 살펴보면 시스템 내부에 있는 BIM RFI는 0.50건, 서비스를 받기 위해 대기하고 있는 BIM RFI는 0건으로 서비스가 Project 1, 2에 비해 매우 빠르게 처리됨을 알 수 있다. 그리고 BIM RFI의 평균 대기시간이 하루(8시간 기준)의 0.60%로 4.8시간이 소요되며 Project 1, 2에 비해 가장 오래 걸리는 것을 알 수 있다. Project 4를 성과척도 값으로 해석해보면, BIM 인력이 총 3명이 배정됨에 따라 BIM RFI 요청인들의 처리는 요청되자마자 바로 처리가 가능하지만, 작업 난이도가 상대적으로 높아 작업 시간은 비교적 오래걸리는 것으로 판단할 수 있다. 하지만 Project 1, 2에 비해 오래 걸린다는 것이 일반적으로 일처리가 여유롭게 진행되고 있다.

5.2 대기시간에 대한 확률 분석

Project 1의 Pn분석 결과는 95% 이상의 시간 동안 시스템 내에 2명 이상의 고객이 없도록 하는 것이 목표일 경우, $P_0+P_1+P_2=0.969 \geq 0.95$ 라는 수식이 성립한다. 다시 말해 만

약 프로젝트 참여자가 BIM RFI를 요청한다면 만족스럽고 빠르게 수정 또는 보완해 줄 수 있다는 것을 의미한다. 또한 확률 $P_0=0.57$ 을 수치적으로 해석하면, BIM 코디네이터와 BIM 도면수정자가 하루에 BIM RFI를 1건도 처리하지 않을 시간에 대한 확률이 57%라는 것을 의미한다. Project 1의 BIM 인력은 BIM RFI 작업 외에 현장의 다른 업무처리 또한 지원이 가능할 만큼 매우 여유롭다고 할 수 있다.

Project 2의 Pn분석 결과 또한 Project 1과 유사하다. 95% 이상의 시간 동안 시스템 내에 2명 이상의 고객이 없도록 하는 것이 목표일 경우, $P_0+P_1+P_2=0.984 \geq 0.95$ 라는 수식이 성립한다. 또한 확률 $P_0=0.75$ 을 수치적으로 해석하면, BIM 코디네이터가 하루에 BIM RFI를 1건도 처리하지 않을 시간에 대한 확률이 75%라는 것을 의미한다. 다시 말해 Project 2 또한 Project 1과 마찬가지로 BIM RFI 작업 이외에 다른 업무의 지원이 가능할 만큼 여유롭다고 할 수 있다. 이와 같은 현상은 Table 5. 확률분포의 분석을 참고해도 같다는 것을 알 수 있다. Table 5.에서 $P(W > 2)_{Project 1, Project 2}$, $P(W_q > 2)_{Project 1, Project 2}$ 의 확률 값은 0.02, 0.01과 0.00, 0.00의 0에 가깝게 분석되었다. 분석 값은 두 프로젝트 모두 차이가 크지 않음을 알 수 있고, BIM RFI의 요청이 도착하자마자 바로 해결하여 대기행렬에 대기하는 요청 건이 없다는 것을 파악할 수 있다. 비록 처리 속도에 비해 요청건수가 상대적으로 높게 나타났지만 0.02, 0.01의 값은 매우 낮은 값에 해당한다.

Table 5. Probability distribution over waiting in the queue system

Type	Project 1	Project 2	Project 3	Project 4
$P(W > 2)$	0.022	0.011	(N/A)	0.036
$P(W_q > 2)$	0.000	0.003	(N/A)	3.416e-06

Project 3의 P_n 분석 결과 값은 서버이용률(ρ)이 1을 넘어 여유를 가질만한 조건이 되지 않기 때문에 확률 값이 나타나지 않는다는 것을 알 수 있다. 이는 성과척도 분석의 결과 값에서 마찬가지로 BIM 인력을 추가 투입하여 서버이용률의 조정이 필요함을 의미한다.

Project 4의 P_n 분석 결과 값은 0.985이고, $P_0=0.61$ 으로 분석되었다. 이는 BIM 코디네이터와 BIM 도면수정자가 하루에 BIM RFI를 1건도 처리하지 않을 시간에 대한 확률이 61%라는 것이다. 확률 분석의 경우 $P(W > 2)_{Project 4}$, $P(W_q > 2)_{Project 4}$ 값이 0.04, 3.416e-06으로 차이가 크게 분석되었다. 두 분석 값을 해석해보면 Project 1, 2에 비해 BIM 인력 수(s)가 3명으로 많음에도 불구하고 확률이 61%로 비교적 높지 않은 이유는 프로젝트의 난이도가 비교적 높기 때문이라고 해석할 수 있다. 그러나 Project 4

의 확률 분석 값 또한 낮기 때문에 BIM 인력이 과다 투입 되었다고 판단할 수 있다.

종합해보면 Project 3을 제외한 나머지 사례는 현장에서 BIM 인력의 업무가 여유롭게 진행되고 있다는 것과, Project 4와 Project 1, 2의 비교를 통해 프로젝트 난이도가 BIM 인력의 투입에 영향을 주는 것을 알 수 있다. 그리고 BIM 인력의 숙련도와 인원을 프로젝트의 상황에 맞게 배정 가능하다는 걸 알게 되었다. 즉 BIM 인력투입을 효과적으로 관리하기 위해서는 BIM RF 처리비용뿐만 아니라 대기비용역시 고려해야 할 필요가 있음을 보여준다.

5.3 BIM 인력투입에 의한 경제성 분석

대기행렬시스템을 이용하여 BIM 인력투입의 경제성 분석에 앞서 이번 논문에서는 BIM 인력의 인건비를 C_s 로 대입하였다. 인건비의 경우 D기업에서 BIM 인력에게 지급하는 급여(BIM 코디네이터: 227,272원/일, BIM 도면수정자: 113,637원/일)를 사용하였고, BIM 인력이 작업 중 대기로 인한 손실비용 C_w 는 BIM 코디네이터의 경력과 유사한 고급기술자 인건비(219,469원/일)를 적용하였다(통계청, 2017).

경제성 분석을 위한 사례 선정은 Project 1, 2의 경우 BIM 코디네이터 1명으로도 BIM RF 요청 건을 충분히 해결 할 수 있기 때문에 BIM 도면수정자 1명이 투입되어 대기비용이 큰 Project 3과, BIM 인력이 과다 투입된 Project 4를 선택하여 분석하였다.

Table 6. Economic analysis of project 3

Server (s)	Server utilization (ρ)	Average number of customers (L)	Server cost (C_s)	Waiting cost (C_w)	Total cost (TC)
1 (Mo)	1.09	N/A	227,272	N/A	N/A
1 (Co)	0.36	0.57	227,272	125,970.14	353,242.14
2 (Mo+Mo)	0.55	1.56	227,272	372,611.54	569,883.54
3 (Co+Mo)	0.27	0.59	227,272	129,755.55	357,027.55

[Cost unit: won], [Co: BIM coordinator, Mo: BIM modeler]

Table 6.에서처럼 Project 3의 경제성 분석의 경우 기존 배정된 BIM 인력의 수가 1명(BIM 도면수정자 1명)이었을 때 BIM RF 요청 건에 대한 처리 시간과 대기시간의 부하가 커 경제성 분석에서 축정이 되지 않았다. 즉, BIM 인력 수를 늘리는 방안이 필요하다고 분석할 수 있다.

BIM 인력의 능력에 따라 BIM 코디네이터와 BIM 도면수정자를 조합하여 분석한 결과 BIM 코디네이터 1명이 투입 되었을 경우 총 비용(Total Cost, TC) 353,242.14원으로 추정되었다. 이 결과 값은 서버 수를 2명(Mo+Mo), 3명(Co+Mo)으로 배정 했을 때의 대기비용 보다 246,641.4원, 3,785.4원의 차이로 가장 경제적인 것으로 판단되었다.

Table 7. Economic analysis of project 4

Server (s)	Server utilization (ρ)	Average number of customers (L)	Server cost (C_s)	Waiting cost (C_w)	Total cost (TC)
1 (Mo)	0.83	4.75	227,272	1,041,847.09	1,269,119.09
1 (Co)	0.28	0.38	227,272	83,386.11	537,930.11
2 (Mo+Mo)	0.41	1.00	454,544	218,561.15	673,105.15
2 (Co+Mo)	0.21	0.43	454,544	94,677.98	549,221.98

[Cost unit: won], [Co: BIM coordinator, Mo: BIM modeler]

Project 4의 경제성 분석은 Table 7.에서처럼 기존 배정된 BIM 인력의 수가 3명(BIM 코디네이터 1명, BIM 도면수정자 2명)이었을 때 대기시간과 처리시간이 여유로웠던 것을 알았다. 때문에 BIM 인력수(서버 수)를 줄여 가장 경제적인 BIM 인력의 조합을 분석해 보았다.

BIM 도면수정자 1명을 투입하였을 경우 BIM 코디네이터 1명이 투입 되었을 때 보다 대기 비용에서 958,460.98원의 추가 금액이 발생하였다. 이 값은 BIM 코디네이터 1명이 훨씬 경제적이라는 것을 나타낸다. 나머지 서버 수 2들(Mo+Mo, Co+Mo)의 경우 서버비용에서 227,272 추가 금액과 더불어 대기비용에서 135,175.04원, 11,291.87원의 추가비용이 발생하였다. 결론적으로 Project 4는 BIM 코디네이터 1명이 배정 되었을 때가 가장 경제적인 것으로 판단할 수 있다.

5.4 BIM 인력투입에 분석결과

복수서버대기행렬을 활용하여 BIM 인력이 BIM RF를 처리하는데 관계되는 BIM 성과분석 결과 프로젝트의 난이도에 따라 BIM 인력의 배치가 고려가 필요하다는 것을 알 수 있었다. 또한 BIM 인력의 능력치에 따라 프로젝트별 BIM 인력수가 달라진다는 것도 확인할 수 있었다. 이는 진행 중인 프로젝트의 특징에 따라 BIM 인력을 효과적으로 조정하여 BIM 인건비에 대한 합리적인 관리를 할 수 있어 BIM활용에 관한 효율성을 증진시킬 수 있다는 장점이 있다.

6. 결론 및 향후 연구 진행 방향

본 논문은 BIM 인력투입에 대한 성과분석을 통해 시공과정에서 어떻게 BIM 인력을 활용하는 것이 효과적인지 분석해 보았다. 특히 BIM 인력의 작업이 BIM 프로젝트의 시공단계에 직접적인 영향을 주는 영향도가 97.5%로 BIM 활용에 있어 BIM 인력관리는 매우 중요하다. 또한 실제 BIM적용 프로젝트 11건 중 유사 프로젝트와의 비교와 시공 난이도에 따른 BIM 인력 성과를 통계학적으로 비교분석 함으로써 명확한 BIM 인력관리 방안을 제시 할

수 있다. 특히 BIM 인력이 BIM RF를 요청 받고 처리하는 과정에서 대기시간이 존재하는데 대기로 인한 비용이 BIM 인력투입을 효과적으로 하는 변수로 작용하였다. 그리고 BIM RF를 해결하기 위해 사용되는 시간을 복수서버대기행렬에 활용함으로써 프로젝트 참여자들에게 현재 BIM 인력의 투입 상태를 수치 값으로 보여주어 본 논문은 신뢰성이 있다.

논문에서 사용된 D기업의 사례 분석을 통해 오피스 프로젝트의 경우 하루 약 0.5건의 BIM RF를 BIM 코디네이터 혼자서 처리가능하다는 것을 알 수 있었다. 그리고 프로젝트의 특성에 따라 차이를 보이겠지만 난이도가 있는 병원의 경우에도 하루 평균 0.5건의 BIM RF를 BIM 코디네이터 혼자서 관리하는 것이 537,930원으로 합리적이라는 결론이 나왔다. 이를 통해 BIM 인력의 투입에 있어 적절한 BIM 인력을 투입하고, 현장의 난이도에 따라 BIM 관리자들의 능력을 효율적으로 활용하는 것 또한 중요하다는 결론을 내릴 수 있다.

지금까지 BIM을 성과 분석함에 있어 BIM 작업 중 가장 큰 비중을 차지하고 있는 BIM 인력의 BIM RF처리를 복수서버대기행렬을 이용하여 분석을 한 결과, 다음과 같은 종합적인 결론을 지을 수 있다. BIM 인력들의 업무능력 및 인원수가 대기시간에 직접적인 영향을 미치며, 성과분석을 통해 프로젝트를 진행함에 있어 BIM 인력투입을 합리적으로 조정할 수 있다.

BIM프로젝트의 경우 대부분 기획 및 계획 부분에서 설계검토의 수정 비율이 큰 비중을 차지한다. 하지만 이번 논문에서는 BIM 월간 보고서의 RF정보를 단계별로 구분하지 않고 일수 대비 전체 건수로 사용한 점에 있어 보다 정확한 BIM 인력 투입에는 한계가 있었다.

References

Barison, M., Santos, E. T. (2010). An overview of BIM Specialists, *Journal of International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, pp. 141–148.

Engineering engineer, labor unit price, National Statistical Office, http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=372&tblId=TX_37201_A000 (2016).

Ham, N. H., Kim, J. J. (2015). A case study on BIM Operating and Performance Measurement in Construction Phase, *Journal of KIBIM*, 5(2), pp. 1–11.

Han, M. G. (2001). A Simulation for Optimum Working Process System at Bank Windows, *Journal of Korea Spatial Information Society*, Masters Thesis, Chonnam National University, pp. 1–48.

Joseph, J. (2011). BIM titles and job descriptions: How do they fit in your organizational structure?. Autodesk University

Kang, T. W., Won, J. S., Lee, G. (2013). A Study on the Development Direction of a BIM Performance Assessment Tool, *Journal of Korea Spatial Information Society*, 21(1), pp. 53–62.

Kendall, D. G. (1953). Stochastic processes occurring in the theory of queues and their analysis by the method of the imbedded Markov chain, *Journal of the Annals of Mathematical Statistics*, pp. 338–354.

Kim, E. J., Kim, J. H., Huh, Y. K. (2016). A Case Study on Practical Uses of BIM in Building Construction, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 32(12), pp. 69–75.

Lee, G., Harrison, K. P., Jong, S. W. (2012). D3 City project—Economic impact of BIM-assisted design validation, *Journal of Automation in Construction*, 22(2012), pp. 577–586.

Neelamkavil, J., S. Ahamed. (2012). The return on investment from BIM-driven projects in construction, Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada: Ottawa, (2012).

Park, C. S., Park, H. T. (2010). Improving Constructability Analysis Tasks by Applying BIM Technology, *Journal of the Korea Institute of Construction Engineering and Management*, 11(2), pp. 137–146.

Park, G. H. (2011). (A) study on the effect of pre-detecting errors using BIM in the pre-construction phase, Masters Thesis, Yonsei University, (2011).

Park, J. S. (2014). A Workflow Time Analysis Applying the Queueing Model, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 23(3), pp. 1–9.

Uhm, M. Y., Park, Y. H., Won, J. S., Lee, G. (2013). A Study on the Development Direction and Priority of the BIM-Based Hospital Design Validation Technology, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, pp. 147–155.