

시공단계 BIM 적용에 의한 재시공 방지 효과분석

Analysis of BIM Impact on Preventing Rework in Construction Phase

이 명 도¹

차 민 수¹

이 응 균^{2*}

Lee, Myung-Do¹

Cha, Min-Su¹

Lee, Ung-Kyun^{2*}

R&D Institute, Yunwoo Technologies Co., Ltd., Gangnam-Gu, Seoul, 06045, Korea ¹

Dept. of Architectural Engineering, Catholic Kwandong University, Gangneung-si, Gangwon-do 25601, Korea ²

Abstract

The purpose of this study is to analyze the effects of applying BIM to the construction phase on preventing rework. Previous studies have presented the contribution of BIM in various ways, but a more practical and reliable analysis methodology are required. In this study, a BIM effect analysis methodology was proposed after collecting requirements on BIM effect analysis from field professionals. In the case study, the rework prevention effect was analyzed based on the proposed methodology. As a result, it was found that BIM application produced the rework prevention effect of approximately KRW 370,519,593. In addition, a consultation with field professionals on the suitability of the proposed methodology and effect analysis results were revealed that the results were sufficiently reliable. The results of this study can be used as efficient basic materials for research on BIM performance measurement in the future.

Keywords : building information modeling(BIM), return on investment(ROI), request for information(RFI), rework

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건설 프로젝트에서 BIM(Building Information Modeling)의 적용이 활발해지고 있다. 조달청은 2016년부터 맞춤형 서비스로 발주하는 모든 사업에 BIM 적용을 의무화하고 있으며, 민간 프로젝트에서는 공동주택 공사에도 BIM을 적용하고자 하는 시도가 이루어질 정도로 그 적용성이 확대되고 있다. 더욱이 시공단계에서도 BIM을 활용한 시공성 검토, 정합성 및 공중 간 간섭 검토, 그리고 공정 및 안전 시뮬레이션 등 다양한 업무들의 적용이 시도되고 있다[1,2,3,4,5,6,7]. 이러한 시공단계에서의 BIM 도입 확대는 전 세계적인 BIM 활성화 기조와 그 적용사례가 축적됨

에 따라 BIM 적용효과에 대한 기대치가 상응하고 있는 결과이다[3,4].

그러나 기존의 사례에서는 BIM 적용에 따른 효과를 명확하게 제공하고 있지는 못한 실정이다[3,4,5]. 즉, 원도급 건설사 등 발주처는 BIM 적용에 따른 효과가 BIM 투입비용을 상회하는지 확인하고 싶으나, 기존 적용 사례에서는 신뢰성 있고 납득할만한 수준의 분석결과를 제공하지는 못하고 있는 것이다. 기존 연구들에서는 BIM 적용효과에 대한 ROI(Return on Investment) 분석을 통해 수치화하여 제공하고 있으나, 분석결과가 140~32,900%로 나타나는 등 프로젝트 특성, 수행업무 그리고 분석방법 등에 따라 매우 상이한 결과로 나타나고 있다[1]. 이러한 결과는 오히려 BIM 적용효과에 대한 혼돈을 야기할 수 있으며, 신뢰성을 저하시키는 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 BIM 적용효과 분석을 위해서는 분석 대상 및 범위를 명확히 하고 분석방법이 발주처 입장에서 납득할 만한 합리적인 수준으로 제공되어야 할 필요가 있다.

한편 시공단계에서의 BIM 주요업무 중 하나인 시공성 및

Received : February 22, 2018

Revision received : March 5, 2018

Accepted : March 13, 2018

* Corresponding author : Lee, Ung-Kyun

[Tel: 82-33-649-7548, E-mail: uklee@cku.ac.kr]

©2018 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

공중 간 간섭검토는 재시공 발생을 사전에 방지하는데 기여할 수 있으며, 이러한 재시공 방지효과는 금액환산을 통해 정량적 수치로 제공할 수 있다[3]. 적용효과에 대한 체계적인 금액환산 과정을 통해 도출한 정량적 수치는 보다 신뢰성 있는 분석결과로 인식되기 때문에[3,4], 다양하고 복합적으로 발생하는 BIM 효과 중에서 정량적 수치로 제공할 수 있는 효과부터 명확하게 구분하여 분석할 필요가 있는 것이다.

이에 본 연구에서는 시공단계에서 재시공 방지에 BIM이 기여한 효과를 분석하여 정량적 수치로 제시하는 것을 목적으로 한다. 본 연구를 통한 효과분석 방법론 및 사례연구결과는 향후 BIM 적용효과 분석을 위한 합리적인 기초자료로 제공될 수 있을 것이며, 궁극적으로 국내 BIM 적용 활성화에 기여할 것이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 시공단계 BIM 적용에 따라 발생하는 다양한 효과 중 재시공 방지 효과에 대한 분석을 범위로 한정하였다. 시공단계에서 BIM 적용에 따른 효과는 재시공 방지, 공기단축, 안전성 향상, 업무효율성 향상 등 다양하게 제시되고 있으나[3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13], 본 연구에서는 그 효과를 정량적으로 수치화하여 직관적으로 제시할 수 있는 재시공 방지를 대상으로 하였다.

이를 위해 재시공 방지 효과분석을 위한 산정식과 이를 바탕으로 효과분석을 체계적으로 수행할 수 있는 방법론을 제시하였다. 이후 사례 연구를 통해 제시된 방법론을 기반으로 사례 프로젝트의 BIM 효과분석을 실시하였으며, 그 결과에 대한 검증은 전문가 자문을 통해 수행하고 논의하였다.

2. 예비적 고찰

전 세계적으로 건설 산업에서 BIM 적용이 활발해짐에 따라 그 적용효과에 대한 연구도 지속적이며 다양한 방법으로 수행되고 있다[4]. 대부분의 초기 연구들은 특정 사례프로젝트에 BIM을 도입함으로써 발생하는 전반적인 효과에 대한 정성적 평가가 주를 이루었다. 반면 최근에는 BIM 적용사례가 축적되고 증가됨에 따라 BIM을 적용하였을 때 발생하는 정량적 효과를 증명하고자 하는 노력이 지속되고 있다 [1,2,3,4,5,6,7].

Azhar et al.[1]은 미국의 Holder Construction사에서 2005년부터 2007년까지 수행한 총 10건의 BIM 프로젝트를

대상으로 BIM 투입 및 절감비용 데이터를 수집하였다. 이를 기반으로 각 프로젝트의 BIM ROI를 분석한 결과 140%에서부터 32,900%까지의 범주 내에서 다양한 분석결과가 도출되었다. Giel et al.[2]은 두 개의 유사 프로젝트를 선정하여 BIM 적용유무에 따른 성과 차이를 분석하였다. BIM 적용 프로젝트의 경우 설계변경 감소 및 공기 단축으로 인해 현장의 직·간접비가 절감되었으며, 이를 기반으로 도출한 BIM ROI는 16~1,654%로 나타났다. Lee et al.[3]은 국내의 대규모 멀티플렉스 신축공사에 적용한 BIM 프로젝트를 대상으로 BIM ROI를 분석하였으며, BIM을 통해 발견한 709개의 설계오류를 재작업 절감비용으로 환산함으로써 22~97%의 ROI값을 도출하였다. 여기에 일정지연 방지에 따른 잠재적 효과를 가산할 경우 ROI는 624~699%로 분석되었다. Sacks et al.[5]는 북미의 50개 현장에 BIM을 적용시킨 후 그 효과를 기존의 2D방식과 비교하여 정량적으로 분석하였다. 분석결과, 작업생산성 증가로 인한 엔지니어링 비용 절감과 간섭확인을 통한 설계오류의 사전감지로 재시공을 방지함으로써 전체 공사비의 2.3%를 절감한 것으로 나타났다. Kuprenas and Mock[6]은 대단위 병원 신축공사를 대상으로 BIM 적용효과에 대하여 측정하였으며, 공중 간 간섭방지, 재시공 방지를 통해 총 약 54억 원의 비용절감 효과가 산출되었다고 분석하였다. Jun and Yun[7]은 시공시물레이션을 위한 객체와 공정 간 연계에 있어 BIM기반의 자동화를 통해 기존 대비 약 7배의 작업효율 향상이 가능한 것으로 분석하였다. 아래 Table 1은 BIM 적용효과를 정량적 수치로 분석한 관련 대표적인 선행연구들을 정리한 것이다.

Table 1. Previous studies on benefit of BIM

Classification	Authors (Year)	Contents
Return on Investment	Azhar et al. [1]	Determine the net BIM savings and BIM ROI through the analysis of 10 construction projects using BIM (BIM ROI 140~32,900%)
	Giel et al. [2]	Determine the BIM ROI through two case studies on two sets of similar project using BIM or not (BIM ROI 16~1,654%)
	Lee et al. [3]	A case study of the use of BIM based on the avoidance costs of rework due to design errors (BIM ROI 22~97%)
Performance measurement	Sacks et al. [5]	Preventing rework by pre-review of design errors (Reduction the overall costs; 2.3 %)
	Kuprenas and Mock [6]	Preventing rework by clash detection (Reduction the overall costs ; 5.4 billion won)
	Jun and Yun [7]	Automation in construction simulations (7 times faster than a traditional method)

기존 선행연구를 살펴보면, 프로젝트의 규모 및 유형에 따라 BIM 업무가 다양하게 적용되고 있어 명확한 대상 및 범위가 설정되어 있지 못하고 있으며, 특히 금액 환산에 있어 간접적인 산정방식으로 인해 그 정확성을 신뢰하기 어려운 한계가 있다. 또한 ROI 분석의 경우 명확한 기준이 없어 도출되는 결과값의 편차가 너무 크게 제시되어 그 활용성이 낮은 것으로 판단된다. 따라서 BIM 효과분석을 위해서는 명확한 대상 및 범위를 설정하고, 금액으로의 환산 등 정량적 수치화를 위한 계산 방식에 있어 객관성 및 신뢰성을 확보할 수 있는 체계적인 방법론이 요구되는 것으로 판단된다.

3. 재시공 방지 효과분석 방법론

3.1 효과분석 기준

재시공 방지 효과분석 결과의 신뢰성 및 활용성 제고를 위해 먼저 효과분석을 위한 기준의 수립이 요구된다. 이를 위해 효과분석 결과를 제공받는 건설사 현장 실무진을 대상으로 자문회의(시기: 2017년 3월)를 실시하였다. 자문회의 대상 실무진은 현재 BIM이 시공단계에 적용되어 진행 중인 프로젝트의 건축 시공 담당 2명, 토목 1명, 설비 3명 등 총 6명으로 구성하였다. 이러한 각 실무진은 현장의 BIM 실무자가 제공하는 사전 시공성 및 간섭검토 보고서(Request for Information; 이하 RFI)를 검토하고 필요시 설계에 반영하며 간섭해결을 위한 공종 간 협의를 담당하고 있다. 따라서 BIM에 대한 이해도가 높고 BIM 효과분석에 대한 필요성을 인지하고 있는 상태이다.

자문결과, 효과분석 기준은 크게 세 가지로 정리된다.

첫째, 효과분석 결과는 반드시 금액으로 산출되어야 한다. 금액산출은 ‘기존 대비 향상 비율 00%’와 같은 방식으로의 결과 제시보다 월등한 직관성이 있으며, 설득력이 높기 때문에 효과분석을 위한 가장 중요한 요구사항으로 제시되었다.

둘째, BIM 적용효과 분석에 있어 BIM이 적용되지 않은 기존의 2D 방식에서도 시공성 문제 및 간섭여부를 사전에 파악할 수 있으며, 문제가 발생하였더라도 재시공 없이 간단한 변경으로도 수정이 가능한 항목들은 재시공 방지 효과분석에서 제외하여야 한다. 즉, BIM을 통해서 시공오류의 가능성이나 간섭사항을 발견하였다 하더라도, 해당 항목이 기존의 2D 방식에서도 발견될 수 있는 항목이라면 이는 온전한 BIM의 효과로는 볼 수 없다는 것을 의미한다. 따라서 적용효과 분석에 있어 BIM이 해당오류를 발견하는데 기여

한 정도를 고려해주어야 한다. 이러한 분석기준들이 고려된다면, 보다 현실적이고 합리적인 BIM 적용효과를 제공하고 효과분석의 정확성을 향상 시킬 수 있을 것이다.

마지막으로, 재시공 방지 효과에 대한 세부 산정 과정 및 내용이 명확하게 제공되어야 한다. 산정과정이 명확하게 제공되고 이에 대해 발주처 및 분석주체간의 양방향 검토가 이뤄진다면 보다 신뢰성 있는 분석결과로 인식 될 수 있을 것이며 그 활용성이 높을 것이라는 의견이었다.

자문결과를 바탕으로, 재시공방지 효과분석 기준을 다음과 같이 도출하였다. 먼저 BIM 적용을 통해 제공된 RFI 검토가 재시공 방지에 효과가 있었을 경우, 그 기여한 정도를 평가할 수 있게 하였다. 이를 통해 기존방식(2D)에서도 사전에 충분히 확인하고 해결 할 수 있는 재시공 사안은 효과분석 대상에서 제외시키고 각 RFI 항목에 대해 BIM 기여도를 반영 할 수 있게 하였다. 또한 RFI 각 건에 대한 원안시공(오시공으로 가정함)비용, 오시공 철거 및 추가작업 비용에 대해 재료비, 노무비, 경비를 직접적으로 계산하여 총 재시공 전적내역을 산출하도록 하였다. 이에 따라 기존 연구에서의 간접적인 산출방식에 비해 보다 정확한 결과를 도출하고, 게다가 산출된 비용은 BIM 기여도를 반영하여 최종 산정되기 때문에 보다 신뢰성 있는 결과로 제공될 수 있을 것이다.

3.2 효과분석 산정식

재시공 방지 효과분석에 대한 현장 실무진 자문을 통해 도출한 효과분석 기준을 반영하여, 다음의 식 (1)과 같이 재시공 방지 BIM 효과분석 산정식을 제시하였다.

$$BIM_{ei} = \sum_{r=1}^n (m_r + l_r + o_r) \times \sum_{r=1}^n c_r \quad \text{-----} \quad (1)$$

where the variables are:

BIM_{ei} : economic impact of BIM on preventing rework

r : RFI number

n : total RFI number

m : material costs(considered intial construction, demolition and additional costs)

l : labor costs(considered intial construction, demolition and additional costs)

o : overheads(considered intial construction,

demolition and additional costs)

c : level of BIM contribution on preventing rework

BIM_{ei} 는 시공단계에서 BIM이 적용되어 프로젝트가 진행될 경우 재시공 방지에 대한 기대효과를 금전적으로 환산할 수 있는 산정식으로 정의할 수 있다. 본 산정식은 시공단계에서 BIM을 기반으로 작성되는 RFI를 대상으로 하여 각 RFI 건에 대해 재시공이 발생할 경우를 가정하는 것으로 해당 건에 대한 재료비(m_r), 노무비(l_r), 경비(o_r)를 산출하고 이에 대한 BIM 기여도(c_r)를 반영하여 각 RFI 건에 대한 재시공 방지 효과비용을 계산하는 방식이다. 이는 해당 프로젝트에 BIM이 적용되지 않았을 경우 발생할 수 있는 재시공 비용으로 제시될 수 있기 때문에, 결론적으로 BIM 적용효과로 제공될 수 있을 것이다.

3.3 효과분석 절차 및 방법

효과분석 기준 및 제시된 산정식을 기반으로 도출한 BIM 적용에 의한 재시공 방지 효과분석 방법에 대한 절차는 다음 Figure 1과 같다.

먼저 1단계에서는 효과분석을 위한 대상 공종 선정, 선정된 공종과 관련한 RFI 수집 및 정리, 설문 대상자 선정 등 설문조사 계획 수립, 그리고 BIM_{ei} 산출을 위한 자재단가, 노임단가 등 기본 정보를 수집하는 단계이다. 이때 각각 RFI에는 BIM 기여도를 평가하기 위해 리커트(Likert)의 5점 등간척도를 적용한 설문 양식이 삽입된다. 이때 각 척도에 대한 정의는 궁극적으로 비용 산정을 결정하게 되는 중요한 요소이기 때문에, 해당 실무진에 대한 자문을 통해 다음과 같이 구분하였다. 먼저 1점은 BIM 사전검토 없이 해당오류 발견이 가능한 사항으로 정의하였다. 즉, 단순한 도면 표기의 오류, 누락 등에 해당하는 항목으로 RFI는 작성되지만 재시공의 확률은 거의 없는 항목에 해당된다. 2점은 BIM 사전검토 없이도 해당오류의 발견이 가능하지만, BIM 사전검토가 유의미한 사항에 해당된다. 이러한 항목들은 각 공종의 통합 BIM 모델 작성 시 발견되는 부분적인 간섭항목으로서 시공 순서상 자연스럽게 발견될 수 있으며 간단한 협의를 통한 도면 수정으로서 해결되는 항목들에 해당된다. 3점은 전체 척도에서 BIM의 기여정도가 중간에 해당되는 항목이다. 3점을 기준으로, 그 이하(1,2점)는 BIM이 적용되지 않은 기존의 방식으로도 해당오류를 쉽게 발견할 수 있거나

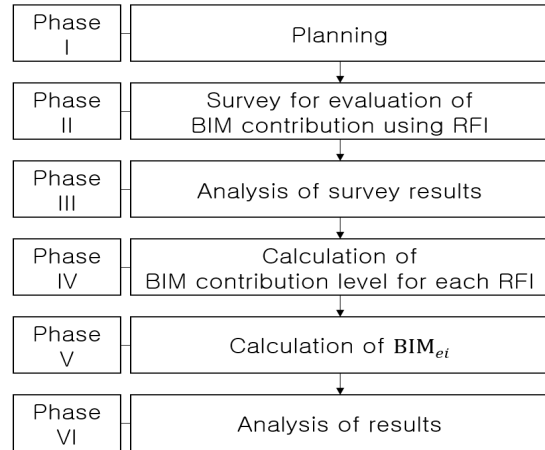


Figure 1. Process of methodology

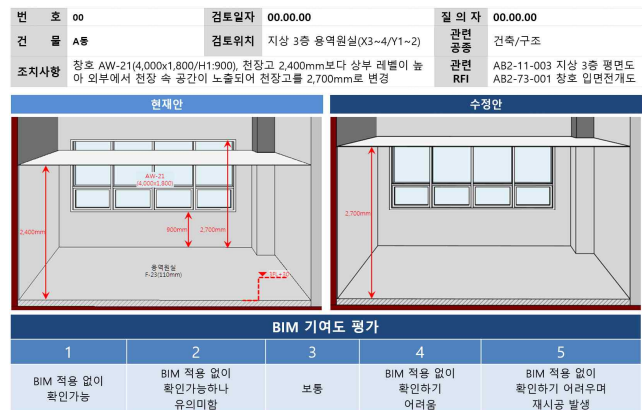


Figure 2. RFI sample

재시공의 가능성이 낮은 것을 의미하며, 그 이상(4,5점)은 BIM을 통한 검토가 비교적 유의미함을 의미하는 것이다. 4점은 BIM 사전검토가 없었으면 해당오류가 발견되기 어렵고 재시공 발생확률이 매우 높은 항목에 해당되며, 마지막으로 5점은 BIM 사전검토가 없었다면, 재시공이 확실시되는 항목으로 설정하였다. 다음 Figure 2는 BIM 기여도 설문 양식이 적용된 RFI 예시이다.

두 번째 단계는 1단계에서 선정된 설문 대상자에게 Figure 2와 같은 해당 RFI를 송부하여 BIM 기여도를 평가하도록 하고, 이를 수집하는 단계이다. 세 번째 단계는 설문조사 결과에 대한 신뢰도 분석, 전체적인 BIM 기여도의 통계값 등을 산출하여 분석하는 단계이다. 네 번째 단계는 설문조사를 통해 수집된 각 RFI의 BIM 기여도에 따라 c_r 값을 산출하는 단계이다. 본 연구에서는 수집된 설문결과 바탕으로 각 기여도에 대한 평균값을 이용하여 c_r 값이 계산되도록 하였으며 본 설문에서는 5점 등간척도를 적용하였기 때문에

기여도의 평균값을 0.8간격으로 하여 c_r 값을 다음 Table 2과 같이 반영하도록 설정하였다.

Table 2. c_r value by level of BIM contribution

Category			c_r value(%)
1.00	≤	avg. ≤ 1.80	0
1.80	<	avg. ≤ 2.60	25
2.60	<	avg. ≤ 3.40	50
3.40	<	avg. ≤ 4.20	75
4.20	<	avg. ≤ 5.00	100

다섯 번째는 본 연구에서 제시된 BIM_{ei} 을 활용하여 해당 프로젝트의 재시공 방지 효과를 산출하는 단계이다. 먼저 각 RFI에 대해 재시공이 발생되었을 것으로 가정하여 원안시공(이때 오시공) 비용, 오시공 철거 및 추가작업 비용에 대해 재료비, 노무비, 경비를 직접 산출한 재시공 견적내역을 작성한다. 이후 해당 RFI의 c_r 값을 적용하여 각 건에 대해 재시공 방지에 대한 효과비용이 산출되게 된다. 이와 같이 식 (1)에 따라 전체 RFI의 효과비용이 합산된 BIM_{ei} 가 최종 산출되게 되며, 이는 해당 프로젝트의 BIM 적용에 따른 재시공 방지 효과분석의 결과가 된다. 마지막 단계에서는 최종 결과값 및 수치에 대한 분석 및 논의과정을 수행하게 된다.

4. 사례 연구

4.1 사례 프로젝트 개요

사례연구를 통해 재시공 방지 효과분석 방법론을 바탕으로 실제 효과분석을 실시해 보고 방법론의 적합성을 논의하였다. 사례 프로젝트는 000 건립공사의 A동 프로젝트의 시공단계이며, BIM이 적용되어 사전 시공성 및 간섭 검토 업무가 진행되고 있는 현장이다. 사례 프로젝트에 대한 개요는 다음 Table 3과 같다.

Table 3. Summary of case project

Category	Description
Project name	ooo project building A
Location	Chungcheongbuk-do, South Koera
Construction type	S/SRC
Construction period	2015.07 ~ 2017.09 (28months)
Gross floor area	25,661.45㎡
BIM scope	Architecture/Structure/MEP BIM Modeling Pre-construction review

4.2 효과분석 수행

4.2.1 계획수립(1단계)

먼저 1단계 절차에 따라, 사례 프로젝트의 효과분석을 위한 대상공종을 선정하였다. 이를 위해 사례 프로젝트에서 작성되고 있는 RFI에 대한 사전검토를 수행하였다. 사례 프로젝트에서 발생된 RFI 건수는 총 237건이며, 건축, 구조, 토목, 조경과 관련한 건수가 127건, MEP와 관련된 건수가 110건 이었다. 실무진 사전 인터뷰 결과, MEP와 관련한 RFI는 도면의 단순오류 및 누락 건이 대부분으로 재시공 방지에는 기여도가 낮을 것으로 판단되어 본 사례연구에서 MEP 부분은 효과분석에서 제외하였다. 따라서 본 연구에서는 건축, 구조, 토목, 그리고 조경 공종을 대상으로 하여 효과분석을 실시하였다. 또한 RFI분석을 통한 BIM 기여도 설문조사의 대상자는 사례 프로젝트의 건축 시공 담당 2명, 토목 1명, 현장 BIM 실무자 1명, 적산 전문가 1명 등 총 5명으로 구성하였다. 구성된 설문 대상자는 현장 BIM 실무자가 제공하는 RFI를 검토하여 필요시 설계에 반영하거나 공종간 협의를 담당하고 있기 때문에 RFI 검토 및 기여도 평가측면에서 보다 신뢰성 있는 결과를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

4.2.2 BIM 기여도 설문 및 분석(2~4단계)

1단계에서 선정된 설문 대상자에게 건축, 구조, 토목, 조경과 관련한 총 127건의 RFI를 제공하고 BIM 기여도 평가 설문을 실시하였다(설문기간: 2017년 8~9월). 설문 대상자의 평가가 완료된 후 각각의 설문 대상자가 평가한 BIM 기여도의 평균값을 계산하였다. 설문결과 BIM 기여도 평균값이 3.40~4.20인 경우가 38건으로 전체에서 30%를 차지하여 가장 높은 분포로 나타났으며, BIM이 적용되지 않은 기존 방식(2D)에서도 해결할 수 있는 수준인 RFI는 전체에서 두 번째로 높은 27%로 나타났다. 그리고 재시공이 확실시 되는 가장 높은 항목은 3건으로 그 비율이 매우 낮았다. 이에 대한 결과는 정리하면 다음 Table 4와 같다.

Table 4. Results of survey

Category			Number	Percentage
1.00	≤	avg. ≤ 1.80	34	27
1.80	<	avg. ≤ 2.60	21	17
2.60	<	avg. ≤ 3.40	31	24
3.40	<	avg. ≤ 4.20	38	30
4.20	<	avg. ≤ 5.00	3	2
Total			127	100

RFI Num. CON-028		중입구 경사로로 변경									
구분	세부내용	품명	규격	단위	수량	단가	금액	금액			
							재료비	노무비	경비		
원안시공	일부경사로+일부계단	경사로설치	W=1200, L=3000	개소	1.0	720,000	720,000	504,000	216,000	0	
		계단설치	W=2000, 3단	개소	1.0	520,000	520,000	364,000	156,000	0	
소계							1,240,000	868,000	372,000	0	
철거		계단철거	W=2000, 3단	개소	1.0	650,000	650,000	0	260,000	390,000	
		경사로설치	W=2000, L=3000	개소	1.0	1,200,000	1,200,000	840,000	360,000	0	
소계							1,850,000	840,000	620,000	390,000	
변경시공	전체 경사로 적용	경사로	W=3200, L=3000	개소	1.0	1,800,000	1,800,000	1,260,000	540,000	0	
소계							1,800,000	1,260,000	540,000	0	

Figure 3. Sample of calculation sheet

4.2.3 BIM 효과산출 및 분석(5~6단계)

본 단계에서는 먼저 각 RFI에 대해 재시공이 발생될 것을 가정하여 원안시공(이때 오시공) 비용, 오시공 철거 및 추가 작업 비용에 대해 재료비, 노무비, 경비를 직접 산출하였다. 이러한 견적내역 작업은 일반적으로 해당현장의 도급 내역서 단가를 기준으로 하고 있으나, 본 사례연구에서는 건설공사 표준 시장단가, 공사 노무비단가를 기준으로 재료비 및 노무비를 적용하여 견적 작업을 진행하였다. 이때 총 RFI 건수 중 c_r 값이 0이 되어 재시공 비용이 발생되지 않는 34건은 제외하고, 총 93건에 대해서만 견적내역을 산출하였다. 내역작업은 20년 이상 경력의 견적 전문가가 수행하여 결과의 신뢰성이 확보되도록 하였으며, 1인이 수행한 한계가 있으나 이는 견적 기준에 일관성이 있는 장점이 있고 반복검토를 통해 오류가 최소화 될 수 있도록 하였다. 아래 Figure 3은 견적 전문가에 의해 수행된 RFI 1건에 대한 원안시공, 철거 및 추가 작업에 대한 산출 내역을 보여준 예이다.

이와 같이 모든 RFI 건에 대해 견적내역을 산출하고 이를 BIM 기여도 평균값으로 구분하여 정리하면, 다음 Table 5와 같다. 전체 RFI에 대해 원안시공 비용이 약 3억 5천백만원이며 이에 대한 해체 및 추가적 비용은 약 3억 1천백만원으로 원안시공 비용의 88.8%로 인 것으로 나타났다. 이 들

을 포함한 총 재시공 비용은 총 663,173,391원이며, RFI 한건 당 평균 재시공 비용은 6,984,457원으로 산출되었다.

그러나 모든 RFI 건이 재시공 될 가능성은 현실적으로 없는 것이 자명하다. 따라서 재시공될 가능성을 고려하기 위해 c_r 값을 적용하여 재시공 비용을 산출하였으며, 결과는 Table 6과 같다.

즉, BIM 기여도 평균값이 1.80~2.60인 RFI 항목들은 재시공이 발생된다면 그 비용이 Table 5의 내용처럼 99,302,460원이 된다. 그러나 실질적으로 발생가능성은 낮기 때문에 그 가능성 정도를 BIM 기여도로 고려하여 c_r 값 25%를 적용하였으며, 이는 Table 6과 같이 24,825,615원으로 산정되었다. 또한 BIM 기여도 평균값이 4.20~5.00인 경우는 총 36,196,000원이며 이는 BIM 적용을 통한 검토가 아니었으면 재시공이 발생되었을 항목으로 c_r 값 100%를 적용하여 원 금액 36,196,000원을 모두 재시공 방지 효과비용으로 반영한 것이다. 따라서 각 항목에 대해 c_r 값을 고려한 최종적인 사례 프로젝트의 재시공방지 효과 BIM_{ei} 는 370,519,593원으로 산출되었다. 이때 RFI 건수는 총 93건으로 RFI 건당 평균 비용은 3,984,082원/건(370,519,593원/93건)으로 산출된다. 여기서 c_r 값이 0인 34건을 포함한 총 RFI 건수는 127건이므로, 사례현장의 RFI 건당 재시공 방지 효과비용은 실질적으로 2,917,477원/건(370,519,593원/127건)으로 최종 산정된다.

4.3 논의

사례 연구에서 BIM 적용을 통해 재시공을 방지한 효과를 비용으로 환산하면 약 3억 7천 만원으로 나타났다. 기존의 연구에서는 BIM 효과에 대해 BIM ROI를 통해 제시하고

Table 5. Results of rework costs

Category	Initial construction costs				Demolition and additional costs				Total			
	Material costs	Labor costs	Overheads	Sum	Material costs	Labor costs	Overheads	Sum	Material costs	Labor costs	Overheads	Sum
1.80 < avg. ≤ 2.60	21,126,092	13,307,288	286,400	34,719,780	34,725,048	27,235,392	2,622,240	64,582,680	55,851,140	40,542,680	2,908,640	99,302,460
2.60 < avg. ≤ 3.40	112,072,980	93,865,164	575,322,206	513,465,626	62,661,174	68,444,775	7,413,467	138,519,415	174,734,153	162,309,938	7,988,789	345,032,881
3.40 < avg. ≤ 4.20	64,243,310	28,505,490	1,334,250	94,083,050	49,469,870	35,752,680	3,336,450	88,559,000	113,713,180	64,258,170	4,670,700	182,642,050
4.20 < avg. ≤ 5.00	10,345,600	5,570,400	-	15,916,000	14,256,000	6,024,000	-	20,280,000	24,601,600	11,594,400	-	36,196,000
Total	207,787,982	141,248,342	2,195,972	351,232,295	161,112,092	137,456,847	13,372,157	311,941,095	368,900,073	278,705,188	15,568,129	663,173,391
Average	2,189,452	1,487,772	23,115	3,700,340	1,695,917	1,447,335	140,865	3,284,117	3,885,369	2,935,107	163,980	6,984,457

Table 6. Result of BIM_{ei}

C _r value(%)	Number	Total			
		Material costs	Labor costs	Overheads	Sum
25	21	13,962,785	10,135,670	727,160	24,825,615
50	31	87,367,077	81,154,969	3,994,395	172,516,440
75	38	85,284,885	48,193,628	3,503,025	136,981,538
100	3	24,601,600	11,594,400	-	36,196,000
Total	93	211,216,347	151,078,667	8,224,580	370,519,593
Average		2,271,144	1,624,502	88,436	3,984,082

있으며 일반적으로 ROI의 산정식은 순수익/투자비용으로 계산된다[1,2,3]. 본 사례 연구에서 ROI를 도출한다면, 재시공 방지 효과비용으로 계산된 약 3억 7천만원을 순수익으로, 투자비용은 BIM 용역비용(약 1억2천5백만원)과 BIM 운영을 위한 시공사(발주처) 인력 지원비용(약 3천만원)의 합으로 약식 적용할 수 있을 것이다. 이때 BIM 용역비용은 시공사에서 발주하여 지불한 BIM 용역대금이며(MEP 제외), 인력 지원비용은 BIM 관리를 위해 투입된 인력(고급 3인, 중급 1인, 초급 1인)에 대한 인건비(엔지니어링 노임단가 기준, 총 28개월, 업무비율 5%)를 적용한 금액이다. 이에 따라 사례현장의 ROI는 약 239%로 계산되며, 이는 ‘시공단계 BIM 적용에 따른 재시공 방지 부분에서의 BIM ROI’로 제시될 수 있을 것이다.

본 연구에서 제시한 재시공 방지 효과분석 방법론 및 산출 결과에 대한 적합성 여부를 검토하기 위해 사례 현장의 실무진을 대상으로 자문을 실시하였다(기존 설문 대상자와 동일). 자문 결과, 본 연구의 방법론, 산출과정에 대한 세부내용 및 결과에 있어 BIM 용역 대가를 지불한 발주처 입장에서 신뢰성 있고 납득할 수 있는 수준의 결과물이라는 긍정적인 의견을 확인할 수 있었다. 추가적으로, BIM 적용에 따른 효과는 재시공 방지뿐만 아니라 시공 이해도 향상, 업무 효율성 향상, 시각적 자료로의 활용 등 다양한 효과가 있기 때문에 이를 종합적으로 고려한 통합 BIM 효과분석이 필요하다는 의견이 있었다. 이는 본 사례연구에서 산출된 금액이 신뢰성을 확보한 금액이지만, 발주처 입장에서는 ‘전체 투입 공사비 대비 00% 향상’ 과 같이 프로젝트 단위의 간단하고 명료한 수치적 결과를 선호하는 경향이 있는 것을 의미한다. 따라서 이를 고려한 종합적 BIM 적용효과의 분석이 요구되고 있는 것으로 나타났다.

5. 결 론

BIM의 적용은 건설산업에 다양한 긍정적 변화를 불러오고 있으며 또한 지속적으로 확대되고 있다. 그럼에도 불구하고 이에 대한 신뢰성 있는 효과분석이 수행되지 못하는 실정이다. 이에 본 연구에서는 BIM 적용에 따른 재시공 방지효과로 한정하여 부분적이지만 보다 신뢰성 있는 결과를 제공할 수 있는 효과분석 방법론을 제시하였다. 이를 검증하기 위해 사례 연구를 실시하였으며, 제시된 방법론에 따라 해당 현장의 BIM 적용에 따른 재시공 방지 효과분석을 수행하고 그 적합성을 검토하였다. 전문가 검증결과 효과비용의 산정 절차 및 그 세부내용이 발주처 입장에서 납득할 수 있는 수준의 적합성을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

향후 연구를 통해 시공단계에서의 종합적 BIM 적용효과를 제시할 수 있는 통합 성과측정 방법론 도출을 위한 연구를 추가적으로 수행할 예정이다. 또한 본 연구는, 1개의 프로젝트만을 사례연구로 하고 설문 대상자가 소수였던 한계가 있기 때문에 지속적인 사례 연구를 수행하여 결과의 신뢰성을 보다 확보 할 수 있도록 할 것이다. 본 연구의 결과는 향후 지속적으로 수행될 BIM 효과분석 연구에 도움을 줄 수 있는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

요 약

본 연구는 시공단계에 적용된 BIM이 재시공 방지에 기여한 효과를 분석하는 것을 목적으로 하였다. 기존 연구에서는 다양한 방법으로 BIM에 대한 적용효과를 제시하고 있으나 보다 현실적이고 신뢰성 있는 분석 방법론이 요구되고 있다. 이에 본 연구에서는 현장 실무자를 대상으로 BIM 효과분석에 대한 요구사항을 수집하고, 이를 반영한 BIM 효과분석 방법론을 제시하였다. 사례 연구를 통해 제시한 방법론을 기반으로 재시공 방지 효과를 분석하였다. 사례현장에서는 BIM 적용을 통해 약 370,519,593원의 재시공 방지 효과가 있는 것으로 분석되었다. 또한 현장 실무진을 대상으로 본 연구에서 제시한 방법론 및 효과분석 결과에 대한 적합성을 자문하였으며 충분한 신뢰성이 있는 결과인 것으로 확인하였다. 본 연구의 결과물은 향후 BIM 성과측정 연구에 효율적인 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

키워드 : 건축정보모델, 투자자본수익률, 자료요청서, 재시공

Acknowledgement

Following are results of a study on the “Leaders in INdustry–university Cooperation+” Project, supported by the Ministry of Education and National Research Foundation of Korea

References

1. Azhar S, Building information modeling(BIM): trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*. 2011 Jul;11(3):241–52.
2. Giel B, Issa RRA, Olbina S. Return on investment analysis of building information modeling in construction. In: Tizani W, editors. *Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*; 2010 Jun 30-Jul 2; Nottingham, UK, Nottingham (UK): Nottingham University Press; 2010. p. 153–8.
3. Lee G, Park KH, Won JS. D3 city project: Economic impact of BIM–assisted design validation. *Automation in Construction*. 2012 Mar;22:577–86.
4. Barlish K, Sullivan K. How to measure the benefits of BIM: a case study approach. *Automation in Construction*. 2012 Jul;24:149–59.
5. Sacks R, Eastman CM, Lee G, Orndorff D. A target benchmark of the impact of tree–dimensional parametric modeling in precast construction. *Journal of the Precast/Prestressed Concrete Institute*. 2005 Jul;50(4):126–39.
6. Kuprenas JA, Mock CS. Collaborative BIM modeling case study: process and results. In: Caldas CH, O’Brien WJ, editors. *Proceedings of the 2009 ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering*; 2009 Jun 24–27; Austin, TX, Reston (VA): ASCE Press; p. 431–41.
7. Jun KH, Yun SH. Performance measurement method and case study for BIM based construction simulation system. *Korea Journal of Construction engineering and Management*. 2013 Jul;14(4):15–23.
8. Kim EJ, Kim JH, Huh YK. A case study on practical using of BIM in building construction. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure and Construction*. 2016 Dec;32(12):69–75.
9. Kim HJ, Yoo MY, Kim JJ, Choi CS. Performance analysis of BIM labor using case analysis. *Journal of Korean Institute of Building Information Modeling*. 2017 Sep;7(3):31–9.
10. Park CS, Park HT. Improving constructability analysis tasks by applying BIM technology. *Korea Journal of Construction engineering and Management*. 2013 Mar;11(2):137–46.
11. Lee SI, Kwon NH, Cho YS. A Case study of BIM–based framework on constructability tasks. *Journal of the Korea Institute on Building Construction*. 2010 Oct;10(5):45–54.
12. Lee JG, Lee HS, Park MS, Kim SY. Selecting quantifiable indicators for evaluating BIM–based design collaboration performance. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning and Design*. 216 Oct;32(10):35–43.
13. Sacks R, Barak R. Impact of three–dimensional parametric modeling of buildings on productivity in structural engineering practice. *Automation in Construction*. 2008 May;17(4):439–49.