

# BIM 엘리먼트-작업항목 연계 마감공사 비용 산정 프로토타입

박상현, 구교진\*  
서울시립대학교 건축공학과

## A Prototype for Cost Estimation of Interior Work using Linked BIM Element-Work Items

Sang-Hun Park, Kyo-Jin Koo\*  
Department of Architectural Engineering, University of Seoul

**요약** 설계안은 설계단계를 거치며 구체화하며, 견적은 설계안을 채택하는 기준으로 활용된다. 실무의 설계와 견적은 업역이 분리되어 있으며, 정확한 견적은 실시설계단계에 도달해야 가능하다. 다수의 이전 연구에서 설계단계에서 다양한 견적 방법들이 제시되었다. BIM을 이용한 견적은 3D 모델로부터 물량산출이 용이하고, 상세수준에 따라 견적에 차이가 있다. 건축가가 생성한 BIM 모델에 의한 견적 결과는 견적 엔지니어에 의한 견적과 차이가 있다. 본 논문은 BIM을 이용한 설계 프로세스에서 건축가가 선정한 설계요소와 견적 엔지니어의 지식이 연계하는 견적 방법을 제안한다. 견적 방법은 선정 엘리먼트와 비선정 작업항목으로 구분하며, 물량과 비용은 개별 수식에 의해 산출한다. 본 연구에서 이와 같이 수행하기 위한 초기 모델로 프로토타입을 개발하였다. 사례를 적용한 결과, 기존 내역서에 포함된 항목은 92.13%가 도출되었으며, 비용의 오차율은 15.47%로 나타났다. 전문가 면담 결과에서 프로토타입은 건축가와 같은 견적 초보자에게 유용하고, 실무적용성을 위해 BIM 모델의 명확한 상세수준 설정이 필요한 것으로 나타났다.

**Abstract** The design alternative was materialized through the design phase, and the estimation could be used as a criterion for adopting the design alternative. The design and estimate of practice are divided into business scopes, and an accurate estimate is possible when the construction document phase is reached. Many studies have presented various cost estimation methods for the design phase. Estimations using BIM facilitate quantity take-off from the 3D model, and there are differences in cost estimation depending on the level of detail. The cost estimation result by the BIM model generated by the designer differs from the cost estimation by the estimator. This paper proposes a cost estimation method that links the design elements selected by the architect and the knowledge of the estimator in the design process using BIM. This approach is divided into selected elements and non-selected work items, and the quantity and cost are calculated by each formula. In this research, a prototype was developed as an initial model to perform in this way. As a result of applying the case, 92.13% of the work items included in the existing bill of quantity were derived, and the cost error rate was 15.47%. From the interviews, the prototypes were useful for estimator beginners like architects who need a precise level of detail of the BIM model for practical applicability.

**Keywords** : Design Phases, Cost Estimation, BIM Element, Work Item, Interior Work

---

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2021R1A2C1095620).

\*Corresponding Author : Kyo-Jin Koo(University of Seoul)

email: kook@uos.ac.kr

Received September 26, 2022

Revised November 2, 2022

Accepted November 4, 2022

Published November 30, 2022

## 1. 서론

설계안의 수정과 변경은 설계 과정에서 반복적으로 발생하고, 견적의 결과는 설계안의 의사결정을 위한 중요한 기준으로 활용된다[1]. 비용 산정은 견적 엔지니어에 의해 수행되고, 건축가에게 어려운 업무 중에 하나로 인식된다[2]. 실무의 견적은 설계 완료 직전에 완성된 설계안으로 비용을 산출하는 분절된 일방향의 프로세스로 진행된다. 건축가는 짧은 기간에 산출된 비용과 예산을 비교하고, 예산을 초과한 설계안은 국부적인 수정과 변경이 수행된다[3]. 즉 건축가는 예산에 맞춘 설계안을 도출하기 위해 자재 변경 또는 사양을 조정한다. 이와 같은 과정은 반복적으로 수행되며[4], 몇 가지 문제를 발생시킨다. 첫째, 2차원 도면 설계와 견적은 변경 및 수정된 일부의 정보가 갱신되지 않거나 누락된다. 도면 간 불일치는 견적 오류의 원인이 되고, 시공단계까지 영향을 준다. 설계안 변경과 수정에 따른 정보의 누락을 방지하기 위한 통합적 관리가 요구된다. 둘째, 건축가의 업무량이 증가하고 설계안의 품질은 낮아진다. 특히 마감공사의 항목들은 다양하고 복잡한 관계로 구성되기 때문에, 자재의 변경 및 조정에 많은 노력과 시간이 수반된다. 충분한 검토가 수행되지 못하면, 자발적으로 잠재적인 재작업 요인들을 양산하는 것과 같다. 변경된 정보의 반영과 비용 산출 및 검토를 위한 방법이 요구된다. BIM은 건설단계별로 다양하게 생성된 정보관리에 유용한 기술로써 많은 연구가 수행되고 있다. BIM 견적 연구는 초기 설계단계에서 개산 견적을 위한 방법들이 많이 수행되었고, 물량산출을 위한 모델 작성기준에 대해 진행되었다. BIM 견적은 엘리먼트에 기초하여 물량과 비용이 산출된다. 그러나 BIM 모델만으로 견적에 필요한 모든 자재의 수량을 도출하지 못하며[5-7], BIM 견적 결과는 신뢰성이 낮아지게 된다. 설계 과정에서 견적 지식이 연계하는 방법이 요구된다. 본 연구의 목적은 건축가가 BIM 설계 진행 중에 스스로 수행할 수 있는 견적 방법을 제안하는 것이다. 설계단계에서 건축가의 의사결정을 신속히 반영한 비용 정보를 제공함으로써 지속적으로 균형적인 설계품질 확보할 수 있다. 사례 분석과 적용은 공간에 따라 다양한 자재가 사용되고 정형화되지 않은 업무시설의 마감공사로 정하였다.

## 2. 문헌 고찰

### 2.1 설계단계 비용 견적

설계단계의 비용 견적은 대부분 계획 및 기획설계 단계에서 활용을 목적으로 개발되었다. 연면적, 건물의 입면 타입 등의 정보로부터 도출된 단일 가격(면적당 단가) 또는 여러 변수를 이용하는 파라미터 모델과 공사비 산정 자료(R.S. means, 표준시장단가)와 같이 비용 지수 기반 모델로 구분된다[8].

파라미터 모델은 계획과 같이 초기 설계단계에서 부족한 설계정보로 인해 일어나는 에러와 생략을 피할 수 있도록 도와준다[9]. 그러나 설계 과정 중에 발생하는 변경 사항을 반영하기 어렵다. 1980년대 이후 컴퓨터 기술의 발전으로 과거 데이터를 이용한 회귀분석, 인공지능망, 유전자 알고리즘, 퍼지 논리 등의 다양한 기법이 비용 추정에 도입되었다. 회귀분석 및 인공지능 기반의 비용 견적 모델은 설계정보가 부족한 설계 초기 단계에서 활용성이 높다. 그러나 회귀분석 기반 비용 견적 방법의 단점은 주어진 과거 데이터에서 가장 적합한 비용 모델 선택을 위한 명확하게 정의된 접근방식이 없다는 것이다[10]. 공사비 산정 자료의 비용 지수 견적 모델들은 설계 도면에서 표현된 주요 항목(자기질 타일, 포천석)과 보조적인 항목(타일 압착붙임)을 포함한 어셈블리 개념이 적용된다. 그러나 어셈블리 개념은 자재, 노무 등 다양한 정보들이 복합적으로 결합하여 건축가들이 직접 비용 추정에 활용은 한계가 있다. 기존 연구들은 초기 설계단계에서 견적을 위한 다양한 방법들이 제시되었다. 확정되지 않은 정보들이 많은 초기 설계단계 적용에 유용하지만, 정보가 상세해지는 기본설계단계부터 적용에 한계가 있다. 설계안의 정보가 상세해져 고려할 요소들이 급격히 증가하기 때문이다. 미국 건축가협회(AIA: The American Institute of Architects)에서 발행한 표준 계약서(B101TM-2007)에는 설계단계별로 추정된 비용을 발주자에게 제출하게 되어 있다. 설계 완료 시기에 도달하면 견적 결과와 예산을 비교할 수 있으며, 발주자는 비교 결과에 따라 건축가에게 재설계를 요구한다. 이와 같은 문제를 사전에 방지하기 위해서는 초기 설계단계에 국한하지 않으며, 설계가 진행되면서 변화된 정보를 수용한 견적 방법이 필요하다.

### 2.2 BIM 기반 비용 견적

BIM 건물은 엘리먼트로 구성되어 있으며, 건물의 전반적인 퍼포먼스에 많은 영향을 미친다[11]. 개별 엘리먼트는 단일 또는 복수의 주요 기능을 제공하는 요소들로 구성된다[11-13]. 엘리먼트는 설계와 견적에 관한 개별 분야의 지식 연계를 위한 중요한 연결고리 역할을 하며,

설계단계에서의 비용 예측을 위한 매개체로 활용될 수 있다. 설계와 견적의 지식을 임베딩하기 위해서는 파라메트릭 모델링 시스템의 벽, 기둥 및 공간과 같은 특정 오브젝트가 필요하며, 이러한 오브젝트는 도메인 적용에 대한 행위(behavior)를 나타낼 수 있다[14].

기존 CAD 기반 견적 방법은 비용보다 건물 엘리먼트의 개별적 속성을 건축가에게 정확히 전달한다는 데 큰 의미가 있다. 또한 엘리먼트의 개별적 속성은 비용에 대한 단일 정보이므로, 수많은 작업항목을 개별적으로 입력해야 한다. 기존 견적은 설계안이 완성된 후 완료되기 이전에 수행되기 때문에, 설계안이 완성되기 이전 또는 진행 중에 의사결정 지원을 위해서는 적합하지 않다 [15-17]. 대안으로서 BIM 견적에 관한 다양한 연구들이 선행되었다. 최근 BIM의 다양한 애플리케이션들의 호환성을 높이기 위하여 견적 정보의 교환과 통합, BIM 적용에 따른 물량산출 또는 견적의 정확도 비교 및 효율성 증대[18,19]에 대한 연구가 수행되었다. BIM을 이용한 견적 자동화 측면에서 효과성 검증[20]과 설계안의 경제성 검토를 지원하는 개산견적 연구[21] 등이 있다. 견적업무 중 물량산출은 견적가에게 중요하기 때문에, 견적 실무 지식을 온톨로지 기반 규칙이 적용된 시스템도 제안되었다[22]. 단순 모델에 의존하여 물량이 산출되는 방법과 달리 견적가의 지식이 반영하여 물량을 산출하며, 본 연구의 동기가 된다. 그러나 견적서 작성을 위해서 필수적인, 시공단계 작업기반 항목들에 대한 물량산출은 고려하지 못한 한계가 있다. 선행연구를 통해 발견한 이점은 수작업에 의한 비용 견적 방법보다 BIM 기반 견적이 효율적이며, 프로젝트의 용역 대가의 감소에 기여한다[23]. 그러나 건축가가 공사비 산정이 가능하기 위해서는 견적 관련 전문지식이 요구되므로 설계 과정에서 활용성이 낮은 한계가 있다.

### 2.3 설계단계별 견적 시점과 설계요소의 특징

#### 2.3.1 설계단계의 견적과 예산 초과

Table 1은 7곳의 설계회사에서 수행한 설계 프로세스를 토대로 도출된 설계업무 프로세스이며, 견적은 계획설계부터 실시설계까지 각 단계에서 수행된다. 계획설계단계는 기획설계의 결정 사항을 발전시켜 처음으로 공사비가 산출된다. 기본설계 단계의 견적은 인허가를 위해서 계획설계의 견적 결과보다 상세해진다. 실시설계 단계의 견적은 최종납품 및 입찰을 위한 상세견적이 수행된다. 견적은 각 설계단계의 완료 이전에 수행되므로, 설계안 개발과정에서 건축가는 비용 정보를 전달받을 기

회 또는 방법이 없다.

Table 1. Primary work performed in design phase

Stage	Primary work
Pre-design	<ul style="list-style-type: none"> <li>- More consultation with the owner than in other design stages</li> <li>- Feasibility analysis of projects</li> <li>- Frequent review and comparison of costs against budgets</li> <li>- More work related to exterior design than interior</li> </ul>
Schematic design	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Development of schematic design alternative based on owner's request</li> <li>- Site analysis, space program, layout plan</li> <li>- Approximate estimates</li> </ul>
Design development	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Collaboration with engineering companies</li> <li>- Completion of design drawings, calculation of approximate costs, preparation of specification</li> <li>- deliberation and permit</li> </ul>
Construction document	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Drawing, discussing and supplementing of engineering company's</li> <li>- Preparation of construction documents</li> </ul>

설계단계에서 견적 결과의 예산 초과 발생 빈도와 원인을 확인하기 위해, 실무경력 3년 이상의 설계실무자 63명 대상으로 설문조사를 실시하였다. Table 2는 예산 초과와 빈도와 원인을 조사한 결과이다.

Table 2. Final design alternative budget overrun frequency and cause

Question	Legend	Survey respondents	
		Count	Percent
Frequency of budget overruns	Always (100%)	29	46.0%
	Often (70%)	25	39.7%
	Sometimes (50%)	1	1.6%
	Occasionally (30%)	5	7.9%
	Never (0%)	3	4.8%
Cause of budget overrun	Lack of cost review method during design	27	45.8%
	Frequent design changes	17	28.8%
	Data inconsistency	8	13.6%
	Rough review of cost	4	6.8%
	Other causes	3	5.1%

조사대상자의 약 85.7%인 53명이 설계안의 견적 결과가 예산을 초과하는 경우가 빈번한 것으로 응답했다. 잦은 설계변경과 공사비 검토 부족이 예산을 초과하는 주요 원인으로 지목되었다. 설문 결과는 설계단계에서의 잦은 공사비 검토 및 설계변경에 적극적으로 대처할 수 있는 도구가 건축가에게 필요함을 의미한다. 설계 대안

들에 대한 공사비 검토가 가능해지면, 예산에 적합한 설계안 작성의 가능성이 커져 초과 횟수도 감소할 수 있다.

### 2.3.2 공간별 부위 마감자재의 재사용성

업무시설은 일반적으로 사용 목적에 따라 형태가 정형화되지 않고 규모의 편차가 크다. 지상층의 기준층은 층별로 동일한 평면이 반복적으로 나타난다. Table 3은 수집된 31개의 사례의 개요정보를 정리한 결과이며, 3장 비선정 작업항목의 물량산출 지식베이스 구축에 활용하였다.

Table 3. Overview of 31 cases

	Gross Area (㎡)	Building area (㎡)	Number of floor		Parking
			Basement	Upper	
Min.	6,017	612	1	5	31
Max.	110,803	11,203	8	39	1,227
Med.	27,151	2,165	4	15	195
Avg.	35,385	3,167	3.9	16.1	284.6
Stdev.	22,368	2,744	2.2	7.7	284.3

수집된 5개 사례의 도면과 내역서를 통해 건축가가 결정한 마감자재의 비용을 비교하였다. 도면은 발주자의 요구사항과 건축가의 경험적 지식을 바탕으로 작성되기 때문에 건축가가 결정한 항목에 해당한다. 분석은 마감 관련 도면과 내역서의 항목을 매칭하여 도출하였다. Table 4는 건축가가 결정한 항목 개수와 비용을 분석한 결과이다. 사례별 전체 항목 대비 건축가가 결정한 항목의 비중은 평균 약 66.14%를 차지하는 것으로 나타났다. 전체 비용합계 대비 금액 비중의 분석 결과는 평균 약 72.7%로 분석되었다. 건축가가 결정한 항목은 사례별

Table 4. The number and cost of selection finish work items by architect

	Work Items			Cost		
	Total (EA)	Select (EA)	Percent (%)	Total (1M KRW)	Select (1M KRW)	Percent (%)
Proj. C	1,778	934	52.5	21,917	11,848	54.1
Proj. D	1,214	819	67.5	19,680	13,493	68.6
Proj. E	720	497	69.0	15,964	13,399	83.9
Proj. F	1,008	677	66.9	11,964	8,524	71.3
Proj. G	297	222	74.8	20,418	17,472	85.6

차이가 있지만, 사례별로 절반 이상의 항목과 금액이 결정된다. 그러나 항목의 약 33.8%와 금액의 약 27.3%는 건축가의 직접적인 의사결정에 영향을 받지 않는다. 따라서 건축가의 결정요소와 결정하지 못하는 요소를 보완한 공사비 산정 방법이 필요하다.

## 3. BIM 견적을 위한 선정 엘리먼트와 비선정 작업항목

BIM은 벽, 바닥, 기둥, 보와 같은 엘리먼트의 조합을 통해 공간과 건물을 구성하는 상향식의 모델링 방법을 따른다. 본 연구의 설계와 견적의 연계에 적용하는 BIM 이용을 위한 요소에 대한 개념 정리가 필요하다. 건축가에 의한 비용 산정을 위한 요소로써 선정 엘리먼트(SE: Seleteted Element)와 비선정 작업항목(NSWI: Non-Selected Work Item)로 구분하였다[24]. 선정 엘리먼트는 다수의 컴포넌트를 포함하며, BIM 모델의 실질적인 구성요소이다. 예를 들면, 수직 구조체 벽으로 구분되는 벽의 마감, 수평 구조체 바닥으로 구분되는 바닥과 천장의 마감이다. 선정 엘리먼트는 설계와 견적의 물리적인 연결 매개체이자 견적 관련 정보를 연계하는 기본 단위로 활용한다. 비선정 작업항목은 BIM 모델에 포함되지 않지만, 견적에 필요한 정보들이다. 비선정 작업항목은 선정 엘리먼트 의해 결정되는 간접 작업항목과 전체 설계요소를 바탕으로 필요에 의해 추가하는 일반작업항목으로 구분한다. 간접작업항목과 일반작업항목은 물량산출 방법에서 선정 엘리먼트의 형상정보(i.e. 길이, 면적, 부피 등)의 이용 여부로 분류하였다. 즉, 간접작업항목은 선정 엘리먼트의 형상정보를 이용하여 물량산출이 가능하고, 일반작업항목은 선정 엘리먼트와 무관하게 통계적 모델을 이용하여 산출되는 특징이 있다. Fig. 1의 공간의 부위별 선정 엘리먼트와 비선정 작업항목을 표현한 것이다. 벽의 선정 엘리먼트는 콘크리트 블록과 수성 페인트로 구성된다. 건축가는 BIM 모델 생성에서 선정 엘리먼트를 활용하며, 다수의 작업항목을 결정하는 효과가 있다. 비선정 작업항목의 간접작업항목은 블록매쉬, 보강근, 스트롱 앵카들로 구성되며, 일반작업항목은 천장 점검구가 해당한다. 선정 엘리먼트와 비선정 작업항목은 내역서에 반영되며, BIM 견적 결과의 신뢰성 향상에 기여할 수 있다.

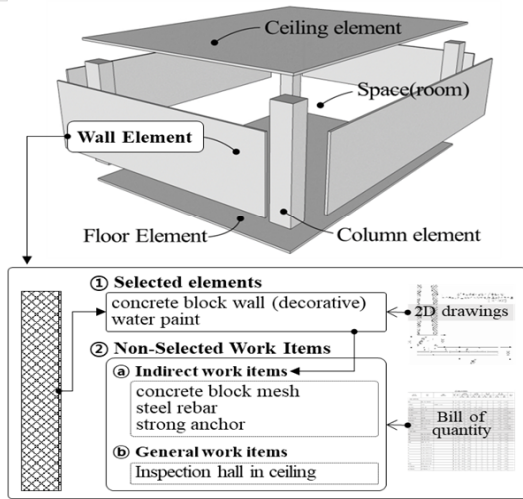


Fig. 1. Selected element and non-selected work items

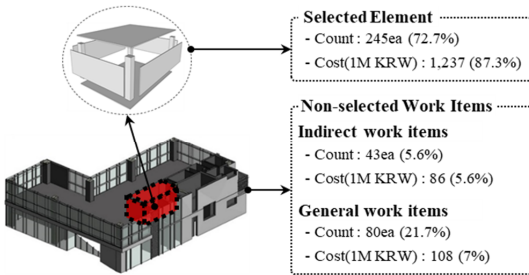


Fig. 2. Status of the number of work items and costs for selected elements and non-selected work items in BIM model

Fig. 1의 선정 엘리먼트와 비선정 작업항목으로 항목의 개수와 비용을 비교하면, BIM 견적에서 비선정 작업항목의 필요성을 명확히 알 수 있다. Fig. 2는 설계사에서 실시설계도서 기준으로 생성한 BIM 모델이며, 선정

엘리먼트와 비선정 작업항목에 해당하는 간접 및 일반 작업항목의 개수 및 비용을 도출하였다. 선정 엘리먼트는 전체 작업항목 개수의 72.7%와 전체 비용의 87.3%로 큰 비중을 차지하지만, 반대로 12.7%의 오차가 있다. BIM 모델에 국한한 견적 결과는 건축가에게 낙관적 정보를 제공하며 잘못된 의사결정으로 이어진다. 비선정 작업항목은 BIM 견적 결과의 정확성과 신뢰성 확보를 위해 중요한 요소이다.

### 3.1 선정 엘리먼트 구축과 합성단가

선정 엘리먼트는 단일 또는 복수의 컴포넌트로 구성되며, 2D 도면에서 자재로 표현된다. 수집된 사례로부터 부위별 컴포넌트에 해당하는 데이터의 추출 및 저장이 필요하다. 마감과 관련된 평면도, 입면도, 단면도와 같은 기본도면과 재료마감표, 마감상세도, 화장실 전개도 등과 같은 상세도면을 활용하였다. 도면에서 추출된 데이터는 엘리먼트 데이터베이스에 저장하며, 부위별로 바닥(93개), 벽(158개), 천정(52개) 등의 테이블로 구성된다.

견적에서 단가는 중요한 요소이며, 목적에 따라 다양하게 적용된다. 본 연구는 설계 과정에서 생성한 설계안의 비용 정보를 토대로 건축가가 비교 및 검토하는 것이 목적이다. 선정 엘리먼트의 컴포넌트는 각각 고유한 단가를 가지며, 컴포넌트를 합한 결과는 선정 엘리먼트의 합성단가이다[25]. 이러한 개념은 이전 비용 견적 연구[26]에서 제시되었으며, 부위 기반 견적 방법에서 주로 이용한다. 예를 들어, Fig. 3에서 벽 엘리먼트는 수성페인트, 합판, 시멘트 벽돌의 3가지 컴포넌트로 구성된다. ‘시멘트 벽돌’의 단가는 콘크리트 벽돌, 드라이모르타르, 조적공, 보통인부, 리프트에 대한 재료비, 노무비, 경비의 일위대가를 포함한다. 이와 같은 방식으로 각 자재의 단가를 산출한다. 합성단가는 BIM 모델의 엘리먼트별 기초 물량과 연계하여 비용을 산출한다.

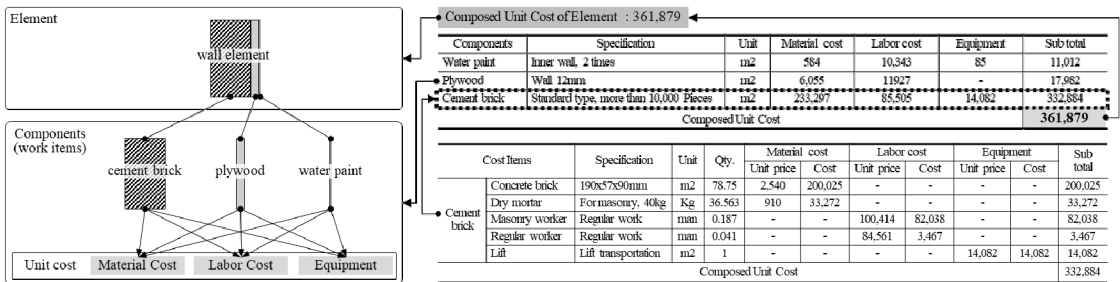


Fig. 3. The composed unit cost of wall element (Concrete brick)

Table 5. General interaction formula based in regression model

Group			Regression models				
Name	Work Item	Primary	Equations	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adi</sub>	
1	Door/ windows	Reinforcement frame on top of window, Installation of awning around exterior window	Fill mortar around windows	$y = -12347.155 + 3.635x_1 + 2206.324x_2 - 0.482x_3 + 1.079x_4$	.927(a)	.860	.798
				$x_1$ : Building area, $x_2$ : Number of basement floor, $x_3$ : Total area of office, $x_4$ : Total area of door/windows			
2	Stair	Stairs non slip, Sign, etc.	Stairs non slip	$Y = -313.356 + 0.007x_1 + 0.685x_2 + 0.151x_3$	.835(a)	.697	.647
				$x_1$ : Lot area, $x_2$ : Floor area ratio, $x_3$ : Total quantity of tiles			
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
19	Furniture	Basin, Shoe rack, Kitchen furniture, Sink, etc.	Basin	$Y = -36.927 + 0.007x_1 + 0.052x_2 - 0.002x_3 + 0.015x_4$	.967(a)	.935	.915
				$x_1$ : Lot area, $x_2$ : Floor area ratio, $x_3$ : Sum of office area, $x_4$ : Total area of porcelain tile			
20	Curtain box	Curtain box installation	Curtain box installation	$Y = 326.75 + 0.921x_1 + 0.096x_2$	.872(a)	.760	.732
				$x_1$ : Number of parking, $x_2$ : Raised floor area			
21	Parking lot	Corner guard, Parking line, etc.	Parking line	$Y = -1063.5 + 574.5x_1$	.980(a)	.960	.919
				$x_1$ : Number of basement floor			

3.2 물량산출 지식베이스 구축

견적 엔지니어의 경험과 항목별 견적 기준은 지식으로써 활용의 가치가 높다. 사례를 분석하여 내역서 작성에 필요한 견적 관련 지식을 도출하였으며, BIM 모델 정보와 연동하는 물량산출식을 구축하였다. BIM의 선정 엘리먼트는 개별 형상 정보로부터 직접 물량을 추출할 수 있다. 형상 정보는 각 엘리먼트의 길이, 높이, 두께, 면적 등의 데이터이자 물리적 형태에 대한 속성정보이므로 별도의 계산식이 필요 없다. 비선정 작업항목은 선정 엘리먼트에 포함되지 못하기 때문에, BIM 모델에서 가시적으로 표현되지 못한다[27]. BIM 모델의 상세수준이 높으면 가능하지만, 높은 상세수준의 BIM 모델을 생성하는 것은 낮은 상세수준의 BIM 모델 생성하는 노력의 2~11배 노력이 요구된다[28].

비선정 작업항목의 물량은 별도의 규칙으로 산출하는 것이 유용하다. 본 연구에서 비선정 작업항목의 물량산출을 위해 간접관계식(IIF: Indirect Interaction Formula)와 일반관계식(GIF: General Interaction Formula)로 구분하였다. 간접관계식은 견적 엔지니어가 작성한 수량산출서의 수식을 참고하여 BIM 특성에 맞춰 공간과 선정 엘리먼트의 형상 정보를 이용하여 개발하였다. 간접관계식은 2개 이상의 공간 및 선정 엘리먼트의 형상정보가 조합한 형태로 구성된다. 예를 들어, 화장실 코너비드의 물량산출식은 공간의 둘레, 개구부의 폭, 타일 벽의 높이로 구성된다. 식 구성요소 중에 개구부의 폭과 타일 벽의 높이는 출입문과 벽의 해당하는 선정 엘리먼트의 형상 정보를 활용해야 산출할 수 있다. 선정 엘리먼트의 산정

식과 비선정 작업항목 중 간접 작업항목의 관계식을 정리하면 Table 5와 같다.

Table 6. Calculation formula(CF) of selection element and indirect interaction formula of NSWI

		No.	Work Items	Formula
SE	CF	1	Terrazzo	Area of element
		⋮	⋮	⋮
		492	Galvanized steel paint	Area of element
		493	Low-emission double-layer glass	Area of element
NSWI	IIF	1	Waterproof caulk (5mm)	Area × (Height - 0.1) ÷ Height
		2	Penetrating waterproofing	Perimeter of room × Waterproof height - ΣOpening area
		3	Baseboard	Perimeter × Height - ΣWidth of opening
		⋮	⋮	⋮
		40	Filling of urethane foam	(Horizontal length + Vertical length) × 2 (from window)
		41	AL. Molding	Perimeter × 1.1

일반관계식은 수집된 31개 사례의 연면적, 건축면적 등의 프로젝트 개요정보를 활용하는 파라메트릭 방법을 적용하였다. 일반 작업항목의 관계식은 매우 다양하고 많으므로 모두 구축하는 것은 한계가 있다. 일반관계식에 필요한 전체 985개 항목을 부위 및 용도별로 도출하여 그룹화하였으며, Table 6은 그룹별로 대표 작업항목

의 일반관계식이다. 예를 들어, 커텐박스의 일반관계식 구축은 일반적인 회귀분석과 같이 진행하였다. 독립변수 간의 다중공선성 문제해결을 위해 후보 독립변수 간 피어슨 상관계수와 분산팽창요인을 검토하여, 대지면적, 연면적 외 10개 항목을 독립변수로 최종 설정하였다. 커텐박스 설치의 최종 회귀모델은 수정결정계수 0.732, 유의확률 0.000으로서 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 다중공선성 측면에서도 모든 입력변수가 공차한계 0.1 이하 또는 분산팽창요인 10 이상의 범위에 포함되지 않는 것으로 분석되었다.

### 4. 엘리먼트 기반 견적 프로토타입

#### 4.1 엘리먼트 기반 견적 프로세스

선정 엘리먼트와 비선정 작업항목을 연계한 BIM 견적 프로세스는 Fig. 4와 같다. 도면 및 수량산출서로부터 선정 엘리먼트 구축에 관한 데이터와 내역서에서 비용 항목별 단가 정보를 추출할 수 있다. 선정 엘리먼트 구축에 필요한 데이터는 엘리먼트 데이터베이스에 저장되며, 단가 정보는 비용 데이터베이스에서 축적된다. 건축가는 BIM 엘리먼트와 작업항목 연계 견적 프로세스를 통해 설계안의 공사비를 산출할 수 있다. 구체적으로, 건축가는 비용 데이터베이스와 엘리먼트 데이터베이스가 연계된 BIM 라이브러리를 이용하여 BIM 모델링을 수행한다. 이후에 산정식과 관계식으로 구성된 물량산출 지식베이스를 통해 선정 엘리먼트 및 비선정 작업항목의 항목별 물량을 산출한다. 선정 엘리먼트의 합성단가와 비선정 작업항목의 개별 단가를 반영한 결과를 공중내역서와 공간내역서의 양식으로 도출한다. 공중내역서는 실무에서 사용되는 기본 양식이며, 공간내역서는 BIM 모델의 공간별 위계를 반영한 내역서이다. 건축가는 공간내

역서를 통해 모델에 대해 공간(실)별로 산출된 물량과 비용을 확인할 수 있으며, 기존 실무에서 활용되는 공중체계의 내역서와 연계하여 활용할 수 있다.

#### 4.2 프로토타입 시스템 인터페이스

건축가가 BIM 모델을 이용하여 설계안 견적을 지원하는 엘리먼트-작업항목 연계 견적시스템 프로토타입을 개발하였다. BIM 모델 도구는 국내의 시장에서 점유율이 높은 Autodesk Revit을 이용하였다[29]. Fig. 5의 프로토타입 주요 인터페이스는 건축가에게 BIM 모델 생성에 필요한 엘리먼트 검색부터 설계안의 견적 기능을 제공한다. Fig. 5의 ①은 BIM 라이브러리 검색 인터페이스이며, BIM 생성에 필요한 엘리먼트의 검색과 BIM 생성 프로그램으로 엘리먼트를 로드시킨다. 건축가는 선정 엘리먼트를 이용하여 BIM 모델을 생성한다. Fig. 5의 ②는 엘리먼트 기반 견적 시스템의 프로타입 중에 엘리먼트 일람표 인터페이스이며, BIM 모델의 정보를 추출하여 입력된다. 건축가는 부위 위계로 정렬된 선정 엘리먼트를 확인하고, 비선정 작업항목을 추가한다. 엘리먼트 일람표에 선정 엘리먼트와 비선정 작업항목의 반영이 완료된 후, 물량산출 지식베이스에 의해 항목별 물량이 산출된다. 마지막 과정은 비용 데이터베이스와 연계하여 비용을 산정하고, 공중과 공간내역서를 각각 출력하여 저장된다.

#### 4.3 프로토타입 테스트 및 검증

프로토타입의 검증은 사례를 적용하여 실무 견적 엔지니어의 산출 결과와 소요시간을 비교하였으며, 추가 설문조사도 실시하였다. 검증을 위한 사례는 대지면적 548.4m<sup>2</sup>에 연면적 5,739.09m<sup>2</sup>의 업무시설이며, 2D CAD와 BIM 설계가 병행된 것으로 선택하였다. 검증의 범위는 정확성과 제한된 시간 안에서 수행하기 위해 기

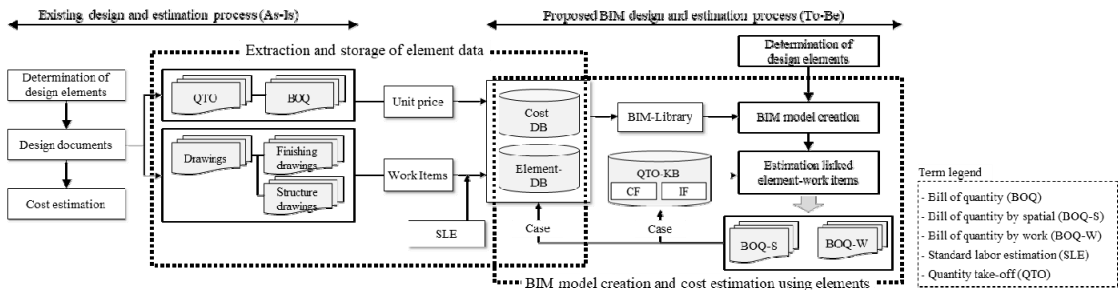


Fig. 4. BIM estimation process linking selected elements and non-selected work items

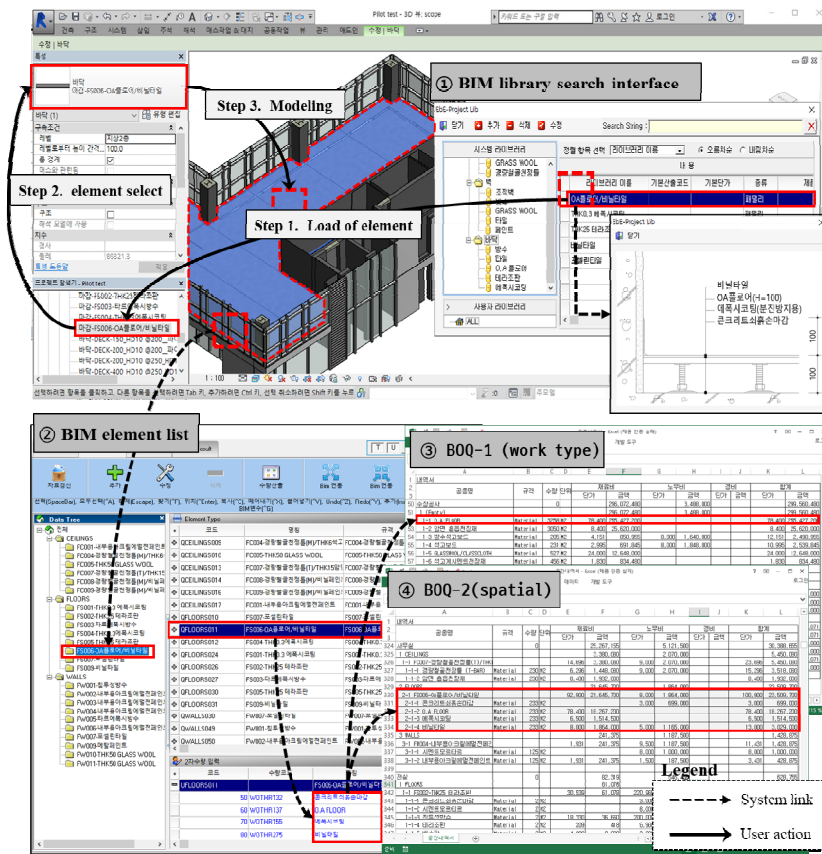


Fig. 5. Prototype linking selected elements and non-selected work items

준층으로 한정하였다. 견적 결과의 차이를 명확하게 비교하기 위해, 검층 사례에 기초하여 작업항목의 개수와 공사비를 추출하였다. 견적 소요시간 테스트는 프로토타입에 BIM 모델 정보의 입력 이전과 기존 견적 방식에서 실별 면적을 산출하는 시점을 기준으로 하였다. 소요시간 측정은 비용 산출이 완료되면 종료하였다. 설문조사는 프로토타입 시연을 통해 편의성, 효용성, 실무적용성을 도출하였다.

#### 4.3.1 작업 항목 완성도와 공사비의 정확도

작업 항목과 공사비의 비교에 활용된 평가는 작업 항목의 완성도와 비용의 정확도이다. 작업 항목의 완성도는 프로토타입에서 도출된 작업항목과 기존 공중 내역서의 항목 개수로 비교하였다. 프로토타입에서 도출된 작업 항목이 기존 공중 내역서와 얼마나 유사한지 확인할 수 있다. 공사비 정확도는 내역서의 공사비와 프로토타입의 추정 비용을 비교한 결과이다. Table 7은 작업 항목의 완성도를 비교한 결과이다. BIM 모델에서 작업 항목

270개(56.3%) 도출되었으며, 비선정 작업 항목을 반영한 후 459개(95.6%)로 증가하였다. 프로토타입에서 BIM 모델로부터 추출된 정보와 비선정 작업 항목의 연계 가능성이 확인되었다.

Table 7. The measured result of completeness

	Number of items				Total of items	Completeness
	Finish		Frame			
	Int.	Ext.	RC.	Steel		
BIM	93	122	22	33	270	56.3%
NSWI	204	175	29	51	459	95.6%
BOQ	213	187	29	51	480	-

Table 8은 프로토타입을 활용한 비용의 정확도에 관한 결과이다. 전체 평균 기준으로 약 5%의 오차율이 발생하였으나, 선정 엘리먼트와 비선정 작업 항목의 연계를 통해 설계안 약 95%에 해당하는 부분을 건축가가 견적할 수 있음을 보여준다. 나머지 약 5%의 오차는 두 가



지 사항이 원인으로 분석되었다. 도면을 바탕으로 내역서를 작성할 때, 견적 엔지니어의 경험과 지식에 따라 작업 항목의 선정에 차이가 있을 수 있으며 이로 인한 비용 차이가 발생할 수 있다. 그리고 일반 관계식은 사례들의 파라미터 평균값을 활용했기 때문에 물량산출에 통계적 오차가 존재할 수 있다.

Table 8. The measured result of accuracy

		BOQ	Prototype	Accuracy
Selected item		1,231,323,968	1,215,316,756	98.7%
Non-WI	Indirect	421,887,581	417,246,818	98.9%
	General	176,493,120	168,903,916	95.7%
Total		1,890,524,234	1,801,467,490	95.3%

### 4.3.2 견적 소요 시간 테스트

건축가와 견적 엔지니어로 구성된 17명의 실무자와 프로토타입의 소요 시간에 대해 비교와 분석을 시행하였다. 테스트 결과는 BIM 견적이 얼마나 유용한지를 인지할 수 있는 정보가 된다. 소요 시간은 물량산출(QTO: Quantity take-off), 일위대가 작성(CB: Cost break down), 내역서(BOQ: Bill of quantity) 구성 단계로 구분하여 측정하였으며, 최종 소요 시간은 각 단계에서 측정된 시간을 합산하였다. 각 실무자에게 견적에 필요한 도면을 제공하고, 계산의 편의성을 위해 Microsoft Excel 2013의 이용을 허용하였다. Table 9의 결과에서 실무자는 평균적으로 약 108분이 소요되었으며, 프로토타입은 총 4분 9초로 측정되었다. 실무자는 물량산출에 가장 많은 시간이 소요되었으며, 프로토타입은 일위대가 구성에 가장 많은 시간이 소요되었다. 프로토타입의 물량산출 결과에 대한 신뢰성이 높다면, 실무의 적용 가능성은 커질 수 있다.

Table 9. Comparison of time taken to derive Bill of quantity

		Interior finish work			Time required
		QTO	CB	BOQ	
Expert	1	60'	30'	20'	110'
	2	40'	15'	15'	60'
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	17	50'	10'	10'	70'
	Avg.	73'	18'	17'	108'
	Stdev	34.5	8.8	4.9	44.9
Prototype		1' 10"	2' 17"	42"	4' 9"

### 4.3.3 실무자 설문조사

견적 소요 시간 측정에 참여한 전문가 그룹을 대상으로 제안된 프로토타입의 견적 방법에 대한 사용성, 효용성, 실무 적용성을 5점 척도 리커드 방식을 이용하여 조사하였다. Table 10은 설문조사를 취합한 결과이며, 사용성이 평균 4.18점으로 가장 높게 나타났다. 3년 이상의 경력자들은 견적의 경험과 지식이 부족한 초급자에게 프로토타입이 더 유용한 것으로 조사되었다. 실무 적용성 측면에서 BIM 모델의 명확한 상세수준의 제시가 필요한 것으로 분석되었다.

Table 10. Survey results on usability, usefulness, and applicability of prototype

Respondents		Usability	Usefulness	Applicability
Beginner (<3years)	7	4.20	4.00	3.80
Intermediate (≥3years)	10	4.18	3.87	3.73
Average		4.18	3.87	3.73

## 5. 결론

설계단계의 견적 결과는 건축가의 의사결정과 설계품질에 미치는 영향은 매우 크다. 견적 관련 지식과 경험이 부족한 건축가는 설계 진행 중에 공사비 산출에 한계가 있다. 본 논문에서는 BIM 설계단계에서 엘리먼트와 작업 항목을 연계하는 새로운 방식의 견적 방식을 제안하였다. BIM과 비선정 작업항목을 구분하고, 산정식 및 관계식을 통해 건축가 스스로 설계안의 견적을 수행한다. 프로토타입은 건축가가 설계를 진행하는 과정에서 조건에 맞는 마감자재 선정과 동시에 설계안의 공사비를 산출할 수 있게 한다. 이를 통해 설계완료 후 추정된 공사비가 예산 초과를 뒤흔게 인지한 상황에서, 국부적인 변경으로 설계안의 균형과 품질을 해치는 관행을 방지한다. 또한 견적 관련 전문지식이 필요한 간접 및 일반작업 항목을 선정 엘리먼트와 연계함으로써 BIM 기반 견적 결과의 완전성과 정확성이 향상되었다.

프로토타입의 검증 결과에서, 항목 및 비용 측면에서 기존 공종 내역서와 비교하여 약 95~96% 수준으로 내역서 구현이 가능했다. 이러한 결과는 선정 엘리먼트와 비선정 작업 항목의 연계를 통해 전체 설계안 작업 항목 중 95%의 공사비를 건축가 스스로 견적할 수 있음을 보

여준다. 사례 프로젝트의 기준층을 대상으로 견적의 소요 시간을 비교한 결과 프로토타입 적용을 통해 전체 소요 시간이 감소하였으며, 사용성과 효용성 및 실무 적용성에 대한 면담 조사에서 의미 있는 결과를 얻을 수 있었다. 프로토타입은 기존과 같이 BIM 엘리먼트를 이용하므로 견적을 위한 별도의 지식을 건축가에게 요구하지 않는다. 다양한 건물의 적용 및 테스트를 통해 프로토타입이 개선된다면, 건축설계 실무에서 주요한 의사결정을 지원하는 도구로 이용할 수 있다.

본 논문에서 제안한 BIM 견적 방법은 특정 설계단계에서 정확도의 한계가 명확했던 기존의 방법들과 차별점이 있다. 기존의 통계적 모델을 BIM 기반 견적 방법에 결합함으로써 BIM 모델의 상세수준에 비례하여 정확도가 개선될 수 있다. 기존 견적 결과에 대한 완성도와 정확도를 비교하기 위해 적용된 업무시설 사례는 마감공사에 한정하여 대표성에 한계가 있다. 향후 연구에서 대표성 확보를 위해 다양한 유형의 사례를 적용할 필요가 있다. 또한 예산과 설계안의 공사비 차이에 대한 해법으로 공사비 조정에 관한 연구가 필요하다.

## References

- [1] S. H. Park, H. J. Park and K. J. Koo, "Schematic Estimate Framework of Finishing Works based on IFC-BIM Knowledge", *Journal of the Korea Academia-Industrial*, Vol.16, No. 6, pp.4176-4184, June 2015. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.6.4176>
- [2] B. J. Hicks, S. J. Culley, and G. Mullineux, "Cost estimation for standard components and systems in the early phases of the design process", *Journal of Engineering Design*, Vol.13, No.4, pp.271-292, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1080/0954482021000050802>
- [3] H. G. Kim, S. C. Park, K. J. Koo, T. H. Hong, C. T. Hyun, "Prototype-based Cost Estimating Model for Building Interior Construction in Design Development Stage", *Korea Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.8, No.4, pp.110-118, 2007.
- [4] K. J. Koo, S. H. Park, S. C. Park, S. K. Song, "Object and Parameter based Schematic Estimation Model for Predicting Cost of Building Interior Finishing", *Korea Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.9, No.6, pp.175-184, December 2008.
- [5] A. Aibinu and S. Venkatesh, "Status of BIM Adoption and the BIM Experience of Cost Consultants in Australia", *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, Vol.140, No.3, pp.1-10, July 2014. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000193](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000193)
- [6] A. Monteiro, and J. P. Martins, "A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design", *Automation in Construction*, Vol.35, pp.238-253, November 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.05.005>
- [7] M. Zhiliang, W. Zhenhua, S. Wu and L. Zhe, "Application and extension of the IFC standard in construction cost estimating for tendering in China", *Automation in Construction*, Vol.20, No.2, pp.196-204, Merch 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.017>
- [8] D. J. Ferry, S. Brandon, and J. D. Ferry. *Cost Planning of Buildings 7th Ed.* Oxford, p.376, Blackwell, 1999.
- [9] E R. Meyer, and T. J. Burns, "Facility Parametric Cost Estimating", *AACE International Transaction*, pp.1-6, 1999.
- [10] J. M. Garza, K. Rouhana, "Neural networks versus parameter-based applications in cost estimating", *Cost Engineering*, Vol.37, No.2, pp.14-18, Feb. 1995.
- [11] A. Murat, "Generation and evaluation of alternatives for building elements", *Building and Environment*, Vol.38, No.5, pp.707-712, May 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00235-4](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00235-4)
- [12] S. Chin, S. Yoon, Y. Kim, J. Ryu, C. Choi and C. Cho, "Realtime 4D CAD=RFID for Project Progress Management", *Construction Research Congress 2005*, CA, USA, pp.1-10, April 2005. DOI: [https://doi.org/10.1061/40754\(183\)33](https://doi.org/10.1061/40754(183)33)
- [13] A. Shapira, "Octree Subdivision of Building Elements", *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol.7, No.4, pp.439-457, October 1993. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(1993\)7:4\(439\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(1993)7:4(439))
- [14] G. Lee, "Key Technologies for Building Information Modeling", *Korea Journal of Construction Engineering and Management*, KOR, pp.145-149, November 2006.
- [15] S. Staub-French, M. Fisher, J. Kunz and B. Paulson, "An Ontology for Relating Features with Activities to Calculate Costs", *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol.17, No.4, pp.243-254, October 2003. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2003\)17:4\(243\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2003)17:4(243))
- [16] D. Koonce, R. Judd, D. Sormaz and D.T. Masel, "A hierarchical cost estimation tool", *Computers in Industry*, Vol.50, No.3, pp.293-302, April 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0166-3615\(03\)00016-2](https://doi.org/10.1016/S0166-3615(03)00016-2)
- [17] S. Karshenas, "Cost Estimating in the Age of 3-D CAD Software and Object Databases", *Construction Research Congress 2005*, CA, USA, pp.1-8, April 2005. DOI: [https://doi.org/10.1061/40754\(183\)120](https://doi.org/10.1061/40754(183)120)
- [18] K. Barlish, K. Sullivan, "How to Measure the Benefits of BIM - A case study approach", *Automation in Construction*, Vol.24, pp.149-159, July 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.02.008>
- [19] S. Lee, K. Kim, J. Yu, "BIM and ontology-based approach for building cost estimation", *Automation in*

*Construction*, Vol.41, pp.96-105, May 2014.

DOI: <https://doi.org/10.1016/i.autcon.2013.10.020>

- [20] S. Zhigang, R. Raja, "Quantitative Evaluation of The BIM-assisted Construction Detailed Cost Estimates", *Journal of Information Technology in Construction*, Vol.15, pp.234-257, Mar. 2010.
- [21] F. K. T. Cheung, J. Rihan, J. Tah, David Duce and E. Kurul, "Early stage multi-level cost estimation for schematic BIM models", *Automation in Construction*, Vol.27, pp.67-77, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.autcon.2012.05.008>
- [22] F. H. Abanda, B. Kamsu-Foguem, J. H. M. Tah, "BIM-New Rules of Measurement Ontology for Construction Cost Estimation", *Engineering Science and Technology, an International Journal*, Vol.20, No.2 pp.443-459, April 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.jestch.2017.01.007>
- [23] S. Azhar, "Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry", *Leadership and Management in Engineering*, Vol.11, No.3 pp.241-252, July 2011.  
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- [24] H. G. Kwak, *Office Building Cost Estimating for Design Phase Linking BIM Element-Work Items*, Master thesis, University of Seoul, Seoul, Korea, pp.58-62, 2017.
- [25] J. H. Yu, *An Effective Method for the Cost of Construction Project using Synthetic Unit Cost*, Master's thesis, Kunsan National University of Architectural Engineering, Gunsan, Korea, pp.24-26, 2006.
- [26] M.C. Yoon, "Architectural Design Considering the Composed Unit Cost of BIM Rough Estimation Research", *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol.29, No.10, pp.131-140, October 2013.
- [27] S. Denerolle, 2013. "The application of target value design to the design phase of 3 hospital projects", Berkeley, CA: Project Production Systems Laboratory, University of California, Berkeley; Jan. 2013.
- [28] F. Leite, A. Akcamete, B. Akinci, G. Atasoy, and S. Kiziltas. "Analysis of modeling effort and impact of different levels of detail in building information models", *Automation in Construction*, Vol.20, No.5 pp.601-609, August 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.autcon.2010.11.027>
- [29] S. Ha, "A study on the BIM Design Process in the Free-form Design Project: Focused on the Dongdaemun Design Plaza(DDP) Project", *The Journal of the Convergence on Culture Technology*, Vol.6, No.2 pp.473-479, May 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.17703/JCCT.2020.6.2.473>

박 상 헌(Sang-Hun Park)

[정회원]



- 2013년 2월 : 서울시립대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 서울시립대학교 일반대학원 건축공학과 (박사과정)

<관심분야>

BIM, 비용관리, 공정관리, 유지관리, 정보관리

구 교 진(Kyo-Jin Koo)

[정회원]



- 2000년 12월 : University of Wisconsin-Madison (공학박사)
- 2002년 2월 ~ 현재 : 서울시립대학교 도시과학대학 건축학부 정교수

<관심분야>

BIM, 설계·시공 통합관리, 문서·지식 관리, 유지관리