

초·중·고등학교 시설물별 추정공사비 산정모델 개발

정의현¹ · 염동준² · 김준상³ · 김영석^{4*}

¹인하대학교 건축공학과 석사 · ²한국건설기술연구원 건설정책연구소 박사후연구원 · ³인하대학교 건축공학과 박사과정 · ⁴인하대학교 건축공학과 교수

Development of Construction Cost Estimation Model for Elementary, Middle and High School Facilities

Jung, Eui-Hyun¹, Yeom, Dong-Jun², Kim, Jun-Sang³, Kim, Young Suk^{4*}

¹Graduate Student, Department of Architectural Engineering, Inha University

²Post-Doctoral Researcher, Department of Construction Policy Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

³Ph.D Student, Department of Architectural Engineering, Inha University

⁴Professor, Department of Architectural Engineering, Inha University

Abstract : Estimated construction cost is an important index to secure an optimal budget which needs to go into construction projects in the previous of basic design phase. In order for public institutions to calculate the estimated construction cost, the cost per unit area of public buildings is used. However, the current calculation method of the estimated construction cost in public buildings is impossible to reflect the characteristics of many facilities and combinations. The purpose of this study is to develop an estimation model in the previous of basic design phase for the elementary, middle and high school facilities. It is expected that it is possible to estimate the construction cost of the elementary, middle and high schools in a reasonable and reliable manner through the estimation model developed in this study.

Keywords : Estimated Construction Cost, Estimation Model, Elementary·Middle·High School, School Facilities

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국가 예산/기금으로 시행되는 건설사업 총사업비는 사업 추진에 소요되는 사업비용의 합을 말하며, 이는 공사비, 보상비, 시설부대경비 등으로 구성된다. 여러 사업추진 단계 중 기본설계 이전단계에서 건설사업에 투입되어야 하는 총사업비 확보를 위해 공공건축물의 사업목적, 용도, 규모 등 구체적인 사업개요가 가시화된 후 산정되는 금액을 추정사업비라 하며, 이 중 공사비 항목을 추정공사비라 한다.

이러한 추정공사비는 건설사업에 투입되어야 하는 적정 예산의 확보를 위해 산정되는 건설공사비 지표로서, 주로 국가 예산 수립의 근거로 활용되거나 건설사업의 설계 및 공사 범위를 결정하는 기준으로 활용된다. 여러 공공기관에서

는 추정공사비 산정을 위한 별도의 기준 및 공사비 정보를 매년 공표하고 있으며, 이러한 기준 및 공사비 정보를 토대로 공종별 물량 및 적정단가 산정을 통해 단위면적(m²)당 공사비를 도출하고, 도출된 단위면적당 공사비를 공공건축물의 추정공사비로 사용하게 된다.

이와 같이 추정공사비는 공공건축물에 대해 건축물 유형별로 단위면적당 공사비를 해당 건축물의 연면적에 곱하는 방식을 활용하고 있으나, 일반청사, 대형청사, 학교 등 일부 공공건축물은 그 시설물의 구성 및 조합이 다양할 수 있어 단위면적당 공사비로 산정하는 획일화된 현행 추정공사비 산정방법으로는 공공건축물 내 시설물별 특성을 반영하고 신뢰성 있는 추정공사비를 산정하는데 한계성을 지니고 있는 것으로 조사 및 분석되었다.

따라서 본 연구에서는 타 시설 유형 대비 발주 빈도수 및 누적 사업비용의 규모가 크고 시설물의 구성 및 종류가 다양한 초·중·고등학교를 대상으로, 현행 방식에 비해 보다 합리적이고도 신뢰성 있게 시설물별 추정공사비를 산출할 수 있도록 하는 추정공사비 산정 방법론을 제시하고자 한다. 이를 위해 초, 중, 고등학교의 시설물별 공사비 실적자료와 다

* Corresponding author: Kim, Young Suk, Department of Architectural Engineering, Inha University, 2S 404, 100 Inha-ro, Incheon, Korea

E-mail: youngsuk@inha.ac.kr

Received April 27, 2021; revised -

accepted May 4, 2021

중회귀분석을 활용하여 초·중·고등학교를 구성하는 개별 시설물별 추정공사비 산정모형을 개발하고 이를 검증함으로써 초·중·고등학교의 시설물별 추정공사비 산정방안을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 다중회귀분석을 활용하여 초·중·고등학교를 구성하는 개별 시설물별 추정공사비 산정모형을 개발하고 이를 검증하는 것으로 연구의 범위를 한정한다. 이를 위한 연구의 방법은 아래와 같다.

1) 국내 공공공사에서의 추정공사비 산정 현황을 조사하여 현행 공공건축물 추정공사비 산정 방법을 분석하고, 기존 산정 방법의 문제점을 도출한다. 또한, 추정공사비 산정 관련 선행연구 분석을 통해 산정모형 개발을 위한 기법을 선정하고 초·중·고등학교 추정공사비 영향요인을 도출한다.

2) 통계적 기법을 활용하여 초·중·고등학교 시설물을 분류 및 검증하고, 초·중·고등학교 시설물별 추정공사비 영향요인을 선정하며, 최종적으로 초·중·고등학교 시설물의 추정공사비 산정 방법론을 제시한다.

3) 제시된 초·중·고등학교 시설물의 추정공사비 산정 방법론에 따라 공사비 실적자료를 수집 및 분류하고, 다중회귀분석을 활용하여 초·중·고등학교 시설물별 추정공사비 산정모형을 개발한다.

4) 개발된 산정모형을 통해 도출된 추정공사비와, 검증자료의 실제공사비, 현행 산정기준을 활용한 추정공사비의 오차율 및 표준편차 분석을 통해 개발된 초·중·고등학교 시설물별 추정공사비 산정모형의 정확성을 검증한다.

2. 예비적 고찰

2.1 추정공사비 정의 및 산정의 필요성

국토교통부에서는 건설사업의 단계를 크게 설계 전 단계, 기본설계 단계, 실시설계 단계, 구매조달 단계, 시공 단계, 시공 후 단계로 나누고 있다. 공공공사의 경우, 정부에서는 설계 전 단계에서 적정 사업규모의 책정, 예비타당성조사, 타당성조사 및 기본계획 수립 등을 수행하고 있으며, 이를 통해 연도별 자금계획을 고려하여 종합예산을 계획하고 총 사업비의 집행계획을 수립하는 업무 등을 수행하고 있다(MOLIT, 2018).

정부에서는 종합예산과 총 사업비를 계획하기 위해서 공공건축물의 사업목적, 용도, 규모 등 구체적인 사업개요가 가시화된 후 경제성 분석 및 경제적 타당성 평가를 통해 개략적으로 총 사업비를 추정하게 된다(MOEF, 2018). 이처럼 개략적으로 산정된 총 사업비를 추정사업비라 하며, 추정사

업비의 구성항목 중 공사비 항목을 추정공사비라 한다.

추정공사비는 적정 예산의 확보를 위해 산정되는 건설공사비 지표로서 주로 국가 예산 수립의 근거로 활용되며, 건설사업의 설계 및 공사 범위를 결정하고, 해당 사업에 투입되는 총 공사비를 예측하기 위한 기준으로 활용된다. 또한, 시공사 및 설계사의 경우 추정공사비는 공사수주를 위한 입찰전략, 합리적인 자금 투자계획, 예산범위 내 합리적인 설계를 위한 자료로서 활용될 수 있다(Kang, 2010).

따라서 발주기관으로 하여금 사업초기에 적절한 예산을 수립할 수 있도록 하고, 합리적인 의사결정을 수행할 수 있도록 하기 위해서는 합리적이고도 신뢰성 있는 추정공사비 산정이 필수적이다. 이에 본 연구에서는 국내 공공공사 추정공사비 산정 방법을 조사 및 분석하여 현행 방법의 문제점을 도출하고, 현행 방법 대비 추정공사비가 보다 합리적이고도 신뢰성 있게 산정될 수 있도록 하는 예측모형을 제시하고자 한다.

2.2 국내 공공공사 추정공사비 산정 현황

조달청, 서울시, 한국감정원 등의 공공기관에서는 건설사업 초기단계에서의 추정공사비 산정을 위한 별도의 기준을 공표하고 있다. 위 3개 공공기관의 산정기준에서는 모두 공공건축물의 단위면적(m^2)당 공사비를 도출하고, 이를 연면적에 곱하여 추정공사비를 산정하는 획일화된 방법이 사용되고 있다. 또한, 추정공사비 산정을 위한 산정기준이 공공건축물의 유형별로 구분되어 있다. 그러나 학교, 일반청사, 대형청사와 같은 일부 공공건축물은 유형 내 시설물의 시공 특성이 상이한 경우가 빈번하여, 획일적으로 공공건축물의 추정공사비를 산정하는 현행 방법으로는 시설물의 특성이 반영된 추정공사비를 산정하는데 한계가 있는 것으로 조사 및 분석되었다. 특히 초·중·고등학교는 발주건수 및 누적 공사금액이 크고, 시설물의 구성 및 종류가 다양한 것으로 조사되었으나(PPS, 2017), 현행 방법의 한계성으로 인해 시설물별 특성이 반영된 합리적인 추정공사비를 산정하기에는 한계성이 있는 것으로 분석되었다.

2.3 추정공사비 산정 관련 선행연구 고찰

선행연구에서는 건설사업 초기단계에서 보다 정확한 공사비 산정의 필요성을 인지하여, 다양한 통계 기법을 활용하여 추정공사비를 산정하는 연구가 수행되었다. 본 연구진은 건설사업 초기단계에서의 추정공사비 산정을 위해 수행된 선행연구를 조사하여 다양한 연구주제 및 통계 기법을 분석하였으며, 초·중·고등학교 시설물을 대상의 선행연구를 중점 조사하여 기 적용된 추정공사비 영향요인을 분석하였다.

2.3.1 건설사업 초기단계 공사비 예측 및 산정모델

추정공사비 산정 관련 연구의 통계 기법에 대한 조사 결과, 건설사업 초기단계의 공사비 예측 및 산정모델 개발연구에서 1)단순회귀분석, 2)다중회귀분석, 3)사례기반추론, 4)인공신경망, 5)유전자 알고리즘 등 다양한 통계 기법이 활용되고 있는 것으로 조사되었다. 이 중 가장 예측력이 높은 통계 기법은 인공신경망이나, 네트워크의 구조를 설계하고 매개변수를 설정하는 직접적인 접근방법이 없고, 추론과정에 대해 설명이 부족하다는 단점이 있는 것으로 분석되었다(Hegazy, 1994). 반면, 다중회귀분석은 수많은 변수들을 고려하기에는 한계가 있지만(Kim et al., 2006), 비교적 예측력이 높으며 모델개발 및 검증을 통해 종속변수와 여러 변수들의 관계에 대한 분석이 가능하다는 장점이 있는 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구에서는 다중회귀분석을 활용하여 초·중·고등학교 내 시설물별 영향요인과 추정공사비의 관계에 대한 분석을 통해 추정공사비 산정모델을 개발하였다.

Table 1. Research result related to construction cost estimation model development

Author	Number of data	Target construction	Method	Purpose
Kang, (2003)	210	Apartment	Simple regression analysis	<ul style="list-style-type: none"> The estimation of construction costs in the early stage of construction project Calculating total construction cost
Kim et al., (2006)	498	Apartment	Neural network, Gene algorithm	<ul style="list-style-type: none"> Statistical technique feature analysis prediction of initial construction cost
Lim, (2010)	15	Apartment	Case-based reasoning, Gene algorithm	<ul style="list-style-type: none"> Development of a construction cost estimation model in the early stage of project Improvement of accuracy through genetic algorithm
Kang, (2010)	61	Steel bridge	Case-based reasoning	<ul style="list-style-type: none"> Analysis of the relationship between construction costs and construction costs Estimation of the optimum cost
Park, (2011)	37	Apartment	Multiple regression analysis, Logistic regression analysis	<ul style="list-style-type: none"> Estimation of construction cost and scope in planning stage Adequacy of results

2.3.2 초·중·고등학교 시설물의 공사비 영향요인

본 연구의 대상인 초·중·고등학교 시설물의 공사비 영향요인을 분석하기 위해 다중회귀분석을 활용한 초·중·고등학교 시설물의 공사비 예측 관련 선행연구를 조사하였다. 선행연구 조사 결과 <Table 2>와 같이, 다중회귀분석을 활용하여 초·중·고등학교 시설물의 공사비 예측모델을 개발한

선행연구 3건이 조사되었다. 상기 선행연구의 공사비 영향요인을 분석한 결과, 조사된 선행연구는 모두 한국건설기술연구원에서 발표되는 건설공사비 지수(KICT, 2019)를 영향요인으로 선정하여 착공년도에 따른 공사비 변동에 대한 영향을 고려하고 있으며, 학교 면적과 같은 사업규모 요인을 영향요인으로 선정한 것으로 분석되었다. 그러나 선행연구는 모두 학교 시설물 중 교사만을 대상으로 연구를 수행하였으며, 이에 따라 교사 외에 다른 개별시설물의 특성 및 영향요인을 고려하지 못하는 한계성을 지니고 있는 것으로 분석되었다.

Table 2. Research result related to construction cost for elementary, middle and high school facilities

Author	Method	Affecting factors
Kim, (2008)	Multiple regression analysis, Gene algorithm	<ul style="list-style-type: none"> Size (ground area, building area, total floor area, number of classes, underground/ground floor area, planned construction period) Construction cost index
Kim, (2011)	Multiple regression analysis	<ul style="list-style-type: none"> Size (Number of classes, student capacity, land area, total floor area) Use (Normal, special, special activity classrooms, management, health and hygiene rooms, gymnasiums, other facilities, shared area) Construction cost index
Lee (2014)	Multiple regression analysis	<ul style="list-style-type: none"> City Scale (Large, Small) Species (Elementary, Middle, High school) Size (Classroom area, Floor area) Construction cost index

3. 초·중·고등학교 추정공사비 산정을 위한 기초연구

3.1 초·중·고등학교 시설물 정의 및 분류

본 연구에서는 초·중·고등학교 시설물의 구분을 정의하고, 초·중·고등학교 시설물별 단위면적당 공사비의 평균 차이가 통계적으로 유의미한지를 검증하여 독립변수로 선정된 시설물들의 분류가 유의미한지를 분석하고자 한다.

3.1.1 교사

본 연구에서 교사는 일반교실, 특별교실, 특수활동교실 등 여러 교실이 포함된 학교 시설물로 정의한다. 학교시설·설비기준령에 따르면 1997년도 이전에는 교사 내에 보통교실, 특별교실, 시청각교실, 도서실, 상담실, 관리용 각실, 보건위생시설 등이 의무적으로 요구됐지만, 현재는 위 법령이 폐지되었다. 이에 따라 교사 외 다수 시설물이 생겼으며, 각 학교의 교사는 규모 및 구성이 다양해졌다.

3.1.2 기숙사

건축법 시행령 제3조의 5에 따르면 기숙사는 공동주택의 하나로서 학교 또는 공장 등의 학생 또는 종업원을 위하여 축조하는 건축물로서 1개 동의 공동취사시설 이용 세대수가

전체의 50퍼센트 이상인 것으로 정의되고 있다. 또한, 기숙사는 대부분의 학교에서 교사 내 시설물이 아닌 별도의 시설물로 사용되고 있다.

3.1.3 정규 체육관

정규 체육관은 실내 경기종목의 경기가 가능한 체육시설로서 바닥 규격이 길이 22m, 폭 13m, 높이 7m 이상으로 체육관, 다목적 체육관, 다목적 강당, 다목적 교실 등 건립당시 명칭에 따라 구분되는 학교 시설물로 정의된다.

3.1.4 실내 체육시설

실내 체육시설은 정규 체육관 규격에 미달되나 교실 면적의 2~3배 크기 이상의 소규모 체육관과 같고, 유도장, 검도장, 탁구장 등 체육활동에 이용되는 학교 시설물로 정의된다. 최근에는 미세먼지 발생빈도가 증가함에 따라 실외 체육활동의 어려움 등 문제점을 개선하기 위해 실내 체육시설의 필요성이 대두되고 있다.

앞서 정의된 초·중·고등학교 시설물의 정의에 따라 아래 <Table 3>과 같이 초·중·고등학교 시설물이 네 가지로 분류되었다. 또한, 학습자료실, 급식소와 같이 교사 내부에 포함될 수 있을 만큼 규모가 작은 시설물은 본 연구의 대상에서 제외하였다.

Table 3. Classification of elementary, middle and high school facilities

Facility type	Detail type	
Educational building	Educational building	Separate building
Dormitory	Dormitory	
Gymnasium	Gym	Multipurpose gym
	Multipurpose hall	Multipurpose classroom
Indoor gymnasium	Indoor gymnasium	Small gym

3.2 초·중·고등학교 시설물 분류에 대한 검증

본 연구에서는 분류된 초·중·고등학교 시설물(교사, 기숙사, 정규 체육관, 실내 체육시설)이 통계적으로 유의미한 차

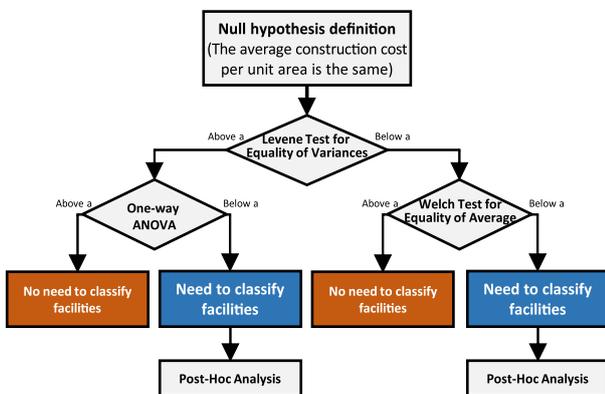


Fig. 1. Process for comparing the average construction cost

이를 가지는지 조사하기 위해, 시설물별 단위면적당 공사비의 평균 차이를 분석하였다. 해당 분석의 귀무가설은 '초·중·고등학교 시설물별 단위면적당 공사비 평균이 같다.'이며, 이를 검증하기 위해 아래 <Fig. 1>과 같은 프로세스를 따라 시설물 분류에 대한 검증을 수행하였다.

3.2.1 초·중·고등학교 시설물별 단위면적당 공사비 자료 분석

본 연구에서는 <Table 4>와 같이 기 발주된 초·중·고등학교 시설물의 공사비 자료 202건(교사 65건, 기숙사 62건, 정규 체육관 45건, 실내 체육시설 30건)을 토대로, 통계분석 프로그램인 PASW statics SPSS 18.0을 활용하여 초·중·고등학교 시설물별 단위면적당 공사비 자료를 분석하였다.

Table 4. Number of construction cost data

Facility type	Number	Ratio
Educational building	65	32.18%
Dormitory	62	30.69%
Gymnasium	45	22.28%
Indoor gymnasium	30	14.85%

아래 <Table 5>는 초·중·고등학교 시설물로 선정된 교사, 기숙사, 정규 체육관, 실내 체육시설의 단위면적당 공사비 자료에 대한 기술통계량을 분석한 결과이다. 기술통계량 분석 결과, 초·중·고등학교 시설물별 단위면적당 공사비 평균은 정규 체육관, 실내 체육시설, 기숙사, 교사 순으로 높으며, 교사 대비 정규 체육관의 단위면적당 공사비 평균이 약 1.5배 높은 것으로 분석되었다. 또한, 변동계수는 정규 체육관(22.96%), 기숙사(22.11%), 실내 체육시설(17.88%), 교사(17.06%) 순으로 높은 것으로 분석되었다. 이는 비교적 시설물 규모 및 용도가 일정한 교사의 공사비 편차에 비해 타 시설물의 공사비 편차가 크기 때문인 것으로 사료된다.

Table 5. Descriptive statistics of construction cost per area

(Unit: ₩1,000)

Facility type	N	Average	Standard deviation	Standard error	Min	Max	Variable coefficient
Educational building	65	1,710	273	34	1,318	3,121	15.96%
Dormitory	62	1,922	425	54	1,060	3,086	22.11%
Gymnasium	45	2,574	591	88	1,292	3,777	22.96%
Indoor gymnasium	30	1,997	357	65	1,378	2,757	17.88%
Total	202	2,010	525	37	1,060	3,777	-

3.2.2 Levene 통계량 검증

초·중·고등학교 시설물별 단위면적당 공사비 평균 비교

는 각 집단의 동분산 여부에 따라 분석 방법이 결정된다. Levene 통계량 검정 결과, 아래 <Table 6>과 같이 유의확률이 0.05 이하로 도출됨에 따라 각 집단의 분산이 동일하지 않은 것으로 판단할 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 초·중·고등학교 시설물별 단위면적당 공사비 평균의 비교를 위해 Welch의 평균의 동질성 검정을 수행하였다.

Table 6. Test result of Levene statistic

Levene statistic	df1	df2	p-value
11.793	3	198	0.000

3.2.3 Welch의 평균의 동질성 검정

Welch의 평균의 동질성 검정 결과, 아래 <Table 7>과 같이 유의확률이 0.05이하로 도출됨에 따라 각 집단의 평균은 동일하지 않은 것으로 판단할 수 있다. 즉, 초·중·고등학교 시설물별 단위면적당 공사비의 평균은 통계적으로 유의미한 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

Table 7. Test result of Welch statistic

Welch statistic	df1	df2	p-value
29.842	3	87.238	0.000

3.2.4 초·중·고등학교 시설물별 단위면적당 공사비 평균에 대한 사후 검정(Multiple Comparisons)

본 연구진은 사후 검정(Multiple Comparisons)을 통해 초·중·고등학교 시설물별 단위면적당 공사비의 평균 차이가 통계적으로 유의미한 것인지를 검증하였다. 사후 검정(Multiple Comparisons) 결과, <Table 8>과 같이 교사, 기숙사, 정규 체육관, 실내 체육시설 상호간 유의확률이 0.05 이하로 도출됨에 따라 단위면적당 공사비 평균 차이가 통계적으로 유의미한 것으로 분석되었다. 단, 기숙사와 실내체육시설은 유의확률이 0.05 이상으로 도출됨에 따라 두 집단간의 평균차이가 통계적으로 유의미하지 않은 것으로 분석되었다. 이에 따라 초·중·고등학교 시설물의 유의미한 구분은 1) 교사, 2)기숙사/실내 체육시설, 3)정규 체육관의 세 가지로

Table 8. Post-test results of the mean of construction cost per unit Area

Facility(i)	Facility(j)	mean difference (i-j)[₩]	standard error [₩]	p-value	95% Confidence interval [₩]	
					Lower limit	Upper limit
Educational building	Dormitory	-212,036	74,489	.047	-422,071	-2,000
	Gymnasium	-864,132	81,372	.000	-1,093,576	-634,688
	Indoor gymnasium	-287,307	92,616	.024	-548,456	-26,159
Dormitory	Gymnasium	-652,096	82,174	.000	-883,800	-420,393
	Indoor gymnasium	-75,272	93,321	.885	-338,408	187,864
Gymnasium	Indoor gymnasium	576,824	98,902	.000	297,951	855,698

정의되었다.

3.3 초·중·고등학교 시설물의 추정공사비 영향요인 선정

본 연구에서 개발하고자 하는 초·중·고등학교 시설물별 추정공사비 산정모델은 건설사업의 초기단계에서 활용되는 것으로서, 이를 위한 영향요인은 기본설계 이전단계에서 도출되는 사업개요를 통해 수집될 수 있어야 한다. 따라서 본 연구진은 초·중·고등학교 시설물의 추정공사비 산정모델 개발을 위한 영향요인을 아래 <Table 9>와 같이 선정하였다.

Table 9. Selected factor

Classification	Detail classification	Scale	Range
School Type	Elementary school	Nominal scale	0, 1
	Middle school		
	High school		
Area	Metropolitan area	Nominal scale	0, 1
	Nonmetropolitan area		
Scale	Total area	Ratio scale	+∞
	Construction period		
	Ground floor		
	Underground floor		
Structure	Reinforced concrete	Nominal scale	0, 1
	Steel		
	Steel framed reinforced concrete		
	Reinforced concrete + steel		
Construction cost index (preapplied)			+∞

3.4 초·중·고등학교의 시설물 조합에 따른 추정공사비 산정 방법론

본 연구에서는 다중회귀분석을 활용하여 시설물별 추정공사비 산정모델을 개발 및 검증하고, 이를 통해 시설물별 추정공사비 산정방안을 제시하고자 한다. 초·중·고등학교 시설물별 추정공사비 산정 방법론은 아래 <Fig. 2>와 같다.

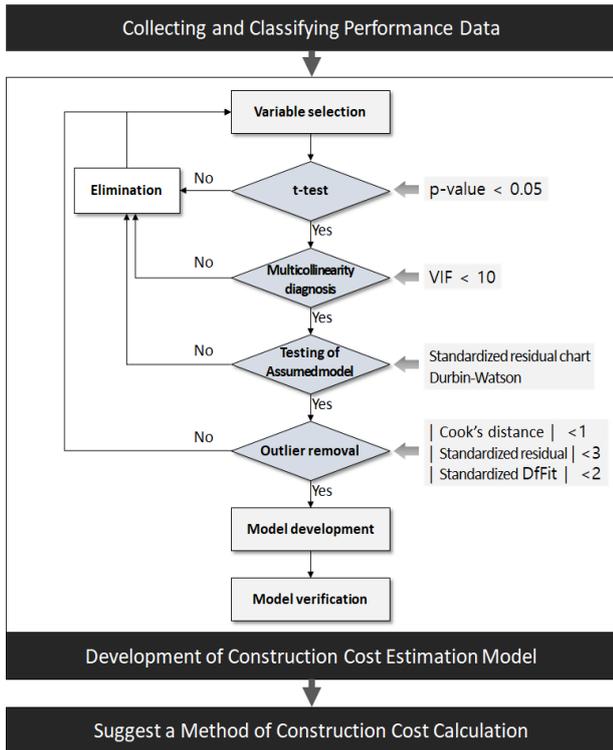


Fig. 2. Methodology for construction cost estimation calculation for elementary, middle and high school facilities

4. 초·중·고등학교 시설물별 추정공사비 산정 모델 개발 및 검증

4.1 실적자료 개요 및 변수선정

본 연구진은 초·중·고등학교 시설물별 추정공사비 산정 모델 개발을 위해 조달청 나라장터 시스템을 통해 초·중·고등학교 시설물별 공사비 실적자료 202개(교사 65개, 기숙사/실내 체육시설 92개, 정규 체육관 45개)를 수집하였다. 수집된 실적자료는 <Table 9>의 영향요인 데이터를 포함하고 있다. 본 연구에서는 수집된 202개의 실적자료 중 추정공사비 산정모델 개발을 위해 실적자료의 70%(교사 46개, 기숙사/실내 체육시설 64개, 정규 체육관 31개)를 무작위 선정하였으며, 연도별로 구분된 실적자료의 일관성을 위해 공사비에 당해연도 건설공사비지수를 적용하였다.

<Table 9>의 영향요인 중 실적자료에서 누락된 영향요인을 제외한 영향요인이 시설물별 추정공사비 산정모델 개발을 위한 주요 변수로서 선정되었다. 또한, 다중공선성 진단을 통해 다중공선성 문제를 발생시키는 변수를 제거하였다. 아래 <Table 10>은 다중회귀분석 수행을 위해 최종적으로 선정된 변수를 나타낸 것이다.

Table 10. Result of Variable selection

Detail Classification	Educational building	Dormitory Indoor gymnasium	Gymnasium
elementary school	X	X	X
middle school	O	O	-
high school	O	O	O
metropolitan area	O	O	O
nonmetropolitan area	X	X	X
total area	O	O	O
construction period	O	O	O
ground floor	O	O	O
underground floor	O	O	-
reinforced concrete	X	X	X
Steel	-	O	-
steel framed reinforced concrete	-	-	O
reinforced concrete + steel	O	O	O

O : Selected, X : Removed, - : Omitted

4.2 다중회귀분석을 활용한 초·중·고등학교의 시설물별 추정공사비 산정모델 개발

4.2.1 교사의 추정공사비 산정모델 개발

본 연구진은 회귀모형의 설명력을 향상시키기 위해, 교사 실적자료 중 이상치로 판단된 1개 자료를 제거하고 <Table 10>에서 선정된 8개 변수를 활용하여 다중회귀분석을 수행하였다. 다중회귀분석 수행 결과, <Table 11>과 같이 후진제거 방식을 통해 유의확률이 0.05 이하인 최종 회귀모형이 도출되었으며, 해당 회귀모형의 Ra^2 는 0.732로 도출되었다. 더빈-왓슨 값은 2.035로 도출되어 해당 회귀모형은 자기상관이 존재하지 않는다고 판단할 수 있다(Durbin, J., 1950).

Table 11. Summary of regression models (Educational building)

Model	R	R ²	Ra ²	Standard error of estimated value	Durbin - Watson
1	0.876a	0.767	0.715	2,204,060,353	-
2	0.876b	0.767	0.723	2,174,558,744	
3	0.876c	0.767	0.730	2,146,430,085	
4	0.875d	0.766	0.736	2,123,055,991	
5	0.872e	0.761	0.737	2,117,396,924	
6	0.870f	0.757	0.739	2,109,805,874	
7	0.862g	0.744	0.732	2,139,477,498	

Selected Variable : (Constant), total area, construction period

교사 최종 회귀모형의 분산분석 결과, <Table 12>와 같이 분산은 7.502×10^{20} 로, 잔차는 1.922×10^{20} 로 도출되었다. 또한, 유의확률이 0.000으로 도출됨에 따라, 교사 최종 회귀모형은 통계적으로 유의하다고 판단할 수 있다.

Table 12. ANOVA Results (Educational building)

Model		Sum of squares	degrees of freedom	Mean squares	F	p-value
After removal	Model	5,580×10 ²⁰	2	2,790×10 ²⁰	60.950	0.000
	Residuals	1.922×10 ²⁰	42	4,577×10 ¹⁸		
	Total	7,502×10 ²⁰	44			

교사 최종 회귀모형의 계수분석 결과, <Table 13>과 같이 종속변수에 미치는 영향도를 나타내는 표준화 계수는 공사 기간 0.233, 연면적 0.816으로 도출되어 연면적, 공사기간 순으로 추정 공사비에 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다.

Table 13. Coefficient analysis results (Educational building)

Model	Non-standardization factor		Standardized coefficients	t	p-value	Multicollinearity	
	B	Standard error				β	Tolerance
(Constat)	-6,228,072,672	3,380,567,616	-	-1.842	0.072	-	
construction period	22,241,027	7,465,028	0.233	2.979	0.005	0.996	1.004
total area	1,486,269	142,639	0.816	10.420	0.000	0.996	1.004

최종적으로, 교사 최종 회귀모형의 비표준화 계수(B) 대입을 통해 개발된 교사의 추정공사비 산정모델은 아래 <식 1>과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Educational building's Estimated construction cost} \\ = -6,228,072,672 + 22,241,027 \times \text{construction period} + \\ 1,486,269 \times \text{total area} \quad (\text{Unit: ₩}) \end{aligned} \quad (1)$$

4.2.2 기숙사/실내 체육시설의 추정공사비 산정모델 개발

본 연구에서는 회귀모형의 설명력을 향상시키기 위해 기숙사/실내 체육시설 실적자료 중 이상치로 판단된 1개 자료를 제거하고 <Table 10>에서 선정된 9개 변수를 활용하여 다중회귀분석을 수행하였다. 다중회귀분석 수행 결과, <Table 14>와 같이 후진제거 방식을 통해 유의확률이 0.05 이하인 최종 회귀모형이 도출되었으며, 해당 회귀모형의

Table 14. Summary of regression models (Dormitory/Indoor gymnasium)

Model	R	R ²	Ra ²	Standard error of estimated value	Durbin - Watson
1	0.979a	0.959	0.952	524,960,585	-
2	0.979b	0.959	0.953	520,088,860	
3	0.979c	0.959	0.954	515,579,802	
4	0.979d	0.959	0.954	511,362,899	
5	0.979e	0.959	0.955	508,065,942	
6	0.979f	0.958	0.955	508,556,619	
7	0.978g	0.956	0.954	514,114,076	

Selected Variable : (Constant), total area, construction period, ground floor

Ra²는 0.954로 도출되었다. 더빈-왓슨 값은 2.005로 해당 회귀모형은 자기상관이 존재하지 않는 것으로 판단할 수 있다.

기숙사/실내 체육시설 최종 회귀모형의 분산분석 결과, <Table 15>와 같이 분산은 3.404×10²⁰로, 잔차는 1.559×10¹⁹로 도출되었다. 또한, 유의확률이 0.000으로 도출됨에 따라, 기숙사/실내 체육시설 최종 회귀모형은 통계적으로 유의하다고 판단할 수 있다.

Table 15. ANOVA Results (Dormitory/Indoor gymnasium)

Model		Sum of squares	degrees of freedom	Mean squares	F	p-value
After removal	Model	3.404×10 ²⁰	3	1,135×10 ²⁰	429.247	0.000
	Residuals	1.559×10 ¹⁹	59	2,643×10 ¹⁷		
	Total	3.560×10 ²⁰	62			

기숙사/실내 체육시설 최종 회귀모형의 계수분석 결과, <Table 16>과 같이 종속변수에 미치는 영향도를 나타내는 표준화 계수는 공사기간 0.095, 지상층수 -0.137, 연면적 0.996으로 도출되어, 연면적, 지상층수, 공사기간 순으로 추정공사비에 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다.

Table 16. Coefficient analysis results (Dormitory/Indoor gymnasium)

Model	Non-standardization factor		Standardized Coefficients	t	p-value	Multicollinearity	
	B	Standard error				β	Tolerance
(Constant)	-238,309,877	340,282,036	-	-0.700	0.486	-	
construction period	4,725,415	2,357,432	0.095	2.004	0.050	0.330	3.030
ground floor	-274,618,882	82,788,637	-0.137	-3.317	0.002	0.437	2.290
total area	1,854,167	93,229	0.996	19.888	0.000	0.296	3.381

최종적으로, 기숙사/실내 체육시설 최종 회귀모형의 비표준화 계수(B) 대입을 통해 개발된 기숙사/실내 체육시설의 추정공사비 산정모델은 아래 <식 2>와 같다.

$$\begin{aligned} \text{Dormitory / Indoor gymnasium's Estimated construction cost} \\ = -238,309,877 + 4,725,415 \times \text{construction period} \\ - 274,618,882 \times \text{ground floor} + 1,854,167 \times \text{total area} \quad (\text{Unit: ₩}) \end{aligned} \quad (2)$$

4.2.3 정규 체육관의 추정공사비 산정모델 개발

정규 체육관의 경우 실적자료 중 이상치로 판단된 자료가 없어 모든 실적자료가 다중회귀분석을 위한 자료로 활용되었으며, <Table 17>과 같이 후진제거 방식을 통해 유의확률이 0.05 이하인 최종 회귀모형이 도출되었다. 본 회귀모형의 Ra²는 0.712로 도출되었으며, 더빈-왓슨 값은 1.837로 자기상관이 존재하지 않는다고 판단할 수 있다.

Table 17. Summary of regression models (Gymnasium)

Model	R	R ²	Ra ²	Standard error of estimated value	Durbin - Watson
1	0.875a	0.766	0.694	521,563,834	-
2	0.874b	0.764	0.705	512,255,215	-
3	0.872c	0.761	0.713	505,548,723	-
4	0.866d	0.750	0.712	506,227,321	-
5	0.860e	0.740	0.712	506,691,190	1.837

Selected Variable : (Constant), total area, reinforced concrete + steel, construction period

정규 체육관 최종 회귀모형의 분산분석 결과, <Table 18>과 같이 분산은 1.977×10¹⁹로, 잔차는 6.932×10¹⁸로 도출되었다. 또한 유의확률이 0.000으로 도출됨에 따라, 정규 체육관 최종 회귀모형은 통계적으로 유의하다고 판단할 수 있다.

Table 18. ANOVA Results (Gymnasium)

Model	Sum of squares	degrees of freedom	Mean squares	F	p-value
5 Model	1.977×10 ¹⁹	3	6.589×10 ¹⁸	25.665	0.000
Residuals	6.932×10 ¹⁸	27	2.567×10 ¹⁷		
Total	2.670×10 ¹⁹	30			

정규 체육관 최종 회귀모형의 계수분석 결과, <Table 19>과 같이 종속변수에 미치는 영향도를 나타내는 표준화 계수가 철근콘크리트조+철골조 -0.210, 공사기간 0.333, 연면적 0.600으로 도출되어, 연면적, 공사기간, 철근콘크리트조+철골조 순으로 추정공사비에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Table 19. Coefficient analysis results (Gymnasium)

Model	Non-standardization factor		Standardized Coefficients	t	p-value	Multicollinearity	
	B	Standard error	β			Tolerance	VIF
(Constant)	-579,767,267	522,941,900	-	-1.109	0.277	-	
reinforced concrete							
+steel	-792,193,750	410,987,758	-0.210	-1.928	0.064	0.812	1.231
construction period	7,371,229	3,030,554	0.333	2.432	0.022	0.512	1.952
total area	1,503,070	329,694	0.600	4.559	0.000	0.555	1.803

최종적으로, 정규 체육관 최종 회귀모형의 비표준화 계수(B) 대입을 통해 개발된 정규 체육관의 추정공사비 산정모델은 아래 <식 3>과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{Gymnasium's Estimated construction cost} \\ & = -579,767,267 - 792,193,750 \times (\text{reinforced concrete} + \text{steel}) \quad (3) \\ & + 7,371,229 \times \text{construction period} + 1,503,070 \times \text{total area} \quad (\text{Unit : ₩}) \end{aligned}$$

4.3 초·중·고등학교 시설물별 추정공사비 산정모델의 예측 정확성 검증

본 연구에서는 앞서 초·중·고등학교 시설물별 추정공사비 산정모델의 검증을 위해 분류해두었던 실적자료의 30%(교사 19건, 기숙사/실내 체육시설 28건, 정규 체육관 14건)를 활용하여 예측 정확성 검증을 수행하였다. 본 연구에서 개발된 산정모델의 예측 정확성은 기존 실적자료의 공사비와의 평균 오차율과 표준편차 비교를 통해 나타내었으며, 이를 현행 산정기준에도 적용하여 비교 분석하였다. 현행 산정방법으로는 초·중·고등학교에 대한 명확한 추정공사비 산정기준을 포함한 조달청의 추정공사비 산정기준이 적용되었으며, 세부 구분으로는 “기본 시설 외 실내 체육관 등이 포함된 복합형 초·중·고등학교의 단위면적당 공사비 평균(1,984,240원/㎡)”이 활용되었다(PPS, 2019).

초·중·고등학교 시설물별 추정공사비 산정모델의 예측 정확성 검증 결과<Table 20>, 본 연구의 추정공사비 산정모델은 조달청 추정공사비 산정기준 대비 교사 11.39%, 정규 체육관 5.50% 높은 예측 정확성을 보였으며, 기숙사/실내 체육시설의 경우 3.03% 낮은 예측 정확성을 보였다. 초·중·고등학교 시설물에 대한 종합적인 평균 오차율을 비교한 결과, 본 연구의 추정공사비 산정모델 18.01%, 조달청의 현행 추정공사비 산정기준 21.43%로 본 연구의 산정모델이 기존 방식 대비 3.42% 높은 정확성을 보이는 것으로 분석되었다. 한편, 기숙사/실내 체육시설의 경우 조달청의 현행 추정공사비 산정기준 대비 낮은 예측 정확성을 보였으나, 분석된 모든 시설물별 예측값의 표준편차가 조달청 산정기준 대비 본 연구의 산정모델에서 낮게 나타나므로 본 연구의 산정모델의 예측 안정성이 조달청 기준 대비 우수한 것으로 판단할 수 있다(Fig. 3). 추후, 초·중·고등학교 시설물별 실적자료가 보다 축적되어 예측모델 개발에 활용된다면 예측모델의 정확성 향상은 물론 예측 결과의 안정성까지도 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

Table 20. Result of analysis of the error rate of construction cost

facility	Proposed method				Current method			
	Error rate (min)	Error rate (max)	Error rate (aver.)	Error rate standard deviation	Error rate (min)	Error rate (max)	Error rate (aver.)	Error rate standard deviation
Educational building	1.23%	54.43%	14.67%	13.20%	1.00%	50.59%	26.06%	15.23%
Dormitory / Indoor gymnasium	3.77%	46.67%	21.84%	12.71%	2.76%	87.20%	18.81%	17.78%
Gymnasium	0.54%	47.51%	14.89%	14.18%	0.25%	44.07%	20.39%	15.09%
Total	0.54%	54.43%	18.01%	13.46%	0.25%	87.20%	21.43%	16.47%

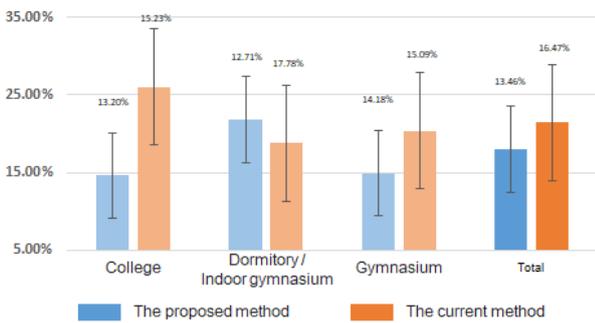


Fig. 3. Average error rate and standard deviation

5. 결론

본 연구를 통해 얻은 결론은 아래와 같다.

1) 국내 공공공사 추정공사비 산정 현황 분석 결과, 조달청, 서울시, 한국감정원 등의 공공기관에서 추정공사비 산정을 위해 사용하는 기준은 시설물의 구분 없이 공공건축물의 추정공사비를 산정하고 있어 시설물별 특성을 반영하지 못한다는 한계점을 지닌 것으로 분석되었다.

2) 건설사업 초기단계 공사비 예측 및 산정모델 관련 선행연구 분석 결과, 건설사업 초기단계의 공사비 예측 및 산정모델 개발에는 다수의 변수 적용이 가능한 다중회귀분석 기법이 가장 적합한 것으로 분석되었으며, 초·중·고등학교 시설물별 추정공사비 산정모델 개발 관련 선행연구 분석 결과, 수행된 모든 선행연구는 학교 시설물 중 교사를 대상으로 산정모델 개발을 수행하여 실질적인 시설물별 구분이 이뤄지지 않았다는 한계가 있는 것으로 분석되었다.

3) 초·중·고등학교 시설물 정의 및 분류 결과, 초·중·고등학교 시설물은 교사, 기숙사, 실내 체육시설, 정규 체육관의 네 개 시설물로 구분되며, 시설물별 평균비교를 통한 시설물 구분 분석 결과, 교사, 기숙사/실내 체육시설, 정규 체육관의 분류가 통계적으로 유의미한 것으로 분석되었다.

4) 초·중·고등학교 시설물의 추정공사비 영향요인 선정 결과, 학교 종류, 공사수행지역, 사업규모, 건물구조의 네 가지 대분류로 구분되었으며, 해당 대분류 하위에 총 13개의 세부분류 영향요인이 선정되었다.

5) 개발된 초·중·고등학교 시설물별 추정공사비 산정모델의 검증 결과, 본 연구의 추정 공사비 산정모델은 조달청의 현행 추정공사비 산정 기준 대비 교사 11.39%, 정규 체육관 5.50% 더 높은 예측 정확성을 보였으며, 기숙사/실내 체육시설의 경우 3.03% 더 낮은 예측 정확성을 보이는 것으로 분석되었다.

본 연구를 통해 개발된 초·중·고등학교 시설물별 추정공사비 산정모델은 공공건축물의 시설물별 추정공사비 산정모델 개발을 위한 기초연구로서 활용될 수 있을 것이며, 추

후 다수의 초·중·고등학교 관련 개별 시설물별 실적자료가 축적되어 예측모델 개발에 활용된다면 본 연구의 방법론을 활용하여 보다 합리적이고 신뢰성 있는 추정공사비 산정모델이 개발될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government. (MSIT) (2020R1A2C2008616)

References

- Durbin, J., and Watson, G.S. (1950). "Testing for Serial Correlation in Least Squares Regression. 1." *Biometrika*, 37(3-4), pp. 409-428.
- Hegazy, T., and Moselhi, O. (1994). "Analogy - Based Solution to Markup Estimation Problem." *ASCE Journal of Computing Civil Engineering*, 8(1), pp. 72-87.
- Kang, S.D. (2003). "A Study on the Prediction of Construction Costs by Regression Analysis by Building Areas in the Early Planning Stage." Master's thesis, Yeungnam University.
- Kang, S.H. (2010). "A study on the estimation of the cost of the bridge construction." Doctoral dissertation, Korea Maritime University.
- Kim, K.H., An, S.H., and Cho, H.G. (2006). "Comparison of the Accuracy between Cost Prediction Models based on Neural Network and Genetic Algorithm." *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 22(3), pp. 111-118.
- Kim, S.K. (2008). "A study on the analysis and estimation of construction cost by using artificial neural network in the BTL project for educational facilities." Master's thesis, Hongik University.
- Kim, J.W. (2011). "A study on construction cost estimation model of educational facilities using regression analysis : for the BTL project in the Gyeonggi-do region." Master's thesis, Hanyang University.
- KICT (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology) (2019). Construction cost index in September 2019.
- Lee, K.H. (2014). *Statistical Analysis using SPSS*, Freeca Press, Korea.
- Lim, S.Y. (2010). "A study on improving the estimation accuracy of apartment project cost." Master's thesis, Jeonnam university.
- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport) (2018). Standards for reviewing the management

methods of construction projects and guidelines for performance of duties.

MOEF (Ministry of Strategy and Finance) (2018). Guidelines for managing total business expenses.

Park, S.H. (2011). "Judgement Model for Construction Cost Appropriateness of Multi-Family Housing Projects in Planning Phase." Master's thesis, Seoul City University.

PPS (Public Procurement Service) (2017). Analysis of construction costs by type of public buildings in 2017.

요약 : 추정공사비는 기본설계 이전단계에서 건설사업에 투입되어야 하는 적정 예산의 확보를 위해 산정되는 중요한 건설공사비 지표이다. 여러 공공기관에서는 추정공사비를 산정하기 위해 공공건축물 세부 유형별 단위면적당 공사비를 도출하고, 이를 해당 건축물의 연면적에 곱하는 방식을 사용하고 있다. 그러나 일부 공공건축물들은 그 시설물의 구성 및 조합이 다양하여 세부 유형별로 단위면적당 공사비를 산정하는 획일화된 현행 추정공사비 산정방법으로는 공공건축물 내 여러 시설물 조합에 따른 특성을 반영할 수 없어 신뢰성 있는 추정공사비를 산정하는데 한계성을 지니고 있는 것으로 조사 및 분석되었다. 본 연구의 목적은 발주 빈도수 및 누적 사업비용의 규모가 크고 시설물의 구성 및 종류가 다양한 초·중·고등학교를 대상으로, 시설물 조합에 따른 추정공사비 산정방안을 제시하는 것이다. 본 연구에서 개발한 초·중·고등학교 시설물별 추정공사비 산정모델 및 분석 방법론을 실무에 적용할 경우 공공발주자는 보다 합리적이고도 신뢰성 있는 초·중·고등학교의 추정공사비 산정이 가능할 것으로 기대된다.

키워드 : 추정공사비, 산정모델, 초·중·고등학교, 학교 시설물
