

회귀분석을 이용한 건축물 해체공사비 예측모델 Cost Prediction Model for Building Demolition Work by Using Regression Analysis

김 태 훈¹

김 영 현²

조 규 만^{3*}

Kim, Taehoon¹

Kim, Young Hyun²

Cho, Kyuman^{3*}

Associate Professor, Department of Architectural Engineering, Chosun University, Dong-Gu, Gwangju, 61452, Korea¹

Master's Course, Department of Architectural Engineering, Chosun University, Dong-Gu, Gwangju, 61452, Korea²

Professor, Department of Architectural Engineering, Chosun University, Dong-Gu, Gwangju, 61452, Korea³

Abstract

While the scale of the domestic market for demolition work is steadily increasing, research on cost prediction for demolition work is insufficient. Thus, this study proposes a cost prediction model for demolition work that reflects various attributes influencing the fluctuation of demolition cost. 13 influencing factors and historical cost data were collected based on literature review and experts' advice, and two prediction models were constructed through regression analysis and the prediction accuracy was evaluated. As a result, it showed an average error rate of about 6 to 12%, and it was possible to explore the possibility of use as a reliable prediction model. The results of this study can contribute to estimating appropriate construction cost and improving related standards for domestic demolition works in the future.

Keywords : demolition cost, cost prediction, regression analysis

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

1960년대 이후 국내 경제개발이 본격화되며 대량으로 건설된 도심지 중·고층 건축물의 해체 시점이 도래함에 따라 해체대상물이 중·고층 건축물로 확대되고 있으며, 해체시장 규모의 지속적인 증가가 예상된다[1]. 1990년대 초반부터 본격적으로 형성되기 시작한 국내 해체시장은 2000년대에 이르러 연간 약 1조원 규모로 성장하였으며, 2010년을 기준으로 보았을 때 향후 해체시장 규모는 10년 후 약 2.3배, 20년 후 약 6배까지 증가할 것으로 예측되었다[2]. 또한, 비계·구조

물 해체공사업 등록 업체수와 계약금액은 2010년 대비 2016년에 각각 약 19%, 59%가 증가한 것으로 나타났다[3].

이에 1990년대부터 건축물 해체공사 관련 연구가 국내에서 지속적으로 수행되어 왔으나, 해체공사비 관련 연구는 상대적으로 미흡한 실정이다. 국내 해체공사 연구는 해체공법 선정 및 리스크 분석[4-8], 건설폐기물 재활용[2,9-13]에 초점을 두고 이루어져 왔으며, 해체공사비 관련 연구는 1990년대 중반 이후부터 시작되어 주로 표준품셈 기준 보완[14-17]을 목적으로 수행되어 왔다. 하지만, 표준품셈의 특성상 현장별 다양한 공사여건에 따른 공사비 변동을 적절히 반영하는데 한계가 있으며, 해체공사 관련 기준 체계는 여전히 미비한 상황이다. 따라서, 향후 해체대상물의 규모 증가와 공사여건 다변화를 고려할 때 다양한 물리적·환경적 속성들을 반영하여 공사비를 예측할 수 있는 방법 마련이 필요한 시점이다.

이에 본 연구는 회귀분석을 이용하여 기존 해체공사 현장의 실적 데이터를 토대로 대상 건축물 및 현장 속성을 반영한

Received : January 14, 2021

Revision received : February 17, 2021

Accepted : February 23, 2021

* Corresponding author : Cho, Kyuman

[Tel: 82-62-230-7141, E-mail: cho129@chosun.ac.kr]

©2021 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

해체공사비 예측 모델을 제시하고자 한다. 이를 통해 기존 산정방식의 한계를 보완하고 실용적인 공사비 예측 방법을 제공함으로써, 향후 국내 해체공사 적정 공사비 산정 및 관련 기준 정비에 기여하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구의 범위는 우선 공법적 측면에서 다양한 해체공법 중 압쇄공법을 적용한 현장만을 대상으로 하였다. 해체공법은 대상시설물의 구조, 형태, 해체범위 등에 의해 다양한 종류의 공법이 단독 또는 조합되어 적용될 수 있으나, 국내에서는 적용성, 작업성, 작업 중 소음/진동 발생 등의 측면에서 유리한 압쇄공법이 주된 해체공법으로 현재까지 사용되고 있기 때문이다[8]. 또한, 해체공사 대상시설물의 구조는 건축물 규모 및 사례수, 작업 특성을 고려하여 조적조, 목구조, 강구조를 제외한 철근콘크리트(RC)조와 철골철근콘크리트(SRC)조만을 대상으로 하였으며, 구조체 철거를 포함한 해체 현장으로 한정하여 데이터를 수집하였다.

본 연구의 절차 및 방법은 다음과 같다. 우선, 국내 해체공사비 및 공사비 예측 관련 연구 고찰을 통해 본 연구의 방향 및 적용기법을 제시하였다. 다음으로는 전문해체업체 실무자를 통해 현장 데이터를 수집하고, 회귀분석을 위한 변수 설정 및 투입변수 선정을 수행하였다. 마지막으로, 수집된 데이터를 이용하여 회귀분석을 통한 해체공사비 예측 모델을 구축하고 검증하였다.

2. 기존연구 고찰

2.1 해체공사비 관련 연구 현황

국내 해체공사비 관련 연구는 2000년대 이후 표준품셈 산정 기준 보완을 목적으로 한 연구가 주로 수행되어왔다. Sung and Kim[14]은 도로 구조물 해체공사에서 표준품셈에 명기된 비율 단가 적용의 문제점을 실측 자료와의 비교를 통해 검토하였다. Lee[18]는 건설폐기물, 구조형식, 용도별로 분별해체공사의 원 단위를 산출하고 관련된 표준품셈(안)을 제시하였다. Park et al.[15]은 다가구임대주택을 대상으로 해체공사 예정가격을 산출하고, 공사비 산정기준을 제안하였다. Nam[16]은 해체공사비 산정에 있어 표준품셈에서 제시되고 있는 공중, 재료의 한계를 지적하고, 리모델링 해체공사를 위한 품셈체계의 개선방안을 제시하였다. Kim et al.[17]은 해체공사의 일부 공종을 대상으로 실적데이터를 분석하여 해당공종의 일위대가 기준을 제안

하였다. Kim and Baik[19]은 미국 RSMeans와 비교하여 리모델링 해체공사를 대상으로 품셈체계의 개선방향을 제시하였다. 이와 같이 기존 연구들은 국내 표준품셈의 항목 및 기준의 미비점에 대한 개선 방안 연구가 주를 이루고 있으나, 표준품셈의 특성상 반영이 여전히 미흡하며, 다양한 공사여건을 반영하여 보다 정확한 공사비를 산정하는 데 한계를 지닌다.

이러한 배경에서 Shin et al.[20]은 보다 신뢰성 높은 해체공사비 산정을 위한 선행 연구로, 해체공사비 변동에 영향을 미치는 해체 대상 건축물의 물리적 속성과 더불어 현장의 환경적 속성 요인을 도출(Table 1)하고 영향정도를 분석하였다. 따라서, 본 연구에서는 Shin et al.[20]에서 도출된 요인을 토대로 현장별 관련 속성 및 실적공사비 데이터를 수집하고, 회귀분석을 이용하여 보다 신뢰성 높은 해체공사비 예측 모델을 제시하고자 한다.

Table 1. Factors influencing demolition cost [20]

Category	ID	Factors
Physical properties	P1	Number of floors
	P2	Number of underground floors
	P3	Elevator presence
	P4	Gross floor area
	P5	Floor area of a typical floor
	P6	Years elapsed since construction
	P7	Type of building structure
	P8	Composition type and ratio of the building materials
	P9	Shape and variation of elevation plan
	P10	Shape and variation of floor plan
Environmental properties	E1	Presence of separating dismantlement
	E2	Site location
	E3	Surrounding traffic condition
	E4	Free space for open storage yard

2.2 공사비 예측 관련 연구 현황

Table 2와 같이 기존 건설공사비 예측 관련 연구[21-28]는 공동주택을 중심으로 교육시설, 유통시설, 도로 등 다양한 용도의 시설물을 대상으로 수행되어 왔으며, 프로젝트 초기 단계에서의 공사비 예측 정확도를 향상시키기 위한 목적으로 회귀분석, 사례기반추론, 인공지능경망 등의 예측기법을 이용한 모델 제시 연구가 주를 이루었다. 이 중 인공지능경망은 추론 과정에 대한 설명력이 부족하며[29], 사례기반추론은 충분한 수의 데이터가 요구된다. 반면 회귀분석은 전통적인 기법이나 추론과정의 명확성, 실무활용성, 수집데이터 수를 고려할 때 본 연구의 예측모델 개발에 적절한 기법으로 사료된다.

Table 2. Existing studies on construction cost prediction

Author (Year)	Target facility	Technique		
		RA	ANN	CBR
Kim et al. (2004) [21]	Multi-housing	✓	✓	✓
An & Kang (2005) [22]	Multi-housing (underground parking lot)	✓		
Kim & Son (2006) [23]	Educational facility		✓	
Kwon et al. (2008) [24]	Multi-housing	✓		
Seo (2009) [25]	Distribution facility	✓		
Han (2010) [26]	Road		✓	
Kim (2012) [27]	Educational facility	✓		
Ji et al. (2012) [28]	Multi-housing	✓		

* RA: regression analysis, ANN: artificial neural network, CBR: case-based reasoning

Table 3. Attribute data influencing demolition cost

Attribute	Range	
Number of floors	1-22 floors	
Number of underground floors	0-3 floors	
Gross floor area	725-60,820m ²	
Floor area of a typical floor	118-10,114m ²	
Years elapsed since construction	10-42 years	
Elevator presence	Presence	19
	Absence	8
Building structure type	RC(shear wall)	14
	RC(rigid frame)	8
	SRC	5
	~2%	10
Ratio of mixed wastes	2~5%	5
	5%~	12
Shape of floor plan	square	10
	rectangle	16
	irregular	1
Ease of external scaffolding installation	easy	9
	normal	15
	difficult	3
Free space for stock yard	enough	5
	normal	13
	not enough	9
Ease of waste disposal	easy	7
	normal	11
	difficult	9
Possible civil appeals	high	17
	normal	9
	low	1

3. 실적데이터 수집 및 변수설정

3.1 데이터 수집

본 연구에서는 Shin et al.[20]의 해체공사비 영향요인 (Table 1)을 기초로 하여 총 13개 요인과 공사비(총 공사비, 석면처리비, 고재환수비) 데이터를 현장별로 수집하였다. 해체업체 실무자 방문 및 전자우편을 통해 배포하였으며, 총 28개 현장 데이터를 수집하였다. 이 중 데이터의 신뢰성이 떨어지는 것으로 판단되는 1개 현장을 제외한 27개 현장의 데이터를 모델 구축과 검증에 활용하였다. 구조형식 중 RC조는 벽식(shear wall)과 라멘조(rigid frame)로 구분하였다. Table 1에서 구성물의 종류(P8)와 분별해체 유무(E1)는 ‘혼합폐기물 비율’ 요인으로 통합하였으며, 해체업체 실무자 자문을 토대로 2%미만, 2%이상~5%미만, 5%이상으로 구분하였다. 건물 입면형상(P9)에 따른 ‘외부벽체 설치 용이성’, 주변 교통여건(E3)에 따른 ‘해체폐기물 반출 용이성’을 상/중/하로 구분하여 평가하였다. 마지막으로 현장위치(E2)에 따른 주변의 ‘민원발생 가능성’을 높음/보통/낮음으로 구분하여 자료를 수집하였다(Table 3).

공사비는 해당 현장의 실적 공사비를 기준으로 수집하였으며, 실무자 자문을 바탕으로 외주로 수행되는 석면처리비와 이익비용인 고재환수비를 반영하여 실투입공사비(석면처리비 제외, 고재환수비 포함)를 산정하였다. 또한, 현장별로 공사시기에 따른 물가변동을 반영하기 위하여 2015년을 기준 연도로 하여 해당 연도별 건설공사비지수를 적용하여 보정하였다. Table 4는 27개 현장별 공사시기와 실투입공사비, 공사비지수에 따른 보정공사비를 나타낸 것이다.

3.2 변수 설정 및 투입변수 선정

3.2.1 정성변수의 더미변수 변환

앞서 수집된 독립변수 중 8개 항목은 범주형 데이터로 이를 회귀분석에 적용하기 위해 더미변수로 변환하였다. 더미변수는 0(=해당되지 않음)과 1(=해당됨)로 표현되며, 해당 변수의 범주가 n개인 경우 더미변수는 n-1개가 필요하게 된다. 예를 들어, Table 5와 같이 본 연구의 ‘E/V 유무’는 2개 범주로 구성되어 1개의 더미변수(D1)로 표현될 수 있으며, 3개 범주로 이루어진 ‘구조형식’은 2개의 더미변수(D2, D3)로 표현될 수 있다. 이 때 모든 변수값이 0인 기준집단(참조범주)은 다른 범주에 비해 유의한 영향을 미칠 가능성이 적은 집단으로 설

정하는 것이 좋으며[30], 이에 범주별 종속변수의 평균과 데이터수를 고려하여 (1) E/V유무: 무, (2) 구조형식: RC조(벽식), (3) 혼합폐기물 발생량: 5% 이상, (4) 건물 평면형상: 비정형, (5) 외부비계 설치 용이성 및 폐기물 반출 용이성: 어려움, (6) 야적공간 여유: 부족, (7) 민원 발생 가능성: 낮음을 각각 기준집단으로 설정하였다.

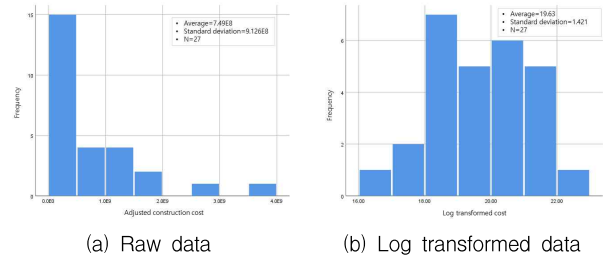


Figure 1. Dependent variable distribution

Table 4. Actual and adjusted cost information on 27 cases

Case	Construction completed (year)	Construction cost index	Actual construction cost (1,000won)	Adjusted construction cost (1,000won)
1	2018	111.37	150,000	134,686
2	2014	98.69	45,000	45,597
3	2018	111.37	113,970	102,335
4	2018	111.37	100,000	89,791
5	2017	106.73	1,344,000	1,259,252
6	2017	106.73	58,700	54,999
7	2017	106.73	130,000	121,803
8	2018	111.37	455,000	408,548
9	2018	111.37	2,790,425	2,505,545
10	2017	106.73	1,938,650	1,816,406
11	2017	106.73	1,600,000	1,499,110
12	2015	100.00	1,553,000	1,553,000
13	2015	100.00	549,000	549,000
14	2016	102.52	907,000	884,705
15	2018	111.37	4,346,000	3,902,308
16	2013	96.63	63,500	65,715
17	2019	115.83	1,202,000	1,037,728
18	2019	115.83	807,000	696,711
19	2012	94.53	410,000	433,725
20	2006	69.77	54,000	77,397
21	2008	80.33	353,000	439,437
22	2014	98.69	188,000	190,495
23	2007	71.39	186,600	261,381
24	2011	91.42	17,271	18,892
25	2012	94.53	77,950	82,461
26	2020	117.97	1,700,000	1,441,044
27	2018	111.37	614,000	551,315

Table 5. Example of dummy variable

Attribute	Category	Dummy variable		
		D1	D2	D3
Elevator presence	Presence	1	-	-
	Absence	0	-	-
Building structure type	RC(shear wall)	-	0	0
	RC(rigid frame)	-	1	0
	SRC	-	0	1

Table 6. Correlation analysis results

Attribute	Pearson correlation	Sig. (2-tailed)
Number of floors	.711**	.000
Number of underground floors	.449*	.019
Gross floor area	.779**	.000
Floor area of a typical floor	.446*	.020
Years elapsed since construction	.243	.232

*p<.05, **p<.01

3.2.2 종속변수 변환

본 연구에서 회귀분석을 위한 종속변수인 보정공사비는 Figure 1(a)와 같은 분포를 나타내어 데이터의 치우침과 편차를 고려하였을 때 대표성을 확보하기 어려울 것으로 판단되었다. 따라서, 로그 변환을 통해 종속변수가 정규성을 갖도록 하였으며(Figure 1(b)), 표본수가 적을 때 적합한 Shapiro-Wilk 통계량을 기준으로 정규성을 검정한 결과 조건을 충족(유의확률 0.475)하였다[30]. 이에 본 연구에서는 로그 변환된 보정공사비를 종속변수로 사용하였다.

3.2.3 상관분석을 통한 정량변수 선정

회귀분석은 독립변수와 종속변수간 선형관계를 분석하여 변수별 영향정도 파악 및 예측을 위한 목적으로 주로 활용되므로, 회귀분석에 앞서 연속형 데이터로 된 5개 독립변수와 종속변수(로그 변환된 보정공사비) 사이의 상관관계분석을 통해 관계성을 확인하였다. Pearson 상관계수를 기준으로 상관관계분석을 수행한 결과, 지상층수, 지하층수, 연면적, 기준층 바닥면적은 종속변수와 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 보였으며, 연면적과 지상층수가 0.7이상의 강한 관계성을 보였다(Table 6). 반면 경과년도의 경우 상관계수 및 산점도상 관계성을 확인하기 어려웠으며, 기존 연구결과에서도 공사비 영향정도가 상대적으로 낮은 것으로 나타나 독립변수에서 제외하였다. 또한, 연면적과 기준층 바닥면적은 타 변수들의 수치를 고려하여 1,000m² 단위로 변환하였다.

4. 회귀분석을 이용한 공사비 예측모델

4.1 모델 개발

본 연구에서는 수집한 27개 데이터 중 24개를 회귀모델 구축에 활용하였으며, 나머지 3개 데이터는 구축된 모델의 검증에 사용하였다. Table 7은 회귀분석에 투입된 독립변수의 설정을 나타내며, 경과년도를 제외한 정량변수(4개)와 정성변수(8개) 모두를 투입하여 회귀분석을 수행한 결과 통계적으로 유의한 변수의 수가 너무 적게 나타나, 정량변수와 정성변수만을 각각 투입한 회귀분석을 통해 유의하지 않은 변수를 추가로 제거하는 과정을 거쳤다. 우선, 정량변수만을 이용한 회귀분석 결과 ‘지상층수(X1)’와 ‘연면적(X3)’만이 통계적으로 유의한 요인으로 나타났으며, 추가적으로 변수간 상호작용 효과(Interaction effect)를 탐색한 결과, ‘지하층수(X2)’와 ‘연면적(X3)’의 곱변수인 상호작용항(X2×X3)이 유의한 변수로 파악되었다. 한편, 정성변수만을 이용한 더미회귀분석 결과, 단계선택법과 후진제거법을 이용한 모델 모두에서 ‘E/V유무(X5)’와 ‘평면형상(X10, X11)’ 요인이 공통적으로 포함되지 않는 것으로 나타났다. 해당 요인들은 Shin et al.[20]의 연구에서도 상대적으로 공사비 영향도가 가장 낮게 나타나 유의한 결과로 파악되었다.

Table 7. Independent variables for regression analysis

Type of variable	Attributes	ID
Numerical variable	Number of floors (floors)	X1
	Number of underground floors (floors)	X2
	Gross floor area (1,000m ²)	X3
	Floor area of a typical floor (1,000m ²)	X4
Nominal (Dummy) variable	Elevator presence	X5 (presence)
	Building structure type	X6 (RC-rigid frame)
		X7 (SRC)
		X8 (~2%)
	Ratio of mixed wastes	X9 (2~5%)
		X10 (square)
	Shape of floor plan	X11 (rectangle)
	Ease of external scaffolding installation	X12 (easy)
		X13 (normal)
		X14 (enough)
	Free space for stock yard	X15 (normal)
		X16 (easy)
	Ease of waste disposal	X17 (normal)
		X18 (high)
	Possible civil appeals	X19 (normal)

이러한 과정을 통해 통계적으로 유의하게 나타난 3개의 정량변수(X1, X3, X2×X3)와 6개의 정성변수 요인만을 이용하여 회귀분석을 수행하였다. 우선, 단계선택법에 의해 구축된 모델1은 설명력(수정된 R²=0.827)이 높고 분산분석 결과 통계적으로 유의(F=19.376, p=0.000)한 모형으로 파악되었다. 또한, t값과 유의확률을 평가하였을 때 모든 회귀계수는 통계적으로 유의하였으며, 공차(0.551~0.876)와 분산팽창요인(variation inflation factor; VIF)(1.142~1.815)값이 각각 0.1 초과, 10.0 미만으로 나타나 다중공선성에도 문제가 없는 것으로 나타났다[30](Table 8). 마지막으로, 회귀모형 진단 결과 Durbin-Watson 통계량(2.232)에 의한 잔차의 독립성에 문제가 없으며, 표준화 잔차의 P-도표와 예측 산점도를 통한 회귀모형의 정규성 및 등분산성 가정을 모두 만족시키는 것으로 판단되었다.

Table 8. Coefficients and collinearity statistics (Model 1)

Model variable	Unstandardized coefficients		Standardized coefficients		t	Significance	Collinearity statistics	
	B	Standard error	B				Tolerance	VIF
Constant	20.686	.473	-	-43.724	.000	-	-	-
X1	.111	.035	.374	3.200	.005	.551	1.815	
X7	-1.536	.318	-.447	-4.833	.000	.876	1.142	
X13	-.883	.279	-.316	-3.163	.006	.753	1.328	
X8	-1.335	.306	-.463	-4.366	.000	.666	1.502	
X9	-1.136	.364	-.331	-3.123	.006	.668	1.496	
X15	-.639	.268	-.228	-2.381	.029	.816	1.226	

따라서, 모델 1의 회귀식은 식(1)과 같이 정량변수인 ‘지상층수(X1)’와 5개의 정성변수(X7, X8, X9, X13, X15)로 구성되었다. 정량변수인 지상층수는 정(+)의 영향을 미치며, 지상층수가 높아질수록 해체공사비가 증가되는 것은 합리적 결과로 판단된다. 반면, 정성변수인 더미변수는 모두 공사비에 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 표준화계수(β)로 종속변수에 대한 영향력을 파악한 결과 ‘혼합폐기물 발생량 2%미만(X8)’, ‘SRC조(X7)’, ‘지상층수(X1)’, ‘혼합폐기물 발생량 2~5%미만(X9)’ 순으로 공사비 변동에 대한 영향력이 높게 나타났다. 즉, 다른 요인이 동일할 때 혼합폐기물 발생량이 상대적으로 적은 현장에서 5%이상(기준집단)으로 많은 현장보다 공사비가 감소된다고 볼 수 있으며, 혼합폐기물 발생량이 높을수록 폐기물 처리를 위한 공사비 및 공기 증가를 야기할 것이므로 타당한 결과로 사료된다. 동일한 맥락에서 구조

형식이 SRC조인 경우 벽식 RC조(기준집단)에 비해 공사비가 감소된다고 볼 수 있다.

$$\log Y = 20.686 + 0.111X_1 - 1.536X_7 - 0.883X_{13} - 1.335X_8 - 1.136X_9 - 0.639X_{15} \quad \text{--- (1)}$$

다음으로, 후진제거법을 이용하여 회귀분석을 진행하였다. 최종적으로 선정된 모델2의 설명력은 86.6%로 모델1에 비해 약간 증가한 것으로 나타났으며, 모형은 통계적 유의성 (F=19.509, p=0.000)을 확보하였다. 통계적으로 유의하지 않은 X16은 제외하였으며, 모든 회귀계수는 다중공선성에 문제가 없는 것으로 파악되었다(Table 9). 회귀모형 진단 결과 잔차의 자기상관, 모형의 정규성과 등분산성 가정에도 문제가 없는 것으로 판단된다.

Table 9. Coefficients and collinearity statistics (Model 2)

Model variable	Unstandardized coefficients		Standardized coefficients		t	Significance	Collinearity statistics	
	B	Standard error	B				Tolerance	VIF
Constant	21.481	.322						
X6	-0.979	.361	-.304	-2.712	.016	.465	2.150	
X7	-1.490	.307	-.434	-4.849	.000	.729	1.371	
X8	-2.570	.357	-.893	-7.202	.000	.381	2.628	
X9	-1.533	.323	-.447	-4.748	.000	.661	1.514	
X13	-1.073	.249	-.383	-4.316	.001	.740	1.351	
X15	-.744	.234	-.266	-3.175	.006	.833	1.200	
X16	.647	.342	.211	1.892	.078	.471	2.125	
X18	1.287	.301	.455	4.278	.001	.516	1.938	

따라서, 모델2의 회귀식은 식 (2)와 같이 도출되며, 정량변수는 모두 배제되었으나, 설명력이 높고 모델1과 달리 Shin et al.[20]의 연구에서 가장 중요성이 높게 나타난 영향요인인 현장위치에 따른 주변의 민원발생 가능성(X18)을 포함함에 따라 모델로 선정하였다. X18을 제외한 모든 변수는 공사비에 부(-)의 영향을 미치며, 종속변수에 대한 영향력은 ‘혼합폐기물 발생량 2%미만(X8)’, 민원발생 가능성(X18), ‘혼합폐기물 발생량 2~5%미만(X9)’ 순으로 높게 나타났다. 즉, 현장 주변의 민원발생 가능성이 상대적으로 낮은 외곽지역에 위치한 현장(기준집단)에 비해 민원 소지가 높은 건물 밀집지역에 위치한 현장은 해체공사비가 증가되며, 이는 주변 민원 저감과 공사안전 확보를 위한 가시설 공사비용 증가에 따른 것이라고 할 수 있다[20].

$$\log Y = 21.418 - 0.979X_6 - 1.490X_7 - 2.570X_8 - 1.533X_9 - 1.073X_{13} - 0.744X_{15} + 1.287X_{18} \quad \text{--- (2)}$$

4.2 모델 평가

앞서 구축된 2개 회귀모형의 적합성을 평가하기 위해 Table 10과 같이 모델 구축에 사용되지 않은 3개 현장 데이터를 이용하여 예측값의 정확도를 파악하였다. Table 11은 모델1과 모델2에 의한 현장별 예측값과 실제 공사비와의 오차를 나타낸 것이다. 모델1의 경우 평균 12.06%의 오차를 나타낸 반면, 모델2는 평균 6.00%의 오차를 보여 상대적으로 모델2의 예측 정확도가 더 높게 나타났다. 또한, 모델2의 경우 선행연구를 통해 가장 중요한 영향요인인 현장위치에 따른 민원발생 가능성을 포함한 대부분의 정성변수 요인을 포함하여 해체공사비 예측 모델로서 충분히 활용가능할 것으로 사료된다. 반면, 모델1은 상대적으로 오차율과 편차가 크긴 하나 모델2와 달리 총공사비에 크게 영향을 미치는 정량변수인 지상층수를 포함한 모델로 활용성이 있을 것으로 판단된다. 이에 향후 추가적인 데이터 수집 및 검증을 수행하여 보다 적절한 예측모형을 최종적으로 선정할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 10. Case project overview for model validation

Attributes	Case		
	A	B	C
Number of floors	2	5	9
Building structure type	RC-Shear wall	RC-Rigid frame	RC-Rigid frame
Ratio of mixed wastes	~2%	5%~	5%~
Ease of external scaffolding installation	normal	normal	easy
Free space for stock yard	normal	normal	not enough
Possible civil appeals	highly possible	highly possible	highly possible

Table 11. Validation results of cost prediction models

Item	Case		
	A	B	C
Actual cost (1,000 won)	89,791	408,548	2,505,545
Estimated value (1,000 won)	69,103	366,134	2,614,974
Model 1 Error rate (%)	23.04	10.38	4.37
Average error rate (%)**			12.60
Estimated value (1,000 won)	90,278	443,518	2,728,533
Model 2 Error rate (%)	0.54	8.56	8.90
Average error rate (%)**			6.00

* Error rate=|Estimated value-Actual cost|/Actual cost×100

** Average error rate=ΣError rate of each case/3

5. 결 론

국내 건축물 해체공사는 지속적으로 증가되는 반면, 적정 공사비 산정을 위한 기준 및 방안 연구는 아직 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 다양한 해체대상물 및 현장 여건 속성을 반영하여 보다 신뢰성 높은 해체공사비 산정을 지원하기 위한 예측 모델을 제시하고자 하였다. 회귀분석을 통해 2개의 예측 모델을 구축하였으며, 검증 결과 약 6~12%의 평균 오차율을 보였다. 2개 모델은 각각 정확도와 정량 정성적 속성 반영 측면에서 향후 건축물 해체공사비 예측 모델의 활용 가능성을 찾을 수 있었으며, 결과의 신뢰성과 정확도 측면에서 기존의 표준품셈 또는 실무자 경험에 근거한 공사비 산정 방식의 한계를 극복할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 제시된 회귀모델은 실무에서 쉽게 활용가능한 장점을 가지고 있다. 이에 본 연구 결과는 발주자 및 해체업체의 공사비 예측 리스크를 최소화하고, 적정 예산 책정 및 관련 의사결정에 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 또한, 해체공사 공법 대안의 선정 지원 및 공사비 산정기준의 보완에 활용 가능할 것이다.

반면, 본 연구에서는 해체업체로부터의 실적데이터 확보 어려움으로 인하여 모델 구축 및 검증에 사용된 데이터가 다소 부족한 한계가 있다. 이에 향후 추가적인 데이터 확보를 진행할 계획이며, 이를 통해 모델 적합성 검증 및 세부 공정(가설공사, 구조물해체, 폐기물처리)별 공사비 산정을 위한 모델 구축을 수행하고자 한다.

요 약

국내 해체시장 규모는 꾸준히 증가되고 있는 반면, 해체공사비 예측 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 해체공사비 변동에 영향을 미치는 다양한 속성을 반영한 공사비 예측 모델을 제시하고자 하였다. 이를 위하여 기존 문헌고찰과 전문가 자문을 바탕으로 13개의 영향요인과 실적공사비 데이터를 수집하였으며, 회귀분석을 통해 2개의 예측모델을 구축하고 예측정확도를 평가하였다. 그 결과, 약 6~12%의 평균 오차율을 보였으며, 예측 모델로서의 활용 가능성을 모색할 수 있었다. 본 연구 결과는 향후 국내 해체공사의 적정 공사비 산정 및 관련 기준 정비에 기여할 수 있을 것이다.

키워드 : 해체공사비, 공사비 예측, 회귀분석

Funding

This study was supported by research fund from Chosun University, 2020.

ORCID

Taehoon Kim, <https://orcid.org/0000-0002-2869-0061>

Young Hyun Kim, <https://orcid.org/0000-0002-4879-1863>

Kyuman Cho, <https://orcid.org/0000-0001-5008-110X>

References

1. Kim HJ. Development of cutting-edge demolition technology for eco-friendly city regeneration. Anyang (Korea): Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement; c2012. Chapter 1, Outline of development project. p. 3-6.
2. Kim CH. Development of integrated computer system for quantifying and managing of demolition waste. Korean Journal of Construction Engineering and Management. 2011 Jan;12(1):133-40. <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2011.12.1.133>
3. Korea Specialty Construction Association. Statistical yearbook: Contract performance [Internet]. Seoul (Korea): Korea Specialty Construction Association. 2010-2016 [cited 2021 Jan 12]. Available from: <https://www.kosca.or.kr/>
4. Mun GN. A study on the criteria for selection for demolition method of structure based on case study [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Hanyang University; 2004. 54 p.
5. Lee HM, Go SS. A study on the system development for optimum method selection in demolition works. Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction. 2008 May;24(5):193-200.
6. Kim BH. A study on improving method selection process to enhance removal environment of downtown buildings [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Chung-ang University; 2008. 67 p.
7. Kim KH, Choi JS, Shin SH, Yang CH. Analysis of the risk factors in demolition. Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction. 2008 Jan;24(1):151-8.
8. Lee EH. A study on the hazard analysis of demolition work by crushing method [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Seoul National University of Science & Technology; 2016. 75 p.
9. Kim CH, Kim HJ. A development of computerized management system for construction and demolition waste. Journal of the Korean Society of Civil Engineering. 2006 Jul;26(4D):627-34.
10. Kim CH, Lee GH, Kim HJ. The comparison and analysis of waste quantity through a case study of demolition works. Korean Jour

- nal of Construction Engineering and Management. 2008 Oct;9(4):131-9.
11. Park JS, Song TH, Choi DH. Applicable building range for the introduction of the building separation and dismantling system. *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*. 2013;1(3):189-96. <https://doi.org/10.14190/JRCR.2013.1.3.189>
 12. Chae SH, Kim KH, Cha HS, Kim KR, Han JH. Construct ability analysis in aged-housing remodeling demolition work for maximizing waste recycling. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2010 May;11(3):13-22. <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2010.11.3.13>
 13. Kim HJ, Kang IS, Kim CH. A comparative analysis on generated construction waste quantities in a case study for deconstruction of an apartment. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2014 Nov 30;15(6):63-70. <http://dx.doi.org/10.6106/KJCEM.2014.15.6.063>
 14. Sung NW, Kim YS. An investigation on the propriety of ratio-unit price method for estimating demolition cost. *Proceeding of KJCEM Annual Conference; 2004 Nov 6; Chung-ang University, Seoul, Korea*. Seoul (Korea): Korea Institute of Construction Engineering and Management. p. 579-83.
 15. Park SS, Lee SB, Shin SH. Demolition cost estimation of small-size rental housing based on the quantity per unit method. *LHI Journal of Land, Housing, and Urban Affairs*. 2011;2(4):415-27. <http://doi.org/10.5804/LHIJ.2011.2.4.415>
 16. Nam WJ. A study on improvement method of quantity per-unit system in the remodeling demolition work [master`s thesis]. [Seoul (Korea)]: Konkuk University; 2013. 52 p.
 17. Kim HJ, Kang IS, Lee DW, Kim CH. Development of a computer system and suggestion of man-hours for demolition cost estimation. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 2014 Jun;34(3):1007-15. <https://doi.org/10.12652/Ksce.2014.34.3.1007>
 18. Lee SH. A study for the system establishment of a separating dismantlement of construction and a proper cost estimation. *Sejong (Korea): Ministry of Environment; 2009 Mar*. 280 p. Report No.: TRKO201100003085.
 19. Kim KH, Baik HS. Comparative analysis between RSMean and standard estimating system for selective finish demolition in remodeling projects. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 2015 Mar;31(3):73-80. http://dx.doi.org/10.5659/JAIK_SC.2015.31.3.73
 20. Shin DW, Cho KM, Lee UK, Kim TH. Analysis of the factors influencing the demolition costs. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2018 Oct;18(5):499-506. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2018.18.5.499>
 21. Kim GH, Kim SY, Kang KI. Comparing accuracy of prediction cost estimation using case-based reasoning and neural networks. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 2004 May;20(5):93-102.
 22. An SH, Kang KI. A study on the cost model of underground parking lot of apartment housing projects in the early stage. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 2005 May;21(5):135-42.
 23. Kim CH, Son JH. A study on the model of artificial neural network for construction cost estimation of educational facilities at conceptual stage. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2006 Aug;7(4):91-9.
 24. Kwon HS, Moon HS, Lee SK, Hong TH, Koo KJ, Hyun CT. Cost prediction model of public multi-housing projects in schematic design phase. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2008 Jun;9(3):65-74.
 25. Seo YK. Development of cost estimating model in feasibility and design stage: based on historical cost of distribution facilities [master`s thesis]. [Seoul (Korea)]: Korea University; 2009. 62 p.
 26. Kim JW. 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]. [Seoul (Korea)]: Hanyang University; 2012. 41 p.
 27. Han HD. Road construction cost estimation in the planning phase using artificial neural network model [master`s thesis]. [Seoul (Korea)]: Hanyang University; 2010. 54 p.
 28. Ji SM, Hyun CT, Moon HS. Cost prediction model using qualitative variables focused on planning phase for public multi-housing projects. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2012 Mar;13(2):91-101. <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2012.13.2.091>
 29. Hegazy T, Moselhi O. Analogy-based solution to markup estimation problem. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 1994 Jan;8(1):72-87.
 30. Kim WP. Basic statical analysis. Seoul (Korea): WiseIN Company; 2017. 541 p.