

사업 초기단계에서 공동주택 토목공사비의 예측에 관한 연구

하규수^{1*}, 이진규¹

¹호서대학교 벤처전문대학원 벤처경영학과

A Study on the Prediction of Civil Construction Cost on Apartment Housing Projects at the Early Stage

Kyu-Soo Ha^{1*} and Jin-Kyoo Lee¹

¹The Graduate School of Venture, Hoseo University

요 약 건설사업 수행의 초기단계에서 가장 중요한 과제는 적정 예정공사비를 산정하는 일이다. 따라서 본 연구에서는 공동주택 건설사업 초기단계에서 합리적이고 정확한 토목공사비의 예측을 위하여 170개의 공사비자료를 활용한 회귀분석을 실시하였고, 종속변수인 토목공사비를 지역위치에 따른 전국, 부지조건에 따른 사유지, 조합부지, 공공부지로 구분하여 다양한 분석을 함으로써 예측모델의 이용의 편리성과 정확성을 높였다. 회귀식을 이용한 공동주택 토목공사비의 예측 결과 오차율은 전국 적용 예측모델 15.59%, 사유지 적용 예측모델 17.53%, 조합부지 적용 예측모델 21.86%, 공공부지 적용 예측모델 13.08%로 나타났다.

Abstract At the early construction project stage, the most important task is to estimate planned construction costs analyzed with detailed information. Therefore, in this study, Apartment Housing Projects at the Early Stage of Civil Construction Cost of the reasonable and accurate predictions of the Regression analysis to 170 of actual Construction Cost, and dependent variable regression to Civil Construction Cost, location based national land area based on a combination of private land, union land, public land to the use of predictive models by various analyses of the ease and accuracy. As a result, Civil Construction Cost of Apartment Housing Projects by the regression formula for the error rate estimates in national land predictive model 15.59%, private land predictive model 17.53%, union land predictive model 21.86%, public land predictive model 13.08%.

Key Words : Construction project, Apartment Housing Project, Civil Construction Cost, Regression analysis

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

공동주택 건설사업 초기단계에서 공사비의 합리적이고 정확한 예측은 발주자의 의사결정과 이에 따른 기본 사업방향과 사업의 성패에 매우 큰 영향을 미치게 된다 [1].

이로 인해 최근 공동주택 건설사업 초기단계에서공사비 예측에 대한 중요성이 부각되고 있지만, 공동주택 건설사업에 대한 정보의 부족과 공사비에 영향을 미치는

주요 요인들의 불확실성으로 인해 적정한공사비를 예측하는데 어려움이 따르고 있으며 그 정확도에도 한계가 있다[2].

이에 공동주택 건설사업 초기단계에서 정확한 예정공사비를 예측하기 위한 다양한 종류의 연구가 진행 되었다. 1950년대에 단위기준에 의한 공사비 예측방법과, 1970년대 이후 통계를 이용한 회귀분석모형, 1980년대 몬테카를로 시뮬레이션 등이 사용되었다[3]. 그리고 최근에는 인공신경망, 사례기반추론, 유전자알고리즘 등과 같은 다양한 예측기법을 사용한 연구가 진행되고 있다[4].

*Corresponding Author : Kyu-Soo Ha

Tel: +82-10-3349-0024 email: ksh@hoseo.edu

접수일 12년 06월 07일

수정일 (1차 12년 07월 23일, 2차 12년 07월 27일)

게재확정일 12년 09월 06일

그러나 이러한 공사비 예측에 관한 연구는 주로 건축 공사부분에 한정 되어 왔으며, 공동주택 토목공사비와 관련된 연구는 전혀 이루어지지 않고 있다. 또한 토목공사비의 예측과 관련된 자료와 표준화된 토목공사비 예측자료는 전무한 상태이다.

토목공사비는 공동주택 건설사업 전체 순공사비의 10% 내외의 비중을 차지하고 있으며, 건설기술과 산업의 발전에 따라 날로 그 중요성과 전체 순공사비에서 차지하는 비중이 높아지고 있는 추세이다.

더욱이 토목공사비는 적용되는 공법 및 자재 등에 따라 공사비의 변동 폭이 대단히 크다. 그러므로 공동주택 건설사업의 공사비 예측에 있어서 토목공사비는 필히 검토 되어야할 사항이다.

따라서 본 연구에서는 공동주택 건설사업 초기단계에서 합리적이고 정확한 공동주택 토목공사비의 예측을 위해 회귀분석을 통한 공사비 예측모형을 구축하여 보다 신뢰성 있는 공동주택 토목공사비 예측기법의 제시를 연구목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 적정 예정공사비를 예측하기 위해 적합한 예측기법을 선택하는 것이 연구의 목적이므로 예측의 범위를 공동주택 건설사업 착공 이전의 초기단계에서의 토목공사비 예측으로 범위를 한정한다[5].

공사비에 영향을 미치는 독립변수를 도출하고, 예측모형을 구축하기 위한 실적자료는 공동주택으로 대상을 한정하여 수집하였다. 공동주택은 사업이 비교적 일정하고 반복적이며, 공사의 성격이 유사하여 실제 사업 수행 사례의 수집 및 자료 축적이 용이하기 때문이다.

공동주택 건설사업 초기단계에서의 공사비 예측모형을 제시하기 위해서 2011년 1월 1일에서 2011년 12월 31일까지 한국건설감리협회에 공동주택 감리자 선정을 위해 등록된 총 170개의 공동주택 공사비 자료를 수집하였다.

공동주택 건설사업 초기단계에서 공사비를 예측하려는 시도는 여러 가지 방법에 의해 진행 되어 왔으며, 일반적으로 회귀분석, 인공신경망, 사례기반추론 등이 공동주택 건설공사비 예측기법으로 많이 이용되고 있다. 회귀분석은 종속변수와 독립변수 간에 선형관계가 있는 공사비 예측분야에서 가장 많이 사용하고 있으며 불필요한 변수는 제외하고 필요한 변수만 선택 가능한 장점이 있고, 인공신경망은 적절한 제어변수를 찾는 과정에서 시행착오적인 방법으로 반복 될 수 있고, 사례기반추론은 충분한 데이터의 수가 존재해야 하고, 가중치를 결정하는 과정이 명확히 정립되지 못한다는 단점이 있다[6].

본 연구에서는 적용 범위가 넓고, 불필요한 변수는 제

외 가능하며 분석이 용이한 회귀분석을 사용한 공동주택 토목공사비 예측모형을 개발하기로 하였다.

회귀분석에 활용된 독립변수는 대지면적, 연면적, 지하층수, 지상층수, 동수, 세대수, 전체공기, 토목공기, 지하층면적, 지상층면적, 건축면적, 토목면적, 건폐율, 용적률의 14개 변수이며 종속변수는 토목공사비이다.

이를 기본으로 하여 독립변수와 종속변수의 변동요인을 분석하기 위해 통계분석 프로그램인 SPSS 20.0 소프트웨어에서 회귀분석을 실시하여 지역위치에 관계없이 전국에 적용할 수 있는 공동주택 건설사업 초기 토목공사비 예측모형을 제시하였다.

특히 예측모형을 부지조건에 따른 사유지, 조합부지, 공동부지로 구분하여 분석을 다양화함으로써 예측모형의 정확성을 높이며 노력하였다.

회귀식을 이용한 초기 토목공사비 예측모형이 실제 적용이 가능한지 판정하기 위해 2012년 1월 1일에서 2012년 5월 31일까지 한국건설감리협회에 등록된 총 21개의 공동주택 토목공사비를 검증대상 공사비로 활용하여 예측모형을 통해 산출한 예측 값과의 차이를 비교하여 오차율을 계산 하였다.

1.3 공동주택 초기단계 공사비 예측 연구현황

공동주택 초기단계 공사비 예측기법은 회귀분석, 몬테카를로 시뮬레이션, 인공신경망, 사례기반추론, 유전자알고리즘 등이 주로 사용되고 있으며, 공동주택 초기단계 공사비 예측에 관한 연구현황을 연구자 별로 정리하면 표 1과 같다.

공동주택 초기단계 공사비 예측에 관한 연구는 그동안 많이 진행 되어 왔다. 연구자별로 예측기법 및 연구방법이 다르므로 개별적인 장단점을 가지고 있다. 이에 공동주택 건설사업의 발주자들은 각각의 사업 특성에 맞게 적합한 예측기법을 적용하는 것이 중요하다고 볼 수 있다. 기존 연구들을 분석한 결과 이전에 연구된 예측방법이 모두 연구 대상을 건축부분에만 집중하고 있으며, 공동주택 건설사업 순공사비의 10% 내외의 비중을 차지하고 사업의 성패에 절대적인 영향을 미치는 토목공사비에 대한 연구가 거의 이루어 지지 않고 있다는 사실을 알 수 있었다.

따라서 공동주택 건설사업 초기단계에서 발주자의 의사결정과 이에 따른 기본 사업방향 설정을 위해서는 공동주택 토목공사비를 보다 정확하게 예측할 수 있는 공사비 예측모형이 필요하다.

[표 1] 공동주택 초기단계 공사비 예측기법[7][8]

[Table 1] Construction Cost Prediction Method

NO	저 자	공동주택 건설공사비 예측기법
1	김기동(1990)	· 회귀분석
2	박우열 외 2인(2002)	· 회귀분석 · 인공신경망
3	김광희, 강경인(2003)	· 유전자알고리즘 · 인공신경망
4	이유섭(2003)	· 회귀분석
5	김광희, 강경인(2004)	· 회귀분석 · 유전자알고리즘 · 인공신경망
6	안성훈, 강경인(2005)	· 회귀분석 · 사례기반추론
7	전석환, 최인성(2005)	· 회귀분석
8	김광희 외 2인(2006)	· 유전자알고리즘 · 신경망
9	박우열, 김광희(2007)	· 신경망 · 회귀분석
10	김대석(2009)	· 회귀분석
11	임소연 외 2인(2010)	· 사례기반추론 · 유전자알고리즘
12	이상춘(2011)	· 유전자알고리즘 · 신경망

2. 공동주택 토목공사비 예측모델

2.1 공사비 자료에 대한 개요

공동주택 토목공사비 예측모델을 개발하기 위하여 2011년 1월 1일에서 2011년 12월 31일까지 한국건설감리협회에 등록된 총 170개의 공동주택 공사비 자료를 표 2와 같이 수집하였다.

공동주택 건설사업의 착수시기와 지역위치가 공사비에 미치는 영향을 고려할 수 있으나, 본 연구에서는 공동주택 감리자 선정을 착수시기로 정하고 2011년 1월 1일에서 2011년 12월 31일까지의 공동주택 토목공사비 자료로 한정 하였으며, 지역위치는 전국을 대상으로 하였으므로 공사비자료에 시기와 지역위치를 고려한 보정치를 계산하지 않았다.

2.2 변수의 구성

공동주택 건설사업의 초기단계인 착공 이전 시점에서 종속변수와 독립변수를 선정하기 위해서 기존의 공동주택 공사비 예측에 관련된 선행연구결과를 분석하였다. 기존의 선행연구에서 사용한 변수를 활용하고, 수집된 공사비자료에서 획득 가능한 변수를 포함하여 표 3과 같이 1개의 종속변수와 14개의 독립변수를 구성하였다.

[표 2] 공사비 자료의 지역위치 및 부지조건 분석

[Table 2] Analysis of Location and Area

지역위치	서울	36개
	인천	8개
	경기	21개
	부산	12개
	대구	5개
	대전	7개
	광주	7개
	울산	12개
	강원	4개
	충남	9개
	충북	4개
	전북	10개
	전남	8개
	경북	5개
경남	22개	
합계	170개	
부지조건	사유지	71개
	조합부지	56개
	공공부지	43개
	합계	170개

[표 3] 변수의 구성

[Table 3] Composition of Variables

구분	변수명	단위	변수 정의
종속변수	토목공사비(Y)	천원	순공사비 중 토목공사비 (토공사 등 13개 항목)
독립변수	대지면적(X1)	m ²	기부채납면적 제외
	연면적(X2)	m ²	지상층연면적+지하층연면적
	지하층수(X3)	층	단지 내 최하층 기준
	지상층수(X4)	층	단지 내 최고층 기준
	동수(X5)	동	단지 내 주동 기준
	세대수(X6)	세대	단지 내 전체 세대수 기준
	전체공기(X7)	월	전체 공사기간
	토목공기(X8)	월	토목 공사기간
	지하층면적(X9)	m ²	지하부분 전체면적
	지상층면적(X10)	m ²	지상부분 전체면적
	건축면적(X11)	m ²	지상 1층 바닥 면적의 합
	토목면적(X12)	m ²	대지면적-건축면적
	건폐율(X13)	%	건축면적 / 대지면적
	용적률(X14)	%	지상층 연면적 / 대지면적

2.3 예측모델의 구성

공사비를 예측하기 위한 회귀분석은 독립변수의 입력 방식에 따라서 입력선택법, 단계선택법, 제거법, 후진제거법, 전진선택법의 5가지로 구분된다[9].

그러나 제거법은 모형이 구축된 이후에 사용이 가능한 방법으로 이를 제외한 4가지 입력 방법으로 170개의 공

동주택 공사비자료의 14개의 독립변수를 통계분석 프로그램인 SPSS 20.0 소프트웨어에서 회귀분석을 실시하였다.

분석결과 14개의 독립변수들 사이에 다중공선성이 발견되어 공선성 진단 결과 공차한계 값이 0.1 이하의 값이 있고, VIF 값도 10 이상인 값이 존재하며, 유의확률 0.05 이상의 통계학적으로 유의하지 않게 도출된 독립변수가 존재하여 4가지 입력 방법 중에서 단계적으로 독립변수를 제거할 수 있는 후진제거법을 선택하였다[10].

후진제거법은 모든 독립변수를 회귀분석에 사용한 후, 단계적으로 가장 영향력이 낮은 변수부터 하나씩 제거하면서 예측모델을 만들어내는 방법이다.

본 연구에서는 독립변수와 종속변수를 선정해 다중회귀분석의 후진제거법을 사용하여 이들 간의 인과관계를 분석하였다[11].

종속변수인 토목공사비는 지역위치에 따른 전국,부지 조건에 따른 사유지, 조합부지, 공공부지로 구분하여 다양한 분석을 함으로써 예측모델 표 4의 이용의 편리성과 정확성을 높였다.

[표 4] 공사비 예측모델의 구성

[Table 4] Composition of Cost Prediction Model

구분	변수명	수량	통계분석도구
독립변수	X1(대지면적)~X14(용적률)	14	SPSS 20.0
종속변수	토목공사비(Y)	1	

2.4 기술통계량

분석에 사용된 총 170개의 공동주택 공사비자료에 대한 기술통계량은 표 5와 같다.

[표 5] 기술통계량

[Table 5] Data Statistics

변수명	평균	표준편차	수량
토목공사비(Y)	8485301.94	9401661.093	170
대지면적(X1)	31062.14	23836.922	170
연면적(X2)	99387.88	87653.625	170
지하층수(X3)	1.95	1.019	170
지상층수(X4)	21.92	11.083	170
동수(X5)	7.85	5.485	170
세대수(X6)	609.83	467.567	170
전체공기(X7)	27.52	7.426	170
토목공기(X8)	17.76	7.116	170
지하층면적(X9)	29973.29	29186.927	170
지상층면적(X10)	69413.54	59748.269	170

건축면적(X11)	6101.74	4989.955	170
토목면적(X12)	26133.45	26099.261	170
건폐율(X13)	22.66	11.188	170
용적률(X14)	228.53	107.122	170

2.5 신뢰도분석

회귀분석 실시에 앞서 독립변수의 신뢰도를 분석한 결과 표 6과 같이 크로바하 알파 값이 0.768로 일반적인 수용기준인 0.6 이상을 충족시켰다[12].

[표 6] 신뢰도분석

[Table 6] Analysis of Reliability

Cronbach - α	항목	항목수	수량
0.768	X1~X14	14	170

2.6 상관분석

피어슨상관계수를 이용한 분석결과 표 7과 같이 14개의 독립변수 중에서 지하층면적(0.897), 연면적(0.871), 지상층면적(0.840), 건축면적(0.791), 세대수(0.731) 등의 순으로 종속변수와의 상관성이 높은 것으로 나타났다. 지하층면적(0.897)이 가장 높은 상관관계를 보이는 것으로 나타나 지하층 면적으로 단순회귀분석을 실시하여 토목공사비를 예측하는 방법 역시 타당성이 있다고 판단되나, 토목공사비와 높은 상관관계를 가지고 있는 지하층 면적 이외의 연면적(0.871), 지상층면적(0.840), 건축면적(0.791), 세대수(0.731) 등의 독립변수들에 대해 고려하지 않아 그 한계점을 가지고 있다고 분석된다.

3. 공사비 실증분석

3.1 전국 적용 예측모델

전국 적용 예측모델은 다중회귀분석의 후진제거법에 의해 도출된 회귀식을 바탕으로 종속변수인 토목공사비를 예측하는 모델이다.

후진제거법은 초기 모형이 완전모형이라는 가정하에 시작하여 불필요한 독립변수를 제거시켜 나가는 방식을 의미한다.

첫 단계에서는 모든 독립변수를 포함하는 회귀모형을 적합화한 후에 기여도가 가장 낮은 독립변수를 찾고, 그 변수에 대한 부분 F검증이 유의수준에서 유의하면 완전모형으로 귀착되고, 그렇지 않으면 그 독립변수를 제거하고 다음단계로 넘어간다[13].

[표 7] 피어슨상관 분석결과

[Table 7] Analysis of Pearson's Correlation

Pearson상관	Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14
Y	1														
X1	.578**	1													
X2	.871**	.788**	1												
X3	.598**	.188**	.523**	1											
X4	.628**	.317**	.714**	.512**	1										
X5	.523**	.899**	.657**	.199**	.131*	1									
X6	.731**	.930**	.904**	.377**	.513**	.841**	1								
X7	.573**	.472**	.661**	.572**	.769**	.354**	.595**	1							
X8	.380**	.478**	.477**	.329**	.480**	.409**	.519**	.695**	1						
X9	.897**	.690**	.970**	.607**	.732**	.578**	.833**	.673**	.456**	1					
X10	.840**	.819**	.993**	.471**	.690**	.681**	.919**	.641**	.477**	.935**	1				
X11	.791**	.763**	.917**	.451**	.587**	.709**	.836**	.585**	.395**	.885**	.913**	1			
X12	.388**	.774**	.538**	.087	.160*	.688**	.693**	.335**	.378**	.441**	.573**	.503**	1		
X13	.154*	-.35**	.081	.237**	.232**	-.32**	-.16*	-.059	-.27**	.168*	.036	.211**	-.39**	1	
X14	.535**	-.063	.497**	.597**	.731**	-.15*	.230**	.491**	.186**	.548**	.462**	.379**	-.14*	.579**	1

*상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의합니다. **상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의합니다.

[표 8] 전국 적용 예측모델 회귀분석 결과

[Table 8] Results of Regression analysis

모형 요약	R	R 제곱		수정된 R 제곱		추정값의 표준오차		Durbin-Watson	
	0.902	0.814		0.811		4089001.285		1.669	
분산분석		제곱합		자유도	평균제곱	F	유의확률		
	회귀모형	1.216E+16		3	4.054E+15	242.477	0.000		
	잔차	2.776E+15		166	1.672E+13				
	합계	1.494E+16		169					
계수	독립변수	비표준화계수		표준화계수	t	유의확률	공선성 통계량		
		B	표준오차	베타(기여도)			공차한계	VIF	
	(상수)	-372081.404	791790.695		-0.470	0.639			
	X4	-132583.321	51059.234	-0.156 (12.69%)	-2.597	0.010	0.309	3.237	
	X9	301.703	15.812	0.937 (76.24%)	19.080	0.000	0.464	2.153	
X14	11906.782	4306.483	0.136 (11.07%)	2.765	0.006	0.465	2.151		

후진제거법에 의한 회귀분석 결과, 8개의 모형이 도출되었고, 이 중에서 결정계수 값이 가장 높고 유의수준, 공선성 등이 분석기준에 적합한 모형8을 예측모델로 채택하였다.

회귀분석결과는 표 8과 같다.

모형요약에서는 독립변수와 종속변수의 상관계수는 R=0.902로 나타나고, 회귀식의 예측력을 검증하기 위한 결정계수 값은 R²=0.814로 종속변수 총 변동의 81.4%를

회귀식으로 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 이는 회귀 분석에 사용된 공사비 자료들의 81.4%가 표본회귀선에 적합하다는 의미이다.

또한 수정된 R² 값은 0.811로 도출되어 회귀식의 설명력이 매우 높은 것으로 나타났다.

Durbin-Watson 값은 1.669로 기준 값인 2에 매우 근접하고 0 또는 4에 가깝지 않기 때문에 잔차들 간에 상관관계가 없는 것으로 나타났다[14].

회귀모형에 대한 선형성 검정을 위한 분산분석에서는 F=242.477, 유의확률이 0.000으로 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의하므로 회귀모형이 타당한 것으로 분석되었다.

계수에서는 회귀식의 상수값이 -372081.404이며, 유의확률 0.05 이하의 통계학적으로 유의하게 도출된 독립변수는 지상층수(X4), 지하층면적(X9), 용적율(X14)이다.

베타(기여도) 분석결과 공동주택 토목공사비에 영향을 미치는 정도를 나타내는 기여도가 가장 높은 독립변수로는 지하층 면적(76.24%)으로 나타났다.

또한 지상층수(12.69%), 용적율(11.07%)의 순으로 기여도가 높은 것으로 분석되었다.

공선성 진단 결과 공차한계 값이 0.1 이하의 값이 없고, VIF 값도 10 이상인 값이 없는 것으로 나타나 독립변수들 간에 공선성은 없는 것으로 검정되었다[15].

분석결과 도출된 회귀식은 다음과 같다.

$$Y = -372081.404 - 132583.321(X4) + 301.703(X9) + 11906.782(X14)$$

3.2 사유지 적용 예측모델

사유지 적용 예측모델은 다중회귀분석의 후진제거법에 의해 도출된 회귀식을 바탕으로 종속변수인 토목공사

비를 예측하는 모델이다.

회귀분석 결과, 8개의 모형이 도출 되었고, 이 중에서 결정계수 값이 가장 높고 유의수준, 공선성 등이 분석기준에 적합한 모형8을 예측모델로 채택하였다.

회귀분석결과는 표 9와 같다.

모형요약에서는 독립변수와 종속변수의 상관계수는 R=0.946으로 나타나고, 회귀식의 예측력을 검정하기 위한 결정계수 값은 R²=0.894로 종속변수 총 변동의 89.4%를 회귀식으로 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 이는 회귀분석에 사용된 공사비 자료들의 89.4%가 표본회귀선에 적합하다는 의미이다.

또한 수정된 R² 값은 0.890으로 도출되어 회귀식의 설명력이 매우 높은 것으로 나타났다.

Durbin-Watson 값은 1.474로 기준 값인 2에 매우 근접하고 0 또는 4에 가깝지 않기 때문에 잔차들 간에 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

회귀모형에 대한 선형성 검정을 위한 분산분석에서는 F=188.878, 유의확률이 0.000으로 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의하므로 회귀모형이 타당한 것으로 분석되었다.

계수에서는 회귀식의 상수값이 1058798.825이며, 유의확률 0.05 이하의 통계학적으로 유의하게 도출된 독립변수는 세대수(X6), 지하층면적(X9), 토목면적(X12)이다.

베타(기여도) 분석결과 공동주택 토목공사비에 영향을 미치는 정도를 나타내는 기여도가 가장 높은 독립변수로는 지하층 면적(74.72%)으로 나타났다.

또한 세대수(18.43%), 토목면적(6.85%)의 순으로 기여도가 높은 것으로 분석되었다.

공선성 진단 결과 공차한계 값이 0.1 이하의 값이 없고, VIF 값도 10 이상인 값이 없는 것으로 나타나 독립변수들 간에 공선성은 없는 것으로 검정되었다. 도출된 회귀

[표 9] 사유지 적용 예측모델 회귀분석 결과
[Table 9] Results of Regression analysis

모형 요약	R	R 제곱		수정된 R 제곱		추정값의 표준오차		Durbin-Watson	
	0.946	0.894		0.890		3165588.538		1.474	
분산분석		제곱합		자유도	평균제곱	F	유의확률		
	회귀모형	5.678E+15		3	1.893E+15	188.878	0.000		
	잔차	6.714E+14		67	1.002E+13				
	합계	6.350E+15		70					
계수	독립변수	비표준화계수		표준화계수		유의확률	공선성 통계량		
		B	표준오차	베타	t		공차한계	VIF	
	(상수)	1058798.825	627172.533		1.688	0.096			
	X6	-6274.696	1696.589	-0.280	-3.698	0.000	0.275	3.635	
	X9	337.033	20.146	1.135	16.730	0.000	0.343	2.915	
X12	31.686	14.638	0.104	2.165	0.034	0.681	1.469		

식은 다음과 같다.

$$Y=1058798.825 - 6274.696(X6) + 337.033(X9) + 31.686(X12)$$

3.3 조합부지 적용 예측모델

조합부지 적용 예측모델은 후진제거법에 의해 도출된 회귀식을 바탕으로 종속변수인 토목공사비를 예측하는 모델이다.

분석 결과, 10개의 모형이 도출 되었고, 이중 분석기준에 적합한 모형10을 예측모델로 채택하였다.

회귀분석결과는 표 10과 같다.

모형요약에서는 독립변수와 종속변수의 상관계수는 R=0.926으로 나타나고, 회귀식의 예측력을 검정하기 위한 결정계수 값은 R²=0.857로 종속변수 총 변동의 85.7%를 회귀식으로 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 이는 회귀분석에 사용된 공사비 자료들의 85.7%가 표본회귀선에 적합하다는 의미이다.

또한 수정된 R² 값은 0.852로 도출되어 회귀식의 설명력이 매우 높은 것으로 나타났다.

Durbin-Watson 값은 1.836로 기준 값인 2에 매우 근접하고 0 또는 4에 가깝지 않기 때문에 잔차들 간에 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

회귀모형에 대한 선형성 검정을 위한 분산분석에서는 F=159.246, 유의확률이 0.000으로 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의하므로 회귀모형이 타당한 것으로 분석되었다.

계수에서는 회귀식의 상수값이 -963756.669이며, 유의확률 0.05 이하의 통계학적으로 유의하게 도출된 독립변수는 지하층면적(X9), 건축면적(X11)이다.

베타(기여도) 분석결과 공동주택 토목공사비에 영향을 미치는 정도를 나타내는 기여도가 가장 높은 독립변수로는 지하층 면적(65.79%), 건축면적(34.21%)의 순으로 기여도가 높은 것으로 분석되었다.

공선성 진단 결과 공차한계 값이 0.1 이하의 값이 없고, VIF 값도 10 이상인 값이 없는 것으로 나타나 독립변수들 간에 공선성은 없는 것으로 검정되었다. 도출된 회귀식은 다음과 같다.

$$Y=-963756.669+242.676(X9)+773.348(X11)$$

3.4 공공부지 적용 예측모델

공공부지 적용 예측모델은 다중회귀분석의 후진제거법에 의해 도출된 회귀식을 바탕으로 종속변수인 토목공사비를 예측하는 모델이다. 회귀분석 결과, 9개의 모형이 도출 되었고, 이중에서 분석기준에 적합한 모형9을 예측 모델로 채택하였다.

회귀분석결과는 표 11과 같다.

모형요약에서는 독립변수와 종속변수의 상관계수는 R=0.912으로 나타나고, 회귀식의 예측력을 검정하기 위한 결정계수 값은 R²=0.833으로 종속변수 총 변동의 83.3%를 회귀식으로 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 이는 회귀분석에 사용된 공사비 자료들의 83.3%가 표본회귀선에 적합하다는 의미이다.

또한 수정된 R² 값은 0.815로 도출되어 회귀식의 설명력이 매우 높은 것으로 나타났다.

Durbin-Watson 값은 2.312로 기준 값인 2에 매우 근접하고 0 또는 4에 가깝지 않기 때문에 잔차들 간에 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

회귀모형에 대한 선형성 검정을 위한 분산분석에서는

[표 10] 조합부지 적용 예측모델 회귀분석 결과
[Table 10] Results of Regression analysis

모형 요약	R	R 제곱		수정된 R 제곱		추정값의 표준오차	Durbin-Watson	
	0.926	0.857		0.852		4401884.545	1.836	
분산분석		제곱합		자유도	평균제곱	F	유의확률	
	회귀모형	6.171E+15		2	3.086E+15	159.246	0.000	
	잔차	1.027E+15		53	1.938E+13			
	합계	7.198E+15		55				
계수	독립변수	비표준화계수		표준화계수	t	유의확률	공선성 통계량	
		B	표준오차	베타			공차한계	VIF
	(상수)	-963756.669	850173.382	-1.134	0.262			
	X9	242.676	47.364	0.623	5.124	0.000	0.182	5.492
	X11	773.348	290.626	0.324	2.661	0.010	0.182	5.492

[표 11] 공공부지 적용 예측모델 회귀분석 결과
[Table 11] Results of Regression analysis

모형 요약	R	R 제곱		수정된 R 제곱		추정값의 표준오차		Durbin-Watson
		0.912	0.833		0.815		2292464.472	
분산분석		제공합		자유도	평균제곱	F	유의확률	
	회귀모형	9.933E+14		4	2.483E+14	47.252	0.000	
	잔차	1.997E+14		38	5.255E+12			
	합계	1.193E+15		42				
계수	독립변수	비표준화계수		표준화계수		유의확률	공선성 통계량	
		B	표준오차	베타	t		공차한계	VIF
	(상수)	4082013.024	1635884.602		2.495	0.017		
	X8	-141152.364	65628.556	-0.149	-2.151	0.038	0.913	1.095
	X9	145.778	33.818	0.600	4.311	0.000	0.227	4.397
	X11	477.086	188.259	0.399	2.534	0.016	0.178	5.630
	X13	-98726.819	47552.530	-0.181	-2.076	0.045	0.580	1.724

F=47.252, 유의확률이 0.000으로 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의하므로 회귀모형이 타당한 것으로 분석 되었다.

계수에서는 회귀식의 상수값이 4082013.024이며, 유의확률 0.05 이하의 통계학적으로 유의하게 도출된 독립 변수는 토목공기(X8), 지하층면적(X9), 건축면적(X11), 건폐율(X13)이다.

베타(기여도) 분석결과 공동주택 토목공사비에 영향을 미치는 정도를 나타내는 기여도가 가장 높은 독립변수로는 지하층 면적(45.14%)으로 나타났다.

또한 건축면적(30.02%), 건폐율(13.62%), 토목공기(11.21%)의 순으로 기여도가 높은 것으로 분석되었다.

공선성 진단 결과 공차한계 값이 0.1 이하의 값이 없고, VIF 값도 10 이상인 값이 없는 것으로 나타나 독립 변수들 간에 공선성은 없는 것으로 검증되었다. 도출된 회귀식은 다음과 같다.

$$Y=4082013.024 - 141152.364(X8) + 145.778(X9) + 477.086(X11) - 98726.819(X13)$$

4. 예측모델의 검증

2012년 1월 1일에서 2012년 5월 31일까지 한국건설감리협회에 등록된 총 21개의 공동주택 공사비 자료를 이용하여 전국 적용 예측모델, 사유지 적용 예측모델, 조합부지 적용 예측모델, 공공부지 적용 예측모델로 구분한 예측공사비를 산정하였고, 이를 검증대상 공사비와 비교

한 결과[표 12] 평균 오차율은 전국 적용 예측모델 15.59%, 사유지 적용 예측모델 17.53 %, 조합부지 적용 예측모델 21.86%, 공공부지 적용 예측모델 13.08%로 나타났다.

이는 공동주택 건설사업 초기단계에서 토목공사비 예측에 관한 기존 연구가 없어 객관적인 비교가 불가능하나, 기존에 사용 하던 단위면적당 단가 방식에 비하여 우수한 예측 정확도를 가지고 있으며, 향후 공동주택 건설사업 초기단계에서 토목공사비 산정업무에 적용 가능성이 높다고 판단할 수 있다.

[표 12] 예측모델의 검증결과
[Table 12] Testing of Cost Prediction Model

NO	오차율			
	전국	사유지	조합부지	공공부지
1	-9.14%	-13.56%		
2	3.49%	-7.03%		
3	73.51%	32.49%		
4	-39.63%	-28.91%		
5	68.21%	23.78%		
6	6.27%	-1.93%		
7	27.06%	-29.61%		
8	19.13%	19.67%		
9	24.48%	29.13%		
10	-2.65%		-2.63%	
11	-17.61%		8.21%	
12	-4.64%		24.19%	
13	11.17%		43.84%	
14	-18.22%		19.73%	
15	-17.80%		-5.83%	

16	-26.32%		-12.03%	
17	-35.12%		-29.84%	
18	-5.40%			-24.15%
19	-17.96%			21.27%
20	15.32%			15.18%
21	4.06%			0.70%
평균	15.59%	17.53%	21.86%	13.08%

5. 결론

본 연구의 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

전국 적용 예측모델은 결정계수 값이 0.814이며, 각 통계량에 대한 신뢰도분석, 분산분석, 상관분석, 유의수준, 공선성 등이 통계학적으로 만족한 결과로 나타났으며 유의확률 0.05 이하의 통계학적으로 유의하게 도출된 독립변수는 지상층수(X4), 지하층면적(X9), 용적율(X14)이다. 또한 이를 검증대상 공사비와 비교한 결과 평균 오차율은 15.59%이며, 예측 정확도는 84.41%의 우수한 결과를 보여 향후 실제 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

사유지 적용 예측모델은 결정계수 값이 0.894이며, 각 통계량에 대한 유의수준, 공선성 등이 통계학적으로 만족하였으며, 유의확률 0.05 이하의 통계학적으로 유의하게 도출된 독립변수는 세대수(X6), 지하층면적(X9), 토목면적(X12)이다.

검증결과 평균 오차율이 17.53%이며, 예측 정확도는 82.47%로 다소 낮게 나타났다.

조합부지 적용 예측모델은 결정계수 값이 0.857이며, 각 통계량에 대한 유의수준, 공선성 등이 통계학적으로 만족하였으며, 유의확률 0.05 이하의 통계학적으로 유의하게 도출된 독립변수는 지하층면적(X9), 건축면적(X11)이다.

검증결과 평균 오차율이 21.86%이며, 예측 정확도는 78.14%로 아주 낮게 나타났다. 또한 예측공사비와 검증대상 공사비간의 오차율 변동이 매우 커 조합부지 적용 예측모델은 실제 적용하기에는 다소 무리가 있을 것으로 판단된다.

공공부지 적용 예측모델은 결정계수 값이 0.833이며, 각 통계량에 대한 유의수준, 공선성 등이 통계학적으로 만족한 결과로 나타났으며, 유의확률 0.05 이하의 통계학적으로 유의하게 도출된 독립변수는 토목공기(X8), 지하층면적(X9), 건축면적(X11), 건폐율(X13)이다.

또한 이를 검증대상 공사비와 비교한 결과 평균 오차율은 13.08%이며, 예측 정확도는 86.92%의 매우 우수한 결과를 보여 전국 적용 예측모델과 더불어 향후 실제 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

조합부지 적용 예측모델의 상당한 오차율 발생은 사유지와 공공부지에 비해 사업기간이 길고, 기부채납면적, 대지면적, 용적율, 건폐율, 세대수 등의 사업계획이 자주 변경되어 이에 따른 공사비의 변동 폭이 큰 것에 기인한 것으로 판단된다.

4가지 형태의 예측모델로 분석한 결과 전국 적용 예측모델과 공공부지 적용 예측모델이 공동주택 토목공사비 예측방법으로 향후 실제 적용이 가능하다고 판단되어진다.

본 연구를 통해서 개발된 토목공사비 예측모델은 사업 초기단계에서 건설공사 개요 수준의 소수의 데이터만으로 실제공사비에 근접하게 개략공사비를 추정할 수 있는 유용한 예측모델이다.

특히 발주자의 입장에서 공동주택 건설사업 초기단계에서 사업 타당성 검토 및 자금계획 수립 등 신속한 의사결정이 필요한 때에 경험과 지식이 부족한 담당자들도 쉽게 이해하고, 사용할 수 있어 공동주택 토목공사비 산정 실무에 유용하게 사용될 것으로 예상된다.

References

- [1] Park ji-hun and Lee hak-ki, "The Accuracy Analysis of Data Mining Cost Prediction Methods by Cost Factors Classification", Journal of The Regional Association of Architectural Institute of Korea, Vol.12, No.3, p.301, 2010.
- [2] Lee Hyun-Soo and Lee Heung-Keun and Park Moonseo, "Conceptual Cost Estimating System Development for Public Apartment Projects", Korean Journal of Construction Engineering and Management, Vol.13, No.4, p.152, 2012.
- [3] Raftery J. J., "The State of cost modelling in the UK construction industry:A multi criteria approach", Building cost modelling and computers by P.S. Brandon London, E & PN Spon, p.49-71, 1987.
- [4] Lhee Sang-Choon, "A Study on Comparing Prediction Accuracy of Construction Cost on Apartment Housing Projects at the Early Project Stage - Focused on Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization Methods", Journal of The Regional Association of Architectural Institute of Korea, Vol.13, No.3, p.227-228, 2011.
- [5] Park Woo-Yull and Cha Jung-Hwan and Kang Kyung-In, "A Neural Network Cost Model for Apartment Housing Projects in the Initial Stage", Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 18, No.7, p.155-156, 2002.

[6] Kim Seong-Hee, "An Empirical Analysis on the Presumption of Public Apartment's Construction Cost in Housing Land Development Project", Korean Journal of Construction Engineering and Management, Vol.12, No.2, p.81, 2011.

[7] An Sung-Hoon and Kang Kyung-In, "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, Vol.21, No.5, p.137, 2005.

[8] Kim Seong-Hee, "An Empirical Analysis on the Presumption of Public Apartment's Construction Cost in Housing Land Development Project", Korean Journal of Construction Engineering and Management, Vol.12, No.2, p.82-83, 2011.

[9] Hair. J, "Multivariate data analysis", Prentice Hall New Jersey, 5th Ed, p.176-178, 1998.

[10] Ji Soung-Min and Hyun Chang-Taek and Moon Hyun-Seok, "Cost Prediction Model using Qualitative Variables focused on Planning Phase for Public Multi-Housing Projects", Korean Journal of Construction Engineering and Management, Vol.13, No.2, p.97, 2012.

[11] *ibid*, p.97

[12] Song Ji-Joon, "A Statistical Analysis of SPSS & AMOS", p.105-106, 21century-book, 2012.

[13] Kim Seong-Hee, "An Empirical Analysis on the Presumption of Public Apartment's Construction Cost in Housing Land Development Project", Korean Journal of Construction Engineering and Management, Vol.12, No.2, p.85, 2011.

[14] Song Ji-Joon, "A Statistical Analysis of SPSS & AMOS", p.151, 21century-book, 2012.

[15] *ibid*, p.152

하 규 수(Kyu-Soo Ha)

[종신회원]



- 1998년 6월 : 미국 Touro 법과 전문대학원 졸업 (J.D.)
- 1999년 6월 : 미국 Georgetown 법과전문대학원 졸업 (LL.M.)
- 1998년 8월 : 미국 뉴욕주변호사 · 미국 연방변호사
- 2009년 2월 : 한양대학교 대학원 경영학과 (경영학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 벤처전문대학원 벤처 경영학과 부교수

<관심분야>

건설사업관리(C.M), 창업, 벤처, 경영전략

이 진 규(Jin-Kyoo Lee)

[정회원]



- 2003년 8월 : 충북대학교 산업 대학원 건설공학과 (공학석사)
- 2011년 4월 ~ 현재 : (주)신한 종합건축사사무소 C.M본부 차장
- 2010년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 벤처전문대학원 벤처경영학과 박사과정

<관심분야>

건설사업관리(C.M), 부동산, 금융, 경영전략