

공공아파트 계획설계단계에서의 공사비 예측모델

Cost prediction model of Public Multi-housing Projects in Schematic Design Phase

권호석* 문현석** 이성균*** 홍태훈**** 구교진***** 현창택*****
 Kwon, Ho-Suk Moon, Hyun-Seok Lee, Sung-Kyun Hong, Tae-Hoon Koo, Kyo-Jin Hyun, Chang-Taek

요 약

국내 건설산업의 공공 발주자는 사업의 초기단계의 사업비관리에 대한 중요성을 충분히 인식하고 있음에도 불구하고 체계화된 공사비 산정시스템을 보유하고 있지 못한 실정이다. 이에 신규 공공 건설공사를 기획하고 사업비를 책정하는 단계에서는 예산을 수립하는 담당자가 기존의 실적데이터와 경험을 바탕으로 공사비를 추정하고 있으며, 기본설계단계와 실시설계단계 이후 산정된 공사비를 책정된 예산과 비교 후 사업의 추진여부를 검토하거나 설계내용을 예산에 맞도록 변경하고 있다. 이에 본 연구에서는 공공아파트의 사업초기단계에서 공사비를 산정할 수 있는 공공아파트 계획설계단계에서의 공사비 예측 모델을 개발하고자 하였다. 본 연구의 결과를 바탕으로 계획설계단계에서 공사비를 예측하고 사업비 및 전반적인 설계를 관리한다면 지금보다 더 효율적인 방법으로 국가의 재원을 적절하게 책정하고 집행할 수 있을 것으로 판단된다.

키워드: 공공아파트, 계획설계단계, 공사비, 공간별 분류체계, 공사비 예측모델

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

정부는 1998년 ~ 1992년에 실시되었던 '주택 200만호 건설' 정책에 이어 '참여복지와 삶의 질 향상'을 위한 주요 국가 정책 사업으로 1998년부터 건설이 시작된 국민 임대주택을 2003년 ~ 2012년 동안 100만호를 건설하는 '임대주택정책'을 추진하고 있다 (진정수 2006). 총 사업비가 10년간 66.8조원이 투입되는 것으로 추정되는 본 사업은 국가예산, 국민주택기금, 입주자 및 공공 발주기관이 일정비율을 부담하는 형식으로 재원을 조달

하고 있으며, 정부는 택지 확보 및 세제혜택 등으로 '임대주택정책'을 정책적으로 지원하고 있다.

이상의 내용과 같이 공공아파트는 국가재원이 많이 투입되는 공공 건설공사이다. 그러나 현재의 공공 발주기관은 체계적인 건축공사비 예측모델을 보유하고 있지 않기 때문에, 신규 사업의 예산 책정 시, 기존의 실적데이터와 담당자의 경험 등을 바탕으로 공사비를 추정하고 있다. 정확한 공사비를 예측할 수 없는 한계를 가지고 있다.

따라서 공공 발주기관이 계획설계단계에서 적정 공사비를 예측할 수 있는 건축공사비 예측모델을 보유하게 된다면, 지금보다 더 효율적인 방법으로 국가재원을 적절하게 책정할 수 있다.

본 연구에서는 공공아파트의 계획설계단계에서의 공사비를 합리적으로 예측하고 시공관리의 전반에 걸친 공사비의 정확성 검토에 활용할 수 있는 공공아파트 계획설계단계에서의 공사비 예측모델을 개발하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 공사비 분석을 실시하여, 공공아파트 계획설계 단계에서의 건축공사비를 예측하고 공사비의 변동에 영향을 미치는 요인을 파악해 보고자 하였다. 한편 기존의 공사비 분류체계는 공종별 분류체계를 따르고 있어 현행 공사비 산정 체계가

* 학생회원, 서울시립대학교 건축학부 학사과정, kwonfan@hanmail.net
 ** 일반회원, 서울시립대학교 건축공학과 박사과정, hanulgrim@uos.ac.kr
 *** 학생회원, 서울시립대학교 건축학부 학사과정, atlanc@naver.com
 **** 일반회원, 서울시립대학교 건축학부 조교수, 공학박사(교신저자), hong7@uos.ac.kr
 ***** 종신회원, 서울시립대학교 건축학부 부교수, 공학박사, kook@uos.ac.kr
 ***** 종신회원, 서울시립대학교 건축학부 교수, 공학박사, cthyun@uos.ac.kr

본 연구는 건설교통부 건설교통R&D 정책인프라사업의 연구비 지원에 의한 연구의 일부임. 과제번호 06기반구축A03

설계 중심이라기보다는 시공 시 하도급을 주는 공중 중심이다. 이러한 분류체계를 바탕으로 계획설계단계에서 공사비를 예측하는 것은 무리가 있다.

따라서 본 연구에서는 공공아파트의 특성을 반영하고 국내 주택정책의 일환으로 시행되고 있는 서울시 분양가 공개양식 항목 등을 고려하여 개발된 서울시립대학교 (2007)의 공간별 분류체계를 바탕으로 분석을 실시하였다.

분석은 공공아파트 47개 동을 대상으로 하였다. 그리고 공공아파트의 공사비 예측모델 개발에 기초자료가 되는 공간별 건축공사비 구성비와 공사비 변동에 영향을 미치는 영향요인들을 파악하였다. 분석은 주택부문으로 한정하였으며, 본 연구의 흐름은 다음과 같다

첫째, 국내에서 적용하고 있는 설계단계 프로세스를 확인하고, 선행연구를 통하여 건축공사의 공사비 예측기법과 본 연구에서 활용하고자 하는 회귀분석에 대해서 살펴보았다.

둘째, 본 연구에서 적용하고자 하는 공간별 건축공사비 분류체계를 분석한 후 공공아파트의 건축공사비 실적데이터를 분류체계에 따라 분석하였다. 그리고 계획설계단계에서 확인이 가능하고 건축공사비에 영향을 주는 영향요인을 도출하였다.

셋째, 공공아파트 건축공사비와 영향요인간의 상관관계를 분석하고, 분석결과에 따라 독립변수를 설정 후 공공아파트 계획설계단계에서의 공사비 예측모델을 개발하였다. 이 모델은 총공사비 기반 예측모델과 공중별 공사비 기반 예측모델로 구분하여 개발되었다.

마지막으로, 개발된 두 가지의 모델을 실제 사례를 바탕으로 사례분석을 실시하고, 결과를 분석하여 공공아파트에 적절한 공사비 산정모델을 본 연구의 결과로 제안하였다.

2. 선행연구 분석

2.1 건설교통부의 기획 및 설계단계 Process

건설교통부 (2003)에서는 건축법 제19조 제2항의 규정에 따라 건축물의 설계도서작성기준을 '기획업무', '계획설계', '중간설계', '실시설계', '사후설계관리업무' 등 다섯 단계로 구분하였다. 각각의 단계별 내용을 정리하면 표 1과 같다.

표 1. 건설교통부의 기획 및 설계단계 Process

구분	내용
기획업무	건축물의 규모, 형태, 현상조사, 설계지침 등 건축설계 발주에 필요하여 건축주가 사전에 요구하는 설계업무
계획설계	건축사가 건축주로부터 제공된 자료와 기획업무 내용을 참조하여 건축물의 규모, 예산, 기능, 질, 미관적 측면에서 설계목표를 정하고 가능한 해법을 제시하는 단계

구분	내용
중간설계	계획설계 내용을 구체화하여 발전된 안을 정하고, 실시설계단계에서의 변경 가능성을 최소화하기 위해 다각적인 검토가 이루어지는 단계로서, 연관분야의 시스템 확정에 따른 각종 자재, 장비의 규모, 용량이 구체화된 설계 도서를 작성하여 건축주로부터 승인을 받는 단계
실시설계	기본설계를 바탕으로 입찰, 계약, 공사에 필요한 설계 도서를 작성하는 단계로, 공사의 범위, 양, 질, 치수, 위치, 재질 등을 결정하여 설계 도서를 작성
사후설계 관리업무	건축설계가 완료된 후 공사시공 과정에서 건축사의 설계의도가 충분히 반영되도록 설계 도서의 해석, 지문, 현장여건 변화 및 업체선정에 따른 자재와 장비의 치수, 위치, 재질 등의 선정 및 변경에 대한 검토·보완 등 수행

2.2 건축공사 공사비 예측기법

연구자별 공동주택 건축공사비 예측기법에 대한 분석 결과를 정리하면 표 2와 같다.

표 2. 연구자별 공동주택 건축공사비 예측모델 분석

no	저자	건축공사비 예측기법
1	김기동 외 (1990)	• 회귀분석
1	박우열 외 2명 (2002)	• 회귀분석 • 인공신경망
2	김광희, 강경인 (2003)	• 인공신경망 • 유전자알고리즘
3	이유섭 (2003)	• 중요항목 비용모델지수를 적용한 회귀분석
4	김광희, 강경인 (2004)	• 회귀분석 • 인공신경망 • 유전자알고리즘5김광희 외 2명 (2004) • 사례기반추론 • 인공신경망 • 회귀분석 • 경시하강법
6	김광희, 강경인 (2004)	• 사례기반추론 • 회귀분석7박우열 외 2명 (2004) • 회귀분석
8	전석환, 최인성 (2005)	• 회귀분석
9	김광희 외 2명 (2006)	• 신경망 • 유전자알고리즘
10	Kamal et al. (1994)	• 인터뷰, 설문지 표본조사
11	Oberlender and Trost (2001)	• 요소분석/회귀분석
12	Karshenas and Tse (2002)	• 사례기반추론
13	Trost and Oberlender (2003)	• 요소분석/회귀분석
14	Attalla and Hegazy (2003)	• 회귀모형
15	Kim et al. (2005)	• 인공신경망
16	Soulos and Lowe (2005)	• BPN/T&E • BPN/GAs • NNS/GAs
17	Lowe et al. (2006)	• 선행회기모델
18	Dogan et al. (2006)	• 인공신경망

위의 표에 따르면, 건축공사비 산정방법에 의한 결과 값은 총공사비로 도출되었다. 그리고 산정방법은 일반적으로 회귀분석, 인공신경망, 사례기반추론 등이 이용되고 있었다. 그러나 인공신경망은 적절한 제어변수를 찾는 과정에서 시행착오적인 방법으로 반복될 수 있다 (김광희 외 2004). 그리고 사례기반추론은 충분한 데이터의 수가 존재해야 하고, 가중치를 결정하는 과정이 명확히 정립되지 못한다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 분석데이터의 수가 47개로 그 수가 적음을 감안할 때, 회귀분석을

이용한 예측모델을 개발하는 것이 타당할 것으로 판단되었다.

2.2 회귀분석

회귀분석(regression analysis)이란 변수들 간의 함수적인 관련성을 규명하기 위하여 어떤 수학적 모형을 가정하고, 이모형을 측정된 변수들의 자료로부터 추정하는 통계적 분석방법을 말한다(김우철 2003).

건축공사는 공사종류, 공사기간, 연면적, 대지면적, 층수, 동수, 세대수, 공사비, 지반조건 등과 같은 수많은 변수들이 존재한다. 이 변수들은 상호간에 상관관계를 가지고 있다. 물론 그것이 통계적으로 유효할 수도 또는 유효하지 않을 수도 있지만, 그 변수들은 나름대로의 의미를 가지고 있다. 상관분석은 이러한 두 변수 또는 둘 이상의 변수간의 상관정도를 분석하여 두 변수간 선형적 강도만 측정하는 것이지만, 회귀분석은 변수들 간의 관계를 함수로 표현하여 하나의 변수 값에 대하여 다른 변수의 값을 추정, 예측하는데 목적을 두고 있다(문명상 2003).

유의성 검정은 F값 또는 P값을 이용하여 귀무가설의 채택 또는 기각여부를 판단할 수 있다. 다중회귀분석에서 결정계수(coefficient of determination, R)의 값은 종속변수의 총 변동에 대한 독립변수들의 설명력의 크기를 나타내는 척도이기 때문에 0의 범위를 갖게 된다. 즉 R의 값이 1에 가까울수록 독립변수의 설명력이 크고 추정된 회귀식의 적합도가 높다는 것을 의미하며, 0에 가까울수록 설명력이 약해지고 적합도가 떨어진다는 것을 의미한다. 다중회귀분석에서는 회귀식에 포함되는 독립변수의 수가 늘어나면 다중결정계수 R의 값은 높아지게 마련이다. 다중회귀분석에서는 이러한 결정계수의 단점을 보완하기 위하여 수정 결정계수(adjusted coefficient of determination,)를 이용한다.

3. 공공아파트 건축공사비 분석

3.1 공간별 건축공사비 분류체계

현재 국내에서 적용하고 있는 공사비 분류체계는 대부분 공종별 분류체계로 구성되어 있어 프로젝트의 초기단계에서 공종별 공사비 분류체계와 설계단계와의 연계성을 파악하기 힘들기 때문에, 공사비를 예측함에 있어 어려움이 있다(박환표 외 2004).

이에 본 연구에서는 서울시립대학교(2007)에서 개발한 공간별 공사비 분류체계를 적용하여 공사비를 분석하였다. 서울시립

대학교의 공간별 공사비 분류체계는 공공아파트를 발주하고 있는 공공기관의 공사비 분류체계와 서울시에서 정책적으로 시행하고 있는 아파트 분양원가 공개서식 등을 바탕으로 개발한 것이다.

공간별 공사비 분류체계는 기존 공종별 건축공사비를 주택부문(공공아파트 지상 부분), 주택외부문(부대시설 및 단지조성 부분), 가산부문(토공사, 지하공사 부분 등), 부대비부문(분양관련 비용, 수탁비용 부분 등), 간접비부문(간접노무비, 일반관리비 부분 등) 등 공간을 기준으로 구성되어 있다.

기존의 공종별 분류체계를 공간별 분류체계로 변환하는 기본 개념은 그림 1과 같다.

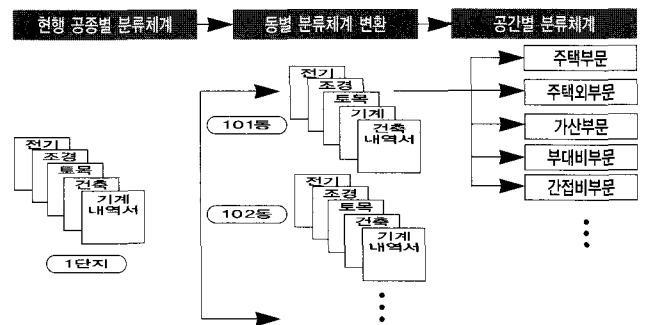


그림 1. 내역서 변환 기본개념

공공아파트의 공간별 분류체계는 표 3과 같다.

표 2. 연구자별 공동주택 건축공사비 예측모델 분석

공간별 공사비 항목									
대분류	중분류	세분류	세세분류	01	02				
주택부문	A	건축부문	01	골조	01	지정 기초공사	01		
						철골 및 용접공사	02		
						철근 CON'C공사 (작업부산물)	03		
						조적공사(조적, 블록)	04		
						마감	02	미장공사	01
								방수방습공사	02
								목공사	03
								내부경량칸막이공사	04
								가구공사	05
								골속공사	06
		지붕 및 흡통공사	07						
		창호공사(주동)	08						
		창호공사(발코니)	09						
		유리공사	10						
		타일공사	11						
		틀공사	12						
		도장공사	13						
		수장공사	14						
		잡공사	15						
		기타	03	공동시설공사	01				
				가설공사	02				
				골재비 및 운반비	03				
				폐기물처리비	04				
				품질관리비(건축)	05				
		설비부문	02	옥내	01	전기공사	01		
기계공사	02								
정보통신공사	03								
소화설비(기계)	04								
자동화설비(전기)	05								

		공간별 공사비 항목												
대분류	중분류	세분류	세세분류											
주택의 부분	조경부분	01	단지 조경	01	식재공사	01								
					시설물공사	02								
					포장공사	03								
					부대공사	04								
	건축부분	02	부대 복리 시설	01	관리동	01								
					경비실	02								
					근생시설	03								
					발전기실	04								
	토목부분	03	일반 토목 (아파 트, 상가)	02	토공사(운반비 포함)	01								
					일반토목(상가)	03								
					우·오수공사	03								
					공동구공사	04								
					주요자재대	05								
	설비부분	04	부대 복리 시설	01	관리동 기계공사	01								
					경비실 기계공사	02								
					근생시설 기계공사	03								
					관리동 전기공사	04								
					경비실 전기공사	05								
					근생시설 전기공사	06								
	기타	05	옥외 설비 소방 공사 품질	01	옥외기계공사	01								
옥외전기공사					02									
소방공사					01									
						품질관리비(토목)	01							
가산부분	지하부분	01	건축	01	지하주차장	01								
					피트층	02								
					전기	02								
					전기공사	01								
					정보통신	03								
					정보통신공사	01								
					기계	04								
					기계공사	01								
					소방	05								
					소방공사	01								
	토목	06	토공사	01										
			토류벽체공사	02										
			가시설풀공사	03										
			어스양카공사	04										
			계측공사	05										
주요자재대	06													
기타부분	02	시설물	01	법정최소면적을 초과시설	01									
				인중	02									
간접비 부분	D	간접비 부분	01	간접노 무비	간접노무비	01								
					법정 비용	산재보험료, 안전관리비 등	01							
						일반관 리비등	일반관리비	01						
					이윤		02							
					손해보험료		03							
					부대 비용	04	세금 및 기타	01						
							발주처 소요비용	02						
					분양부 부분	E	분양부 부분	01	분양 비용	분양관련비용	01			
										수탁부 부분	02	토목	시수도 인입공사	01
													도시가스 인입공사	01
지역난방 인입공사	02													
사전인입공사	01													
기타부 부분	03	등기 기타	01	보존등기비용	01									
				기타비용	01									

3.2 공공아파트 건축공사비 분석

공공아파트의 공간별 공사비를 파악하기 위하여 서울시립대학교 (2007)의 공간별 분류체계를 바탕으로 공공아파트 47개 동에 대한 건축공사비 분석을 실시하였다.

분석결과, 주택부분(공공아파트 지상부분)의 건축공사는 전체 총공사비용에서 79.16%를 차지하였다. 그리고 주택외부분(부대 시설 및 단지조성 부분)은 5.25%, 가산부분(토공사, 지하공사 부분 등)은 15.59%로 구성되어 있었다. 공공아파트 건축공사의 공간별 건축공사 공사비의 구성은 표 4와 같다.

표 4. 공공아파트 건축공사 공사비 구성

주택부분 건축공사비	주택외부분 건축공사비	가산부분 건축공사비	합계
79.16%	5.25%	15.59%	100%

표 5. 공공아파트 주택부분 건축공사 공사비 구성

		공간별 공사비 항목		비율
중분류	세분류	세세분류		
건축부분	골조		지정 및 기초공사	2.37%
			철골 및 용접공사	0.07%
			철근 CONC 공사(작업부산물)	21.98%
			조적공사(조적, 블록)	7.42%
			골조합계	31.84%
	마감		미장공사	2.68%
			방수방습공사	0.85%
			목공사	0.50%
			내부경량칸막이공사	0.31%
			가구공사	3.41%
			금속공사	2.31%
			지붕 및 홀통공사	0.16%
			창호공사(주동)	3.48%
			창호공사(발코니)	2.48%
			유리공사	1.00%
			타일공사	1.51%
			들공사	0.97%
			도장공사	1.00%
			수장공사	5.78%
			잡공사	0.10%
마감합계	26.52%			
기타		공동가성공사	3.07%	
		가설공사	2.67%	
		골재비 및 운반비	1.06%	
		폐기물 처리비	0.28%	
		품질관리비(건축)	0.31%	
기타합계	7.39%			
설비부분	옥내	전기공사	5.44%	
		기계공사	3.40%	
		정보통신공사	3.52%	
		소화설비(기계)	0.45%	
		자동탐지설비(전기)	0.60%	
		설비합계	13.41%	
주택부분				79.16%

주택부분 건축공사비를 분석한 결과는 다음과 같다. 주택부분의 중분류 및 세분류 측면에서 분석한 공사비 구성비는 총공사비 대비 건축부분이 65.75%, 설비부분이 13.41%로 나타났다. 또한 건축부분에서는 골조공사가 31.48%, 마감공사가 26.52%, 기타공사가 7.39%로 나타나, 골조공사와 마감공사가 매우 큰 비중을 차지하는 것으로 분석되었다.

또한 공공아파트 47개 동의 주택부분 건축공사 공사비 내역을

세세분류 측면에서 분석한 결과, 철근 CON'C공사와 조적공사는 각각 21.98%, 7.42%로 골조공사에서 가장 큰 비중을 차지하고 있었다. 수장공사, 창호공사(주동), 가구공사, 미장공사는 각각 5.78%, 3.48%, 3.41%, 2.68%순으로 마감분야에서 큰 비중을 차지하였다. 기타공사에서는 공통가설공사 3.07%, 가설공사 2.67%, 설비부문에서는 전기공사가 5.44%, 정보통신공사가 3.52%로 공사비를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 공공아파트 주택부문의 건축공사 공사비 구성을 살펴보면 표 5와 같다.

본 연구에서는 이상의 내용을 바탕으로 총공사비를 예측하기 위하여 대표공종을 도출하였다. 대표공종은 총공사비의 2.5% 이상을 차지하는 공종들을 바탕으로 선정하였으며, 도출된 대표 공종은 예측모델을 개발하는데 활용하였다.

분석은 주택부문 중 건축부문의 골조공사의 철근콘크리트, 조적공사, 마감공사의 미장공사, 가구공사, 주동창호공사, 수장공사를 대상으로 실시하였다. 또한 기타공사에서는 공통가설공사, 가설공사, 전기공사를 분석에 적용하였으며, 설비부문의 옥내공사에서는 기계공사와 정보통신공사를 분석에 반영하였다. 예측 모델을 개발하기 위해 활용한 공공아파트 주택부문의 공사비 분류체계 및 구성비를 살펴보면 표 6과 같다. 표 6의 결과는 회귀식 모델의 계수를 산정하는데 활용되었다.

표 6. 공공아파트 주택부문의 공사비 분류체계 및 구성비

구분	구분	비율
골조 31.84%	철근콘크리트	21.98%
	조적공사	7.42%
마감 26.52%	미장공사	2.68%
	가구공사	3.41%
	주동창호공사	3.48%
	수장공사	5.78%
	공통가설공사	3.07%
기타 7.39%	가설공사	2.67%
	전기공사	5.44%
	기계공사	3.40%
옥내 13.41%	정보통신공사	3.52%
	합계	62.84%
주택부문/총공사비		79.16%

3.3 공사비 영향요소 선정

일반적으로 건축공사비에 영향을 주는 영향요인은 지역, 대지면적, 기초공사, 공사기간, 동수, 평균층수, 지하주차장, 세대당 평균 면적, 연면적, 총 세대수, 마감수준 등 무수히 많다. 그러나 기존의 선행연구에 의하면 건축공사비를 예측하는데 활용이 되는 영향요인을 타당한 근거 없이 공사비를 예측하는 과정에 적용하고 있었다.

건축공사 공사비 영향요인이 명확하게 선정되지 않은 상태에서 도출한 예측 공사비는 예측 정확도 등의 측면에서 신뢰할 수 없게 될 수 있다는 문제가 있다. 또한 이러한 영향요인들 중에서

사업의 계획설계단계에서 사용될 수 있는 요인들은 한정되어 있다. 이에 본 연구에서는 이러한 문제점을 보완하기 위해서 계획설계단계에서의 건축공사비에 직접적인 영향을 주는 공사비 영향요인을 도출하기 위하여 기존의 선행연구 결과를 분석하고 공공아파트를 발주하는 발주기관의 담당자와의 면담을 실시하였다.

선행연구 분석과 담당자와의 면담결과에 따른 계획설계단계에서의 공사비 영향요인은 표 7과 같다.

표 7. 계획설계단계에서의 공사비 영향요인

부지조건	지역성(지역위치)	
	수평적 요소	수직적 요소
규모 요인	건축적 요소	대지면적
		연면적
		용적률
		건축면적
		건폐율
		지상면적
		지하면적
		지하층
		수조경면적
		필로티 규모
	공동주택 요인	층당세대수
		총세대수
		평균평수
		주차장
		주차장면적
주차장 요소	단위주차면적	
	주차대수	
	주동특성	
	길이요소	
	면적요소	
수직적 요소	길이요소	둘레길이
		외장면적
		최고층수
		지상층수
		지상높이
		지하층수
		지하깊이

이상의 내용과 같이 계획설계단계에서 확인할 수 있는 영향요인은 대지면적, 연면적, 용적률, 건축면적, 건폐율, 지상면적, 지하면적, 지하층수, 조경면적, 필로티 규모, 층당세대수, 총세대수, 평균평수, 주차장면적, 단위주차면적, 주차대수, 주동특성, 둘레길이, 외장면적, 최고층수, 지상층수, 지상높이, 지하층수, 지하깊이 등이 있는 것으로 분석되었다.

4. 공사비 예측모델

공사비 예측모델을 개발하기 위하여 앞서 선행연구와 면담을 통하여 공사비 영향요인을 도출하고 공공아파트의 공사비 내역을 분석하였다. 이후 분석결과는 후보 독립변수와 종속변수의 상관관계를 분석하는데 활용되었다. 그리고 각 후보 독립변수들 간의 상관관계를 분석하였으며, 분석내용을 바탕으로 다중회귀 분석을 실시하였다.

본 연구에서는 계획설계단계에서 확인이 가능하고 공사비에

표 8. 후보 독립변수와 종속변수의 피어슨 상관계수

구분	연면적	용적률	건축면적	건폐율	지상면적	필로티 규모	층당 세대수	총세대수	평균 평수	둘레 길이	외장면적	최고 층수	지상 층수	지상 높이	대지면적	조경면적	지하면적	지하 층수	주차장 면적	단위주 차면적	주차 대수	지하 깊이
총공사비	0.79	0.40	0.70	0.32	0.79	0.04	0.66	0.78	0.10	0.66	0.80	0.50	0.44	0.54	0.67	0.67	0.86	0.22	0.87	0.10	0.83	0.15
골조	0.58	0.45	0.52	0.10	0.58	0.08	0.52	0.59	0.14	0.74	0.86	0.34	0.31	0.51	0.41	0.43	0.73	0.40	0.73	0.16	0.64	0.18
마감	0.88	0.33	0.79	0.37	0.88	0.09	0.59	0.70	0.11	0.70	0.85	0.52	0.44	0.34	0.79	0.74	0.84	0.01	0.84	0.16	0.87	0.04
기타	0.15	0.28	0.30	0.12	0.16	0.13	0.23	0.10	0.01	0.44	0.15	0.20	0.23	0.29	0.26	0.26	0.15	0.20	0.14	0.01	0.15	0.08
옥내	0.63	0.48	0.53	0.21	0.63	0.07	0.59	0.70	0.22	0.55	0.70	0.45	0.41	0.52	0.47	0.48	0.75	0.35	0.76	0.04	0.69	0.13
철근콘 크리트	0.67	0.21	0.63	0.26	0.67	0.18	0.50	0.57	0.03	0.75	0.86	0.37	0.32	0.37	0.61	0.59	0.65	0.06	0.65	0.09	0.67	0.02
미장공사	0.77	0.21	0.71	0.34	0.77	0.04	0.57	0.66	0.03	0.69	0.86	0.43	0.36	0.34	0.72	0.71	0.74	0.01	0.74	0.0	0.78	0.03
가구공사	0.76	0.21	0.68	0.35	0.76	0.07	0.49	0.60	0.12	0.65	0.84	0.45	0.37	0.29	0.71	0.69	0.72	0.01	0.72	0.16	0.76	0.04
주동청호	0.69	0.37	0.60	0.27	0.69	0.02	0.49	0.60	0.03	0.63	0.79	0.43	0.38	0.37	0.58	0.52	0.67	0.03	0.67	0.06	0.88	0.08
수장공사	0.86	0.28	0.76	0.39	0.86	0.26	0.51	0.63	0.23	0.67	0.85	0.53	0.45	0.34	0.78	0.74	0.82	0.04	0.82	0.28	0.85	0.05
공동가설	0.03	0.18	0.16	0.24	0.04	0.15	0.13	0.00	0.01	0.21	0.04	0.22	0.24	0.31	0.07	0.07	0.03	0.15	0.02	0.02	0.03	0.06
가설공사	0.71	0.05	0.69	0.34	0.72	0.21	0.52	0.58	0.07	0.63	0.71	0.35	0.29	0.27	0.73	0.72	0.70	0.05	0.69	0.12	0.72	0.01
전기공사	0.83	0.33	0.74	0.37	0.83	0.14	0.63	0.74	0.04	0.57	0.75	0.51	0.45	0.37	0.74	0.70	0.81	0.03	0.81	0.10	0.84	0.09
기계공사	0.32	0.43	0.24	0.06	0.32	0.15	0.36	0.43	0.27	0.36	0.44	0.29	0.27	0.48	0.16	0.20	0.49	0.50	0.50	0.05	0.39	0.25
정보통신	0.75	0.40	0.65	0.29	0.75	0.01	0.73	0.83	0.21	0.57	0.72	0.47	0.42	0.41	0.63	0.59	0.77	0.02	0.77	0.12	0.77	0.09

영향을 미치는 영향요인을 독립변수로 설정하였으며, 간접비를 제외한 직접공사파트를 대상으로 실시한 공공아파트의 47개 동의 공사비 내역서 분석결과를 종속변수로 설정하였다. 그리고 분석은 통계프로그램인 SPSS ver12.0을 이용하여 상관관계 분석과 다중회귀분석을 실시하였다.

4.1 독립변수 설정

여기에서는 회귀모델을 개발하기 위하여 독립변수를 설정하고자 후보독립변수와 종속변수간의 상관관계를 분석하였다. 그리고 분석결과를 바탕으로 회귀분석 시 독립변수를 선정하였다.

유의수준 0.05를 기준으로 독립변수와 종속변수의 피어슨 상관관계를 분석한 결과는 표 8과 같다. 상관분석 결과를 바탕으로 상관계수가 0.6이하의 경우에는 상대적으로 상관관계가 떨어진다고 판단하여 본 연구에서 적용하고자 하는 독립변수에서 제외하였다.

분석결과 후보 독립변수 중에서 연면적, 건축면적, 지상면적, 층당세대수, 총세대수, 둘레길이, 외장면적, 대지면적, 조경면적, 주차장면적, 지하주차장층수, 주차대수가 전반적으로 종속변수와의 상관성이 높은 것으로 나타났다.

또한 독립변수들 간의 상관분석을 실시한 결과, 건축면적, 둘레길이, 대지면적 등은 서로 강한 상관관계를 나타내고 있다. 여기서 주의할 점은 독립변수들 간의 강한 상관관계가 있는 것으로 나타나는 것으로 보아 다중회귀분석 시 이 변수들을 그대로 적용하여 회귀분석을 실시하게 된다면 (다중)공선성의 문제가 생길 수 있다는 것이다.

따라서 표 9에서 나타나듯이 0.9 이상에서는 독립변수들 간에 매우 강한 상관관계가 존재하는 경우이므로 (다중)공선성의 문

제를 야기할 수 있다고 판단하여 독립변수에서 제외하였다.

이상의 분석내용을 바탕으로 후보 독립변수 중 건축면적, 층당세대수, 총세대수, 둘레길이, 조경면적, 주차장면적, 주차대수를 공사비 회귀식 모델의 독립변수로 설정하여 분석을 실시하였다.

표 9. 후보 독립변수 간 피어슨 계수

구분	연면적	건축면적	지상면적	층당 세대수	총세대수	둘레 길이	외장 면적	대지 면적	조경 면적	주차장 면적	주차 대수
연면적	1.00	0.88	1.00	0.66	0.81	0.78	0.97	0.92	0.88	0.96	0.99
건축면적	0.88	1.00	0.88	0.78	0.72	0.96	0.87	0.91	0.90	0.84	0.88
지상면적	1.00	0.88	1.00	0.66	0.81	0.79	0.98	0.92	0.88	0.96	0.99
층당 세대수	0.66	0.78	0.66	1.00	0.91	0.77	0.62	0.64	0.65	0.70	0.69
총세대수	0.81	0.72	0.81	0.91	1.00	0.71	0.83	0.71	0.68	0.84	0.83
둘레길이	0.78	0.96	0.79	0.77	0.71	1.00	0.84	0.86	0.86	0.76	0.78
외장면적	0.97	0.87	0.98	0.62	0.83	0.84	1.00	0.95	0.93	0.95	0.97
대지면적	0.92	0.91	0.92	0.64	0.71	0.86	0.95	1.00	0.99	0.85	0.91
조경면적	0.88	0.90	0.88	0.65	0.68	0.86	0.93	0.99	1.00	0.82	0.87
주차장 면적	0.96	0.84	0.96	0.70	0.84	0.76	0.95	0.85	0.82	1.00	0.99
주차대수	0.99	0.88	0.99	0.69	0.83	0.78	0.97	0.91	0.87	0.99	1.00

4.2 총공사비 기반 예측모델 개발

총공사비 기반 예측모델은 독립변수에 의한 회귀식 모델을 바탕으로 총공사비를 예측하는 모델이다. 회귀식 모델은 후진제거법을 적용하여 개발되었다. 후진제거법은 모든 독립변수를 사용해 하나의 회귀방정식을 수립하여 회귀식에 유의적으로 기여하지 못하는 독립변수 값 검정을 실시한 뒤, 그 값이 가장 작은 변수부터 하나씩 제거하고 남은 나머지 독립변수를 활용해서 회귀모형을 재구성하는 방법이다.

이에 독립변수 중 공공아파트의 둘레길이, 조경면적, 주차장면적, 주차대수는 총공사비를 예측하는데 유의성 측면에서 미비하다고 판단하였고 표 10과 같이 후진방식에 의한 총공사비 기

반 예측모델 중 수정된 R²값이 높은 것을 회귀식 모델로 채택하였다.

분석결과에 따라서 총공사비에 대한 회귀모델은 $Y=199.441+3.559A-384.545B+83.984C$ (Y: 공사비(백만 원) A: 건축면적(m²) B: 층당세대수 C: 총세대수)가 도출되었다.

표 10. 총공사비 기반 예측모델

종속변수	입력	번호	회귀식 예측모델	수정된 R ² 값	선정 여부
총공사비	후진	1	$Y=308.514+22.081A-2661.697B+26.810C+3.118D+4.203E+12.652F-537.350$	0.624	X
총공사비	후진	2	$Y=367.812+23.104A-2670.622B+257.926C+4.213E+12.562F-537.134G$	0.644	X
총공사비	후진	3	$Y=462.670+20.381A-2101.005B+212.146C+6.734F-291.180G$	0.648	X
총공사비	후진	4	$Y=262.394+5.897A-640.768B+105.758C-20.148G$	0.652	X
총공사비	후진	5	$Y=199.441+3.559A-384.545B+83.984C$	0.667	O
총공사비	후진	6	$Y=-58.641+2.473A+65.958C$	0.663	X
총공사비	후진	7	$Y=589.519+78.700C$	0.665	X

Y: 공사비(백만 원), A: 건축면적(m²), B: 층당세대수, C: 총세대수
D: 둘레길이(m), E: 조정면적(m²), F: 주차장면적, G: 주차대수

4.3 공종별 공사비 기반 예측모델 개발

공종별 공사비 기반 예측모델은 각각의 공종별 공사비 예측모델을 개발한 후 이를 바탕으로 총공사비를 예측하는 모델이다. 공종별 공사비 기반 예측모델은 총공사비 기반 예측모델을 구축하는 방법과 동일한 과정을 통하여 개발하였다.

표 11은 R²값이 높은 것을 회귀식 모델만을 정리한 것으로 중간과정을 생략하고 본 연구에서 제안하고자 하는 결과만을 정리한 것이다.

표 11. 공종별 공사비 기반 예측모델

종속변수	입력	회귀식	수정된 R ² 값	독립변수
골조	후진	$Y=-50.318-98.709B+9.218C+5.673D-0.269E+11.893G$	0.988	B,C,D,E,G
마감	후진	$Y=41.544+0.990A-113.869B+6.849C+1.526D+10.305G$	0.987	A,B,C,D,G
기타	후진	$Y=37.295-1.111A+270.383B-22.397C+13.008G$	0.749	A,B,C,G
옥내	후진	$Y=134.788+5.351C+2.791G$	0.728	C,G

Y: 공사비(백만 원), A: 건축면적(m²), B: 층당세대수, C: 총세대수
D: 둘레길이(m), E: 조정면적(m²), F: 주차장면적, G: 주차대수, 공종별 공사비 기반 예측모델

4.4 사례적용을 통한 예측모델 검증

여기에서는 사례적용을 통하여 총공사비 기반 예측모델과 공종별 공사비 기반 예측모델을 검증하고자 하였다. 검증은 본 연구과정에서 적용된 47개 동에 포함되어 있지 않은 2개 동을 사

례로 분석을 실시하였다.

4.4.1 총공사비 기반 예측모델 검증

총공사비 기반 예측모델을 바탕으로 사례적용을 실시한 결과 표 12와 같이 A동의 오차율은 총공사비 대비 3.3%, B동의 오차율은 총공사비 대비 1.2%가 나는 것으로 분석되었다.

표 12. 사례적용을 통한 총공사비의 오차율

구분	A동 오차율	B동 오차율
총공사비	3.3%	1.2%

4.4.2 공종별 공사비 기반 예측모델 검증

공종별 공사비 기반 예측모델을 바탕으로 사례적용을 한 결과, 표 13과 같이 중분류를 기준으로 A동의 오차율은 골조공사 8.1%, 마감공사 2.8%, 기타공사 24.2%, 옥내공사가 10.8%로 나타났으며, B동의 오차율은 골조공사 5.5%, 마감공사 0.7%, 기타공사 5.4%, 옥내공사가 6.1%로 나타났다.

표 13. 사례적용을 통한 총공사비의 오차율

중분류	A동 오차율	B동 오차율
골조	8.1%	5.5%
마감	2.8%	0.7%
기타	24.2%	5.4%
옥내	10.8%	6.1%

그리고 회귀식 모델과 사례분석에서는 대표공종을 바탕으로 공사비를 예측했기 때문에 실질적으로 오차가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 보완하기 위하여 앞의 3.2절에서 살펴보았던 공공아파트 공간별 공사비 구성요소 및 구성비를 바탕으로 공사비 보정지수를 산정하였다. 이상의 내용을 바탕으로 분석한 결과, 주택부문 건축공사의 보정지수는 1.26(주택부문 공사비 비율 79.16% ÷ 대표공종의 공사비 비율 62.85% = 1.26), 각각의 공종에 따른 보정지수는 1.59(총공사비 100% ÷ 대표공종의 공사비 62.85% = 1.59)로 나타났다.

보정지수에 의해 보정된 예측공사비와 실제공사비와의 오차율을 분석한 결과 표 14와 같이 A동 오차율은 7.42%, B동 오차율은 3.88%로 나타났다.

표 14. 보정된 예측공사비와 실제공사비의 비교

구분 (단위: 백만 원)	예측 공사비	보정된 예측공사비	실제 공사비	오차율
A동	4,799	6,063	6,549	7.42%
B동	4,290	5,419	5,638	3.88%

본 연구에서는 공공아파트의 건축공사비를 예측함에 있어 회

귀분석을 기반으로 한 총공사비 기반 예측모델과 공종별 공사비 기반 예측모델을 개발하였다. 사례분석 결과 총공사비에 따른 모델의 오차율은 각각 3.3%, 1.2%로 나타났으며, 공종별 공사비에 따른 모델의 오차율은 각각 7.42%, 3.88%로 나타나, 총공사비 기반 예측모델을 적용하는 것이 오차율 측면에서 우수한 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구에서 제안하고자 하는 공공아파트 계획설계단계에서의 공사비 예측모델은 다음과 같다.

$$Y=199.441+3.559A-384.545B+83.984C$$

- Y : 공사비 (백만 원)
- A : 건축면적 (m²)
- B : 층당 세대수
- C : 총 세대수

5. 결론

막대한 국가의 재원이 투입되는 공공아파트 건설공사의 공사비를 합리적인 방법으로 적절하게 예측하는 것은 효율적인 투자를 위하여 필수적으로 전제되어야 할 사항이기 때문에, 구체적인 공사정보가 확정되지 않은 초기단계에서 보다 개략적인 공사 내용 및 특성 정보를 토대로 개략공사비가 예측될 수 있어야 한다. 이에 본 연구에서는 공공아파트 계획설계단계에서의 공사비 예측모델을 개발하고자 하였다.

예측모델을 개발하기 위해서 공공아파트의 실적데이터를 분석하였다. 기존의 공종별 분류체계는 공사비 분류체계가 설계중심이 아니라 시공 시 하도급을 주는 공종 중심으로 구성이 되어 있기 때문에 설계단계에서는 활용하는데 문제가 많다. 따라서 이러한 문제를 개선하고자 공사비 분석은 공종별 분류체계를 적용하였다. 분석결과, 공공아파트의 공간별 평균 구성비는 주택부문(공공아파트 지상 부문)의 공사비가 총공사비 대비 79.16%로 가장 많은 부분을 차지하는 것으로 분석되었다.

한편 계획설계단계에서 확인할 수 있고 공사비에 영향을 주는 영향요인을 파악하기 위하여 선행연구를 분석하고 전문가 면담을 실시하였다. 분석결과 대지면적, 연면적, 용적률, 건축면적, 건폐율, 지상면적, 지하면적, 지하층수, 조경면적, 필로티 규모, 층당세대수, 총세대수, 평균평수, 주차장면적, 단위주차면적, 주차대수, 주동특성, 둘레길이, 외장면적, 최고층수, 지상층수, 지상높이, 지하층수, 지하깊이 등이 영향요인으로 도출되었다.

실적데이터의 공사비 분석결과와 영향요인간의 상관관계 분석, 영향요인간의 상관관계 분석 등을 통하여 다중회귀분석을 실시하여 총공사비 기반 예측모델과 공종별 공사비 기반 예측모델을 개발하였다.

두 가지의 공사비 예측모델을 검증하기 위하여 2개 동의 사례를 바탕으로 검증을 하였으며, 분석결과 총공사비 기반 예측모델이 오차율 측면에서 우수한 것으로 나타나 본 연구에서 제안하고자 하는 공사비 예측모델로 제안하였다.

지금까지 많은 연구를 통해 건축공사비 예측모델이 제시되었다. 그러나 본 연구는 공종별 공사비 분류체계에 의한 방식에서 벗어나 현재 많은 이슈화가 되고 있는 서울시 분양가 공개양식 등을 반영한 공간별 분류체계를 활용하였으며, 계획설계단계에서 활용가능한 공사비 영향요인을 체계적으로 정리하였다. 그리고 이러한 연구결과를 바탕으로 공사비와 영향요인간의 상관관계를 파악한 후 공사비 예측모델을 제안하였다는 것에 의미가 있다. 또한 본 연구의 결과를 바탕으로 공공아파트 건설사업의 사업초기부터 적정 공사비를 정확하게 예측할 수 있게 된다면 국가의 예산을 적절하게 집행할 수 있다.

분석 가능한 실적데이터의 수가 많지 않아 유효성 있는 다양한 분석방법을 활용할 수는 없었으나, 향후 충분한 실적데이터가 축적된다면 유효성 있는 다양한 분석방법 등을 활용하여 좀 더 유의성 있고 신뢰성 있는 공사비 예측모델을 개발할 수 있을 것으로 판단된다

참고문헌

1. 건설교통부 (2003), 설계도서 작성기준, 건설교통부고시 제 2003-11호, 주거환경팀.
2. 김기동, 김선국, 김문한 (1990), “계획 초기단계에서 공동주택의 코스트 모델에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 대한건축학회, 6(3), pp.291~298.
3. 김광희, 강경인 (2003), “공동주택 프로젝트의 초기 공사비 예측을 위한 신경망 학습에 유전자 알고리즘을 적용한 모델에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 대한건축학회, 19(10), pp.133~142.
4. 김광희, 강경인 (2004), “유전자 알고리즘에 의한 신경망 학습의 최적화를 이용한 공동주택의 초기 공사비 예측에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 대한건축학회, 20(2), pp.81~88.
5. 김광희, 김상용, 강경인 (2004), “공동주택 공사비 예측 정확도 비교에 관한 연구 - 사례기반추론 기법과 신경망을 중심으로”, 대한건축학회 논문집, 대한건축학회, 20(5), pp.93~102.

6. 김광희, 강경인 (2004), "사례기반추론 기법을 이용한 공동주택 초기 공사비 예측에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 대한건축학회, 20(5), pp.83~92.
7. 김광희, 안성훈, 조형근, (2006), "신경망과 유전자알고리즘을 이용한 공사비예측 모델의 예측정확도 비교에 관한 연구 - 공동주택 공사비를 중심으로", 대한건축학회 논문집, 대한건축학회, 22(3), pp.111~118.
8. 김우철 (2001), 현대통계학, 영지문화사.
9. 문명상 (1999), 회귀분석, 민영사.
10. 박우열, 차정환, 강경인 (2002), "신경망이론을 이용한 공동주택 초기사업비 예측에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 대한건축학회, 18(7), pp.155~162.
11. 박효열, 송용식, 김진국 (2004), "공동주택 실적공사 표준 DB를 이용한 코스트 모델", 대한건축학회 논문집(구조계), 대한건축학회, 20(5), pp.129~136.
12. 서울시립대학교 (2007), "건축공사 적정공사비 산정 및 관리 시스템 구축", 건설교통부 R&D 정책인프라사업, 06기반구축A03, 건설교통부.
13. 이유섭 (2003), "코스트 중요항목 분석을 통한 공사비 예측 모델 연구", 한국건설관리학회 논문집, 한국건설관리학회, 4(4), pp.212~219.
14. 전석환, 최인성 (2005), "실적공사비 산정시스템에 관한 연구 - 공동주택을 중심으로", 한국건축시공학회 논문집, 한국건축시공학회, 5(1), pp.111~121.
15. 진정수 (2006), "국민임대주택 100만호 건설 의의와 향후 과제", 국토정책 Brief, 국토연구원.
16. Attalla, M., and Hegazy, T. (2003), "Predicting cost Deviation in Reconstruction Project: Artificial Neural Networks versus Regression", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 129(4), pp.405~411.
17. Dogan, S. Z., Arditi, D., and Günadin, H. M. (2006), "Determining Attribute Weights in a CBR Model for Early Cost Prediction of Structural Systems", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 132(10), pp.1,092~1,098.
18. Kamal M. I., Johnston, D. W., and Fayadh, H. (1994), "Building construction Detailed Estimating Practices in Saudi Arabia", Journal of construction Engineering and Mangement, ASCE, 120(4), pp.774~784.
19. Karshenas, S., and Tse, J. (2002), "A Case-Based Reasoning Approach to Construction Cost Estimating", Conference Proceeding Paper, Computing in Civil Engineering, ASCE, pp.113~123.
20. Kim, G. H., Seo, D. S., and Kang, K. I. (2005), "Hybrid Models of Neural Networks and Genetic Algorithms for Predicting Preliminary cost Estimates", Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, 208(19), pp.208~211.
21. Lowe, D. J., Emsley, M. W., and Harding, A. (2006), "Predicting construction cost Using Multiple Repression Techniques", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 132(7), pp.750~758.
22. Oberlender, G. D., and Trost, S. M. (2001), "Predicting Accuracy of Early Cost Estimates Based on Estimate Quality", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 127(3), pp.173~182.
23. Soutos, M., and Lowe, D. J. (2005), "ProCost - Towards a Powerful Early Stage Cost Estimating Tool", Conference Proceeding Paper, Computing in Civil Engineering, ASCE.
24. Trost, S. M., and Oberlender, G. D. (2003), "Predicting Accuracy of Early cost Estimates Using Factor Analysis and Multivariate Regression", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 129(2), pp.198~204.

논문제출일: 2007.07.27

심사완료일: 2007.11.21

Abstract

Public institutions recognize the importance of cost management from the planning stage but they do not have an organized construction cost estimation and management system. Thus, at the stage of planning a new public construction project and estimating the cost, those in charge of budgeting estimate construction cost based on existing data and experiences, compare construction cost estimated after the basic design stage and the execution design stage with budgets, and then decide whether to continue the project or change the design according to the budgets. Therefore, we would develop the cost prediction model through regression analysis that can predict construction cost in Schematic Design Phase of the Public Multi-Family housing. Accordingly, if public institutions have a construction cost prediction model and management system that can estimate the optimum construction cost, they can make and execute budgets in a more efficient way than they do at present.

Keywords : Public Multi-Family housing, Construction Cost, Schematic Design Phase, Cost prediction model.
