

고층건물 수직·수평 요소기반 골조공사 개산견적 모델

남동희¹ · 박형진² · 구교진*

¹건원엔지니어링 · ²서울시립대학교 대학원 건축공학과

A Schematic Estimation Model for Structure Costs of High-rise Buildings based on Vertical and Horizontal Elements

Nam, Dong-Hee¹, Park, Hyung-Jin², Koo, Kyo-Jin*

¹Kunwon Engineering, ²Department of Architectural Engineering, The University of Seoul

Abstract : High-rise buildings need thorough cost management because of large size and high risk. Cost management makes a budget by establishing and analyzing detail element at planning phase, needs cost control as each design phase, then reflected to next design. This research develops a schematic estimation model based on vertical and horizontal elements at design phase for structure cost of high-rise buildings to reduce error range and use data as design management. Usability of the model is confirmed by case study. The estimation model is expected to contribute to making the cost model more effective and satisfactory to concerned in construction or budget department and manage keeping track of the cost.

Keyword : Structural cost, High-rised Building, Vertical and Horizontal Element, Correlation coefficient, Estimation Model

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 아시아와 지역을 중심으로 초고층건물의 건설이 증가되고 있고, Emporis Data Committee가 2012년 5월 발표한 통계에 의하면 서울은 세계 도시별 고층건물 밀도 순위가 5위로 고층건물이 현저하게 많은 것으로 파악되었다. 국내에서 고층 건물에 수요가 늘어나면서 관련 연구가 진행되고 있지만, 공사비 관련 연구나 현업에서 일반적으로 사용하는 연면적 기준의 공사비 산정은 건물의 높이 상승에 따른 공사비 증가를 설명하지 못한다. 특히, 설계초기단계 고층건물의 공사비 산정은 공동주택과는 다르게 실적데이터가 부족한 상황에 공사비를 예측해야 하기 때문에, 공사비 산정시 오차율을 줄이기 위한 노력이 필요하다.

여러 연구에서 나타나듯이 설계초기단계의 공사비 산정은 프로젝트 전 과정에 미치는 영향력이 크고, 특히 고층건물의 원가 리스크는 다른 건설사업보다 더 크다는 점에서 면밀하고도 철저한 공사비 관리가 필요하다. 공사비 관리는 설계초기단계에서부터 세부적인 요소를 설정하여 예산을

수립하고, 설계 진행 단계별로 공사비의 추적 관리가 필요하며 이를 차기 설계에 반영하는 것이 중요하다.

국내의 경우, 프로젝트 초기 단계에서 공법이나 도면에 대한 충분한 이해가 되지 않은 상태에서 유사 사례를 기준 및 전문가에 의해서 연면적 당 공사비를 산출한다. 그리고 실시설계가 완료된 시점에서 한 번의 견적을 실시하고, 설계초기단계 공사비 산정 방법과는 상이하기 때문에 설계초기단계에 작성한 예산과 비교 검토되지 못하는 실정이다.

본 연구는 설계초기단계 골조공사비 예측시 오차범위를 줄이고, 설계단계별 추적 관리의 기초자료로 활용하기 위하여, 고층건물의 골조공사비를 대상으로 수직·수평 요소를 기반으로 한 설계초기단계 골조공사비 예측모델(Vertical Horizontal Estimation Model, 이하 VHEM)을 개발하는데 목적이 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 고층 건물(건축법, 법률 제11182호)의 골조공사비를 대상으로 한다. 분석사례의 구조형식은 철근콘크리트구조를 중심으로 복합구조를 포함하였고, 복합구조는 바닥판의 복합화(철골보)와 하이브리드 시스템으로 횡하중저항시스템이 포함된 구조로 한정하였다. 또한, 고층 건축물은 저층부의 형태에 따라 공사비 구성이 달라질 수 있으므로, 고층건물의 직하 면적을 기준으로 하였다. 연구의 대상이 되는 설계단계는 계획 설계를 기본으로 중간설계의

* Corresponding author: Koo, Kyojin, Department of Architectural Engineering, The University of Seoul, Seoul 130-743 Korea
E-mail: kook@uos.ac.kr

Received January 7, 2013; revised July 8, 2013
accepted September 4, 2013

초기 및 기획단계의 일부를 포함하여 설계초기단계로 정의하였다.

본 연구의 방법은 아래와 같다. 첫째, 설계단계별 공사비 산정 방법 및 산정의 정확도를 조사하고 공사비 산정에 관한 선행연구를 분석한다. 둘째, 견적전문가의 면담을 통하여 골조공사비 산정 및 데이터베이스에 대한 현황을 파악하고, 기존의 실적데이터 사례분석을 통해 연면적기반 골조공사비 분석방법에 한계점 및 보완사항을 도출한다. 셋째, 연면적기반 골조공사비 분석의 문제점을 보완하는 수직·수평 기반 요소기반 골조공사비 분석방법을 제시하고 3개의 그룹으로 구분하여 실적데이터를 분석한다. 넷째, 실적데이터 사례분석을 통해 수평·수직의 형상계수(α), 거푸집-콘크리트 관계계수(β), 철근비(γ)의 관계계수를 도출한다. 다섯째, 부재별 관계계수와 설계 요소, 실적단가를 이용하여 수직·수평 요소기반 골조공사비 산정 모델을 제안하였다. 마지막으로, 수직·수평 요소기반 골조공사비 모델에 실제 사례 프로젝트를 적용하여 공사비 산정방법에 대한 적합성과 유용성을 평가하여 결론 및 한계점을 도출한다.

2. 예비적고찰

2.1 공사비 산정 개념

공사비 산정하는 방법은 건설 프로젝트의 진행단계, 관계자, 발주방식 등에 따라 다를 수 있지만, 목적에 따라 공사비 산정은 반드시 필요로 한다. 일반적으로 공사비 산정은 건설공사에서 대상 프로젝트의 소요비용을 산출하는 것으로, 공사에 필요한 재료, 노무, 경비 등의 물량을 산정하고, 물량에 단위 단가를 곱하여 공사비를 산정하는 작업을 의미한다.

공사비를 산정한다는 것은 적산과정을 포함하고 견적의 과정을 통해 소요되는 비용을 산출하는 것이다. 공사비의 산정은 발주자나 설계자 입장에서 보면 개념 및 중간설계 단계에서 사업 계획을 수립하고 예산 확보와 각종 설계 대안에 대한 경제성 평가 등을 위해서도 필요하다(Kang et al. 2003).

2.2 공사비 산정 프로세스

일반적인 공사비 산정 프로세스는 4단계로 이루어진다. 1 단계에서는 발주자의 요구사항과 예산이 제시되는 단계이며 이는 프로젝트가 시작되는 것을 의미한다. 2단계에서는 발주자의 요구사항을 기초로 예산의 범위 내에서 중간설계를 착수하는 시점이다. 본격적으로 설계가 진행되는 3단계에서는 2단계에서 결정된 대안을 기본으로 스케치 디자인을 개발한다. 4단계에서는 설계가 완성되고 입찰 문서를 작성하는 시기로, 입찰을 위한 예산이 당초 정해진 예산보다 초과된다면 요소별 공사비 설정한 것으로 기본으로 설계의

조정 단계를 거친다.

상기 공사비 산정 프로세스를 단계별로 살펴본 결과, 공사비 산정 시 중요한 점을 두 가지로 정리할 수 있다. 첫째, 설계자나 프로젝트 관계자의 설계 의도도 중요하지만, 설계는 발주자의 주어진 예산의 범위와 요구 성능을 만족하는 결과물을 제시하는 것이 중요하다. 둘째, 설계가 완성되고 입찰을 진행하는 과정에서 예산보다 초과되는 설계안이나 입찰문서가 작성될 수 있기 때문에, 공사비를 관리하고 적정공사비를 도출하기 위해서 요소별 공사비 설정을 수립하는 것이 중요하다.

2.3 공사비 선행연구 고찰

골조공사비를 산정하고 관리하는 방법에 대해서는 국내외에서 활발하게 연구가 진행되고 있고, 사업초기단계에서 보다 정확한 개산견적을 위한 다수의 모델들이 제안되었다. Blackman(2008)은 홍콩의 35개 건물과 상하이의 36개 건물을 대상으로 높이와 연면적에 따른 공사비의 관계연구(Height based Regression Model, HbRM)를 통해 높이에 따른 단위면적(m^2)당 공사비의 관계식을 도출하였다. Blackman(2010)은 연면적에 따른 공사비 연구의 한계를 제시하고 골조, 지붕, 바닥, 창호, 서비스, 배관, 전기 등 7개 카테고리로 구분하여 각각 높이에 대한 관계식을 도출하였다. 그러나 저층건물과 고층건물을 분리하지 않아 정확도가 낮게 나타났다. Cho(2004)는 초고층의 골조공사비를 대상으로 유사한 층 및 높이인 프로젝트를 대상으로 부재별에 따른 단위면적당 공사비를 제시하였다. 선행 연구를 분석해보면, 공사비 산정 방식을 크게 3가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 연면적에 기반을 둔 단위면적당 공사비를 기준으로 하는 비용기반 공사비 산정방법이 있으며, 두 번째는 공종별 물량을 산출하여 단가 데이터베이스를 활용하는 물량기반 공사비 산정 방법이 있다. 세 번째로 시설별 또는 공종별 특성을 반영한 공사비 지수(index)를 개발하여 적용하는 방법이다. 이러한 공사비 지수는 기술, 공법, 생산성 등 시간에 흐름에 따른 특성들을 반영할 수 있다.

이러한 방법론은 사용지에 따라 활용도의 경중의 차이는 있을 수 있으나, 병행하여 분석·활용 되어지는 것이 일반적이다. 이 중 비용과 물량을 구분하여 공사비를 예측하는 접근은 공사비에 대한 왜곡현상을 발생할 수 있다. 공사비는 물량과 비용의 곱으로 나타나는 것으로, 하나를 대상으로만 분석하고 산정할 수 없고, 물량과 비용을 동시에 검토하여 공사비로 산출하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 공사비 분석의 방법론을 비용과 물량의 하나의 대상으로 국한하지 않고, 비용과 물량 측면을 동시에 검토해보고자 하였다. 또한 건물을 수직과 수평 요소로 구분하여 보다 미시적인 관점에서 공사비 견적의 정확도를 높일 수 있는 방안을 연구하였다.

3. 고층건물의 골조공사비 구성요소 분석

3.1 전문가 면담을 통한 건적 현황조사

본 면담조사는 공사비를 관리하는 담당자를 대상으로 설계초기단계에 골조공사비를 산정하는데 있어 문제점 및 한계점을 파악하기 위한 목적으로 건적관련 전문가 15명을 대상으로 수행하였다.

공사비 산정 업무의 프로세스는 계획설계, 중간설계, 실시설계 등으로 설계 진행과정에 따라 공사비를 산출하지만, 면담조사 결과 일반적으로 계획 설계 초기단계 개략견적을 실시하고 실시설계가 완료된 후 예산을 작성하기 때문에 설계 진행과정에 따라 공사비 관리는 이루어지지 않고 있었다. 가장 중요하게 생각되는 설계단계로는 계획 설계단계, 실시설계, 중간설계 단계의 순이다. 이유로는 계획설계단계에서는 초기단계에 투자비에 반영되는 공사비로, 예산에 맞는 설계방향을 수립하거나 수정이 가능하기 때문이며, 실시설계 단계의 예산은 실제 공사 착공 후 공사 집행예산으로 편성을 위해 중요한 것으로 조사되었다.

설계초기단계 골조공사비 예측방법에 대해서 면담한 결과, 골조공사비 산정방법은 비용기반이 53%, 물량 기반 33%, 요소 7%, 기타 7%로 조사되었다. 그에 따른 오차의 범위는 ±15%가 60%로 가장 많았고, 오차가 발생하는 가장 큰 이유로는 데이터베이스의 부족과 공사비 산정방법의 문제를 지적하였다. 결과는 아래 Fig. 1, Fig. 2와 같다.

설계초기단계 골조공사비 예측을 위한 코스트모델을 보유하고 있다고 응답한 사람은 20%미만이었으며, 현재 코스트모델을 개발 중이거나 개발을 검토하는 단계로 나타났다. 현재 코스트 모델 및 프로그램의 시스템의 특징은 물량보다는 비용이 중심이 되고, 부분적으로 요소나 주요자재 등의 물량으로 금액을 보정하는 방법을 사용하였다. 수직·수평의 요소기반으로 골조공사비를 분석하고 모델을 산정하는 것은 적절하다고 80% 이상이 응답하였으며 그 이유로는 충분한 유사 실적의 데이터로 기준으로 한다면 연면적으로 공사비를 산출하는 것보다는 정확도를 향상시킬 수 있고, 수직부재에 대한 고려를 통해 높이 상승에 대한 공사비를 예측할 수 있다는 것이다.

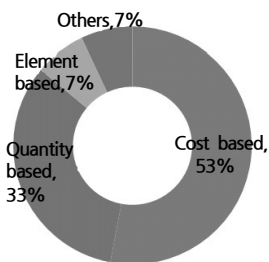


Fig. 1. Estimation method

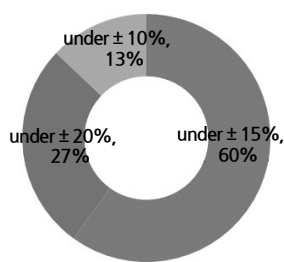


Fig. 2. error range

3.2 연면적기반 골조공사비 사례분석

건설 프로젝트의 공사비를 결정하는 영향요인들은 다양하다. 영향요인들은 상호 유기적인 관계를 통해 복합적인 영향을 미치기도 하고, 개별적으로 도출되기도 한다. 특히, 골조공사비에 영향을 미치는 요인은 크게 물량에 의한 요인과 단가에 의한 요인으로 구분할 수 있다. 물량 요인의 경우, 건축 개요적 요인과 건적요인으로 구분되고, 단가에 의한 요인은 내적 요소와 외적 요소로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 고층건물의 골조공사비를 분석하기 위해 영향요인에 따른 범위를 Table 1과 같이 한정하였다.

Table 1. Impact factor for structure cost

factor	type
gross area	area for Tower
purpose of building	office, residential, complex
height	under 50F, 50F ~ 100F, more than 100F
floors	
structure type	reinforced concrete, complex structure
slab type	RC slab, Metal deck slab
shape	Box type, Triangle type, free type, rectangle type

본 연구에서는 골조공사비의 영향요인을 파악하기 위해 고층건물을 대상으로 초고층 건물을 포함하여 설계도서 및 도급내역서, 물량산출서의 실적자료를 수집하여 골조공사비의 비용과 물량을 분석하였다. 단, 벽식 구조로 이루어진 공동주택은 본 연구에서 제외하였다. 골조공사 분석을 위해 자료는 30층 이상의 건물을 대상으로 총 20개의 자료를 수집하였으며, 층수에 따라 3개의 그룹으로 구분하였다. 3개의 그룹은 50층 미만, 50층에서 100층 미만, 100층 이상으로 구분하였고, 구조 시스템과 관련법규를 기준으로 하였다. 자료의 분류는 층수, 전체 바닥면적의 합계(m²), 높이(m), 단위면적당 공사비 (원/m²) 등으로 정리하였고, 연면적은 건물의 각층 면적을 합계한 총면적으로, 법적으로 제외하는 면적 등은 고려하지 않는다. 자료는 실적자료를 수집하였으며, 일부는 논문 자료(Cho, et al. 2004)를 활용하였다. 연면적당 공사비를 요약하면 아래 Table 2와 같다.

Table 2. Summary of cost/quantity per area

No	group	hight (m)	area (m ²)	structure type	cost (₩/m ²)	quantity per area			
						form (m ²)	concrete (m ³)	steel bar (kg)	steel frame (kg)
1	1	122	34,852	RC	212,717	3.24	0.58	95.66	-
2		132	39,801	complex	251,309	2.32	0.37	31.68	68.34
3		139	28,100	RC	221,392	3.86	0.68	87.52	-
4		139	25,740	RC	243,774	3.54	0.61	81.05	-
5		145	28,286	RC	239,182	3.68	0.64	85.84	-
6		148	46,901	RC	286,965	2.45	0.49	72.60	-

No	group	hight (m)	area (m ²)	structure type	cost (₩/m ²)	quantity per area			
						form (m ²)	concrete (m ³)	steel bar (kg)	steel frame (kg)
7	2	167	53,186	RC	331,480	2.84	0.59	94.27	-
8		172	82,384	RC	282,156	2.12	0.56	88.18	-
9		175	108,171	RC	292,738	2.43	0.64	101.03	0.02
10		196	129,870	complex	342,028	1.79	0.35	34.10	91.84
11		234	120,210	complex	325,514	1.95	0.37	54.85	76.78
12		256	160,929	complex	311,234	2.19	0.61	114.42	57.74
13		278	150,515	RC	487,897	2.09	0.55	134.77	29.68
14		256	160,944	RC구조	512,292	2.01	0.37	57.35	34.40
15		317	138,416	complex	492,606	2.16	0.62	109.32	87.52
16		332	188,902	complex	415,708	1.66	0.48	79.03	126.71
17	3	461	218,995	complex	880,578	1.90	0.77	183.97	258.01
18		449	275,564	complex	604,732	2.02	0.65	131.59	56.02
19		523	358,179	complex	680,650	1.95	0.62	95.51	113.34
20		562	422,760	complex	779,352	1.86	0.72	165.08	226.10

통계 프로그램 SPSS에 의해서 구한 높이에 따른 해당면적 당 골조공사비의 회귀식은 식 (1)과 같다. 회귀식 모형의 요약은 아래와 같다. R²값은 0.865로 설명력이 매우 높은 것으로 나타났다.

$$y = 1,317x + 67,099 \dots\dots\dots (1)$$

x : 건물의 높이(m)
y : 해당면적당 골조공사비(원/m²)

높이와 주요자재의 연면적기반 물량의 상관관계를 분석해 보면, RC 구조에서는 높이 증가에 따른 자재의 물량이 음의 상관관계를 보이거나, 상관관계가 낮으며, 복합구조에서는 거푸집은 역시 낮은 음의 상관관계를 가지고, 기타 부재는 상관관계가 낮다. 이는 전체물량을 연면적으로 나눈 값을 분석 대상으로 하여 얻은 거시적 관점의 값이기 때문이다. 즉, 높이와의 관계를 확인하기 위해서는 보다 상세한 미시적 관점에서 수직적 영향과 수평적 영향을 분류하여 분석할 필요가 있다.

연면적과 주요자재의 연면적기반 물량의 상관관계를 분석하면, RC 구조는 높이와의 관계와 같이 연면적과 자재의 물량은 음의 상관관계를 보이거나, 상관관계가 낮으며 복합구조에서는 콘크리트를 제외하면 연면적과 주요자재물량간의 상관관계가 낮다. 그러므로 물량중심의 연면적 골조공사비 산정하는데 부적합하며, 연면적기반 물량 중심의 골조공사비 산정을 위해서는 수직·수평 요소로 세분화할 필요가 있다.

3.3 수직·수평 요소기반 골조공사비 사례분석

수직·수평 요소기반 골조공사비 사례분석에서는 앞서 분석한 자료 중 11개의 사례 현장을 대상으로, 연구의 범위는 주요자재의 설계 물량으로 한정하였다. 앞서 분석한 프로젝트 중에서 평면형태, 용도, 높이 등으로 분류하기 위해서

설계도서, 물량산출서, 내역서의 실적자료를 발췌하였다. 본 절에서 한정된 구성요소는 도면적인 요인이며, 정량적인 요인인 수행 사업의 실적 데이터베이스를 활용하였다. 특히, 제시된 물량은 고층건물의 골조공사 중에서 타워부의 물량으로 제한하였으며, 포디움 등 주변부와 기타 부속건물에 대해서는 철근, 거푸집, 콘크리트 물량은 제외하였다.

Table 3. Case analysis

No	group	hight (m)	structure type	purpose	slab type	shape
1	1	132	complex	office	metal deck	rectangle
2		139	RC	esidential	RC slab	free
3		139	RC	esidential	RC slab	free
4		145	RC	esidential	RC slab	free
5	2	175	RC	esidential	RC slab	triangle
6		257	RC	esidential	RC slab	triangle
7		278	RC	esidential	RC slab	triangle
8		305	complex	complex	metal deck	box
9		317	complex	office	metal deck	box
10	3	461	complex	complex	metal deck	triangle
11		523	complex	complex	metal deck	box

골조공사비의 내역분석은 요소 분류에 의해 실제 수행된 프로젝트의 데이터를 수평과 수직으로 나누고 주요 자재로 세분화하였다. 그리고 자재의 물량을 해당면적으로 나누어 단위 면적(m²) 당 물량을 산출하여 분석에 활용하였다.

3.3.1 수평 부재

수평 부재의 거푸집, 콘크리트 물량을 해당면적으로 나누어 단위면적 당 물량을 확인하고, 슬라브 종류에 따른 수평 형태 계수와 수평부재의 거푸집과 콘크리트의 관계계수를 도출하였다.

Table 4. Summary of horizontal element analysis

No	group	shape	slab type	hight (m)	quantity of form per area (m ² /m ²)	quantity of concrete per area (m ³ /m ²)	concrete/form (m ³ /m ²)
1	1	rectangle	MD*	132	0.77	0.13	0.17
2		free	RC**	139	1.38	0.30	0.22
3		free	RC	139	1.21	0.27	0.22
4		free	RC	145	1.28	0.28	0.22
5	2	triangle	RC	175	1.25	0.28	0.22
6		triangle	RC	257	1.16	0.26	0.22
7		triangle	RC	278	1.20	0.26	0.21
8		box	MD	305	0.88	0.14	0.16
9		box	MD	317	0.89	0.18	0.20
10	3	triangle	MD	461	0.87	0.20	0.23
11		box	MD	523	1.09	0.20	0.18

*MD : Metal Deck, **RC : Reinforced Concrete Slab

분석 자료를 통해서 확인된 재료의 구성은 메탈 데크위 콘크리트와 철근콘크리트 슬라브의 2가지 형태로 나눌 수 있다. 슬라브를 평면이라고 가정하면 슬라브의 거푸집의 물량은 (가로×높이)로 바닥의 면적에 공제 부분을 제외하는 것이고, 슬라브의 콘크리트의 물량은 (가로×높이×슬라브 두께)로 슬라브의 체적에 공제 부분을 제외하여 산출할 수 있다. 콘크리트-거푸집 평면 부재의 관계계수 도출하는 그림과 식은 아래의 Fig. 3과 같다.

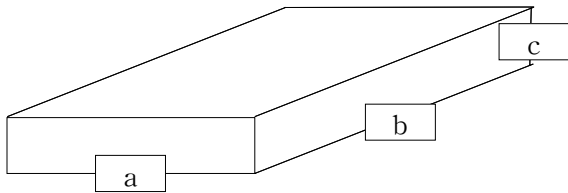


Fig. 3. Computation method of horizontal element

수평부재 거푸집 수량 산출식: $a \times b$ (2)
 수평부재 콘크리트 수량 산출식: $a \times b \times c$ (3)
 거푸집 - 콘크리트 관계계수: $\frac{a \times b \times c}{a \times b}$ (4)

수평 부재의 거푸집 물량 산출식에서 마구리 부분의 면적을 제외하고 표현한 것은 산출식의 이해를 돕기 위해 개략적으로 표기한 것이나, 관계계수에는 마구리의 면적도 포함되었다. 콘크리트와 거푸집 평면 부재의 관계계수는 콘크리트의 두께에 영향을 받는다.

3.3.2 수직 부재

수직 부재의 거푸집, 콘크리트 물량을 해당면적으로 나누어 단위면적 당 물량을 확인하고, 높이에 따른 수직 부재의 거푸집과 콘크리트의 관계계수를 도출하였다.

Table 5. Summary of vertical element analysis

No	purpose	shape	hight (m)	quantity of form per area (m ² /m ²)	quantity of concrete per area (m ³ /m ²)	concrete /form (m ³ /m ²)
1	office	rectangle	132	1.55	0.24	0.15
2	residential	free	139	2.48	0.37	0.15
3	residential	free	139	2.32	0.35	0.15
4	residential	free	145	2.41	0.36	0.15
5	residential	triangle	175	1.18	0.36	0.30
6	residential	triangle	257	1.18	0.39	0.33
7	residential	triangle	278	0.88	0.26	0.30
8	complex	box	305	1.29	0.48	0.37
9	office	box	317	0.77	0.29	0.38
10	complex	triangle	461	1.14	0.45	0.40
11	complex	box	523	0.86	0.42	0.48

건물의 높이와 콘크리트-거푸집 수직부재의 관계계수의 상관성 정도를 알아보기 위해 통계적 분석방법인 상관계수를 사용하였다. 건물의 높이(m)와 콘크리트-거푸집 수직부재의 관계계수는 0.869로 강한 양의 상관관계가 있으며, 통계적으로 매우 유의한 것으로 볼 수 있다. 건물의 높이가 높아짐에 따라, Core wall의 두께(mm), 내부기둥의 단면적(m²)에 커짐에 따라 거푸집 면적에 대한 콘크리트의 체적이 증가하여, 높이에 따른 콘크리트-거푸집 수직부재의 관계계수는 증가한다.

3.3.3 철근비

강재량과 콘크리트량은 상관관계가 있으므로 건축물의 요소에 따른 콘크리트 m³당 철근의 무게(Everest, 2004)를 제시하였다. Spon's Architects' and Builders' Price Book (2004)에서는 요소를 18가지로 나누어 값을 제시하였으나, 본 논문에서는 수직과 수평을 나누어 콘크리트 단위 물량(m³) 당 철근의 단위 중량(kg)을 도출하였다. 철근비는 설계 초기단계에서 철근배근도가 부재할 때 골조공사비를 산정하기 위해 사용하는 방법으로 지역별 차이는 고려하지 않았다. 높이에 따른 수평부재와 수직부재의 철근비를 나타내면 아래 Table 6과 같다.

Table 6. Steel ratio per area base on horizontal-vertical element

No	purpose	shape	hight (m)	horizontal element (kg/m ³)	vertical element (kg/m ³)
1	office	rectangle	132	80	108
2	residential	free	139	130	134
3	residential	free	139	128	135
4	residential	free	145	132	134
5	residential	triangle	192	149	165
6	residential	triangle	257	165	177
7	residential	triangle	278	157	187
8	complex	box	305	115	195
9	office	box	332	110	201
10	complex	triangle	431	143	193
11	complex	box	523	103	197

높이와 요소 분류에 따라 수직 부재의 철근비와 수평부재의 철근비의 상관관계를 살펴보면 수평부재의 철근비는 -0.045로 상관관계가 없고, 수직부재의 철근비에 경우 Pearson 상관계수가 0.840으로 강한 관계를 보인다.

4. 고층건물의 골조공사비 구성요소 분석

4.1 골조공사비 예측모델의 프레임워크

예측모델에 활용될 계수는 3장에서 분석한 형상계수(거푸집÷연면적, α), 거푸집-콘크리트 관계계수(콘크리트÷거푸집, β), 철근비(철근÷콘크리트, γ)의 3가지이다. 도출된 계수는

각기 수평과 수직으로 구분되며, 수직, 수평 기반으로 한 요소별 연면적당 물량을 골조공사비 예측모델의 기반으로 한다. 각 계수들은 수직/수평별로 구분되며 수평부재는 슬라브 종류와 구조형태에 따라 다시 구분된다.

수평부재의 형상계수(α_1)는 Table 4의 연면적당 거푸집물량을 슬라브의 종류별로 평균화한 값이며 관계계수(β_1)는 표 4의 해당면적당 콘크리트물량 값을 슬라브 종류별로 평균화한 값이다. 철근비(γ_1) 역시 슬라브의 종류별로 평균화한 값이다. 수직부재의 형상계수(α_2)는 Table 5에서 평면의 형태별로 해당면적당 거푸집물량의 값을 평균화한 값이다. 수직부재의 관계계수(β_2)와 철근비(γ_2)는 높이에 따른 그룹별로 평균화한 값이다.

Table 7. Horizontal coefficient, Correlation coefficient, Steel ratio

slab type	structure	purpose	horizontal coefficient(α_1)	correlation coefficient(β_1)	steel ratio(γ_1)
metal deck slab	complex	office, complex	0.9179	0.17	103.3775
RC slab	RC	residential	1.2464	0.275	143.6065

Table 8. Vertical coefficient

shape	purpose	vertical coefficient(α_2)
box	office, complex	0.84
free	residential	2.34
rectangle	office	1.55
triangle	residential	1.21

Table 9. Vertical correlation coefficient, Steel ratio

group	hight	correlation coefficient(β_2)	steel ratio(γ_2)
1	~50F	0.33	127.77
2	50F~100F	0.356	185.00
3	100F~	0.435	194.97

4.2 요소별 골조공사비 예측모델의 개발

본 연구에서는 물량기반 골조공사비 예측모델을 개발하는 것을 목적으로 하기 때문에 실시설계단계가 완료된 후 상세 견적이 이루어진 내역서, 물량 산출서, 설계도서의 정보를 기초하였다. 모델의 구축과정은 4단계로 나눌 수 있으며 1단계는 데이터 분석단계, 2단계는 영향요인 도출단계, 3단계는 관계식 및 모델 확정 단계, 4단계는 활용단계이다. 본 연구에서 제시한 골조공사비 예측모델은 도출한 관계계수와 기본 설계 개요를 매개변수로 하여, 물량을 산출하고 실적단가를 적용하는 것이다.

4.2.1 예비단계

Table 5와 같이 11개 사례의 실적데이터를 이용하여 연면적당 거푸집량, 콘크리트량, 철근량, 철골량을 데이터베이스로 구축하였다.

4.2.2 수평/수직 부재의 물량 산출

수평 부재의 물량 산출을 위해 사용하는 변수들은 연면적, 슬라브 타입이 있다. 먼저 수평 부재의 상세 모델은 연면적과 슬라브 타입을 입력하면, 거푸집, 콘크리트, 철근의 계수값이 결정이 되고, 계산식에 따라 연면적과 계수값의 곱으로 자재의 물량이 산출되는 구조로 되어 있다. 수평부재의 물량산출의 과정을 나타내면 Fig. 5와 같다.

(1)의 연면적과 (2)의 슬라브의 종류를 입력하면 (2)에 의해서 (3)계수값이 결정된다. 그리고 거푸집은 (3)계수값과 (1)연면적의 곱으로 산출되고, 콘크리트는 연면적과 콘크리트 관계계수의 곱으로 철근은 콘크리트 물량과 철근비의 곱으로 주요자재의 설계 물량이 산출된다. 본 예시 사례는 RC 부재로 계수값이 거푸집 1.246, 콘크리트 0.2204, 철근 143.6065으로 결정되었으며, 연면적 24,568m²와 위 과정을 거쳐 거푸집은 30,611.73m², 콘크리트는 6,747.29m³, 철근은 968,954.17kg으로 산출되었다. 수직부재의 경우 연면적, 형상계수, 높이의 변수를 사용하여 물량을 산출한다.

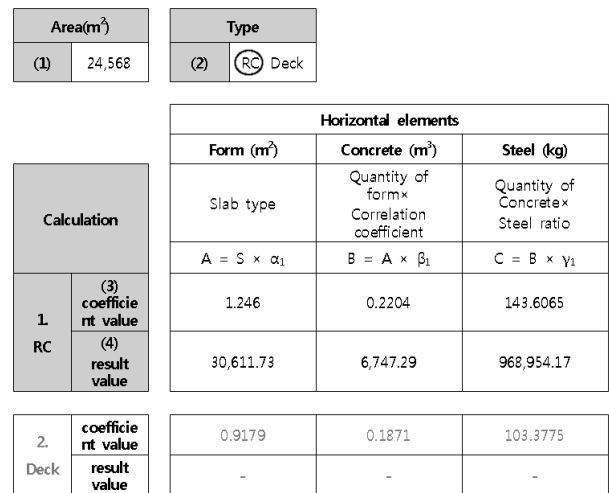


Fig 5. Calculation for quantity of horizontal element

4.2.3 실적단가 적용단계

단가는 재료비 및 직접노무비를 구분하고, 재료비는 2012년 4월 물가협회에서 공표한 단가를 기준으로 철근은 원/ton, 콘크리트는 원/m³으로 적용하였다. 콘크리트 강도 증가에 따른 재료비의 차이가 있으므로, 수평·수직으로 구분하여 콘크리트 단가를 적용하였다. 수평부재는 사례분석결과 대체적으로 30Mpa, 35Mpa 등으로 구분되었으나 본 논문에서는 수평부재의 콘크리트의 강도를 30Mpa로 하였다. 수직 부재는 서지현 외(2009)와 사례분석을 통해 본 연구에서는 수직부재에 대하여 2가지 콘크리트의 강도를 적용하였다. 즉 콘크리트 강도를 100층 이하에서는 50Mpa, 100층 이상에서는 70Mpa을 기준으로 하였다.

직접노무비의 경우 김석희 외(2007)를 통해 도출된 실적

단가를 기준으로 하고, 거푸집의 경우, 동바리, 거푸집, 박리제, 설치, 해체비 등을 포함한 재료비와 직접노무비를 포함단가로 원/m²로 표기하였다. 50층 이상 데크플레이트를 사용하여 철골보를 사용한 경우 철골은 제작비를 포함한 원/ton을 적용하였다. 철골보의 물량은 해당면적당 kg으로 별도로 산출하여, 단가 적용단계에 포함시킨다. 100층 이상의 3그룹의 단가는 초고층 할증률 15%를 반영한다.

4.2.4 물량비용 검토단계 및 확정단계

수직·수평 요소기반 골조공사비 모델에서 설계 물량을 산출하고 실적단가를 적용하여 산정된 골조공사비를 검증하여야 한다. 제안된 모델의 유용성과 정확성이 입증된 경우라도 공사비를 확정하기 위해서는 다양한 방법을 병행하여 추가 검토할 필요가 있다. 본 논문에서 제안한 모델에서는 높이와 골조공사비의 회귀식과 예비단계의 물량과 검토할 것을 제안하였다. 마지막으로 검토결과를 통해 골조공사비를 비교하고 분석하여 수정 및 조정의 의사결정단계를 거쳐 골조공사비를 확정한다.

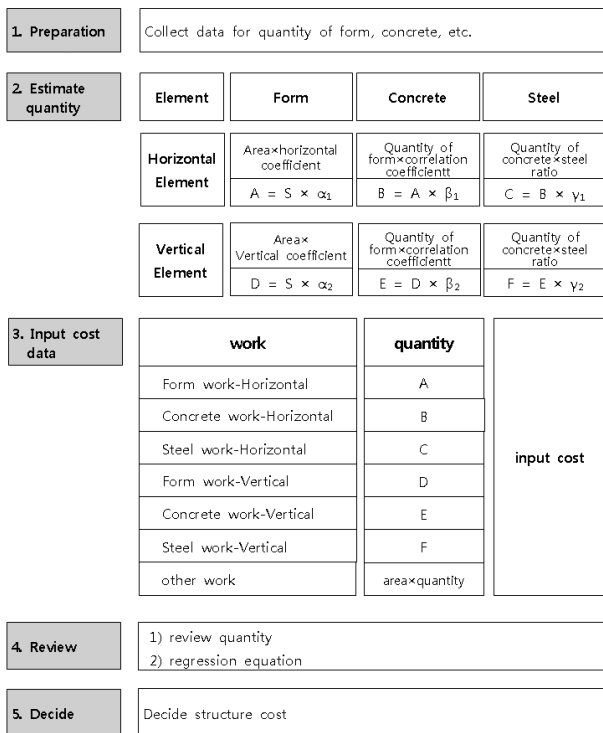


Fig. 6. Vertical Horizontal Estimation Model

4.2.5 사례프로젝트의 적용결과

설계초기단계의 요소 구분에 의한 골조공사비 예측모델에 실제 사례를 적용하여 보았다. 적용 방법은 앞서 제시한 골조공사비 예측모델을 이용하여 대상 프로젝트를 선정하여 계획 설계 단계의 골조공사의 주요자재의 물량을 산출하고, 실적단가를 이용하여 골조공사비를 산출하였다. 적용 대상은 데이터구축에 활용되지 않은 134m높이의 41층 건물로서

연면적 24,568m²의 철근콘크리트 구조물이다. 적용결과는 Table 10과 같다.

Table 10. Result of VHEM

	element	unit	quantity	unit cost	total cost
horizontal	form work	m ²	30,611.73	32,619	998,524,021
	concrete work	m ³	6,748	11,725	79,120,300
	steel work	kg	968,954.17	234	226,735,276
	ready-mixed concrete (30Mpa)	m ³	6,882.23	68,000	467,991,640
	steel	kg	998,022.80	826	824,366,833
vertical	form work	m ²	57,438.94	41,951	2,409,620,972
	concrete work	m ³	8,562.73	11,725	100,398,009
	steel work	kg	1,094,082.38	283	309,625,314
	ready-mixed concrete (50Mpa)	m ³	8,733.99	82,000	716,187,180
	steel	kg	1,126,904.9	826	930,823,447
total					7,063,392,992
cost per area(₩/m ²)					287,504

4.3 골조공사비 제안모델의 효용성 검증

설계 단계의 요소분류에 의한 골조공사비 예측모델의 적용성을 검토하기 위해서 실시설계단계 완료 후 골조공사비 작성이 완료된 사례를 통해 예측모델의 검증 실시하였다. 검증 방법은 앞서 제시한 골조공사비 예측모델을 이용하여 대상 프로젝트를 선정하여 주어진 설계 정보를 통해 골조공사의 주요자재의 물량을 산출하고, 실적단가를 이용하여 골조공사비를 산출하였다. 대상 프로젝트는 실시설계단계가 완료되어 골조공사비 산정이 완료된 것을 기준으로 하였다. 모델의 검증은 높이에 따라 3개의 그룹별로 데이터베이스에 포함되지 않는 각각의 사례를 선정하였다. 사례의 실제 공사비(설계가)와 골조공사비 견적모델과의 비교를 통해 오차를 확인하는 것으로 골조공사비 예측모델을 검증하였다. 그리고 일반적인 연구에서 사용되는 연면적 기반 회귀식(1)을 활용한 산정모델과 비교한다. 또한 실제공사비와 물량기반 골조공사비 및 비용 기반 골조공사비의 비교를 통해 비용과 물량중심의 공사비 방법에 대한 오차를 확인하였다. 비용기반 공사비 산정은 기존에 공사비 산정에 사용되었던 비용 정보를 분석하여 유사한 프로젝트를 대상으로 단위 면적 비용을 예측하는 것이다. 물량기반 공사비 산정은 기존에 공사비 산정에 사용되었던 해당면적당 물량 정보를 이용하여 단위 면적당 물량을 예측하여 단가 데이터베이스를 곱하여 공사비를 산출하는 것이다.

각각의 견적모델과 실제공사비(actual)를 비교하면, VHEM 방식은 공사비차이의 비율이 3개 사례 모두 10% 이하의 안정적인 정확도를 나타내었고 높이에 따른 회귀모델인 HbRM (Blackman 2008)은 사례 A와 B에서는 비교적 실제공사비에

근접하게 나타났으나 사례 C에서는 18%의 차이를 보였다. 비용 및 물량 기반은 ±15%의 차이가 발생하였다. 적용 사례의 비교를 통해 본 연구에서 제시한 모델의 유용성을 확인할 수 있다.

Table 11. comparison case with estimation model

case	floor(height)	gross area (m ²)	cost per area (₩/m ²)				
			actual cost	VHEM	HbRM*	cost based	quantity based
A	41F(134m)	24,568	261,855	285,860 (9.17%)	243,577 (-6.98%)	240,806 (-8.04%)	297,209 (13.50%)
B	54F(201m)	84,725	318,537	344,399 (8.12%)	331,816 (4.17%)	381,312 (19.71%)	371,460 (16.61%)
C	107F(508m)	380,692	622,155	668,443 (7.44%)	736,135 (18.32%)	736,328 (18.35%)	704,203 (13.19%)

* VHEM = Vertical and Horizontal based Estimation Model
 ** HbRM = Height based Regression Model

5. 결론

건축공사비에서 높은 구성비를 차지하는 골조공사비는 프로젝트 진행 단계별로 요구되는 시점이 다르지만, 신속하고 정확한 공사비를 산정하는 것이 중요하다. 특히, 설계초기 단계에서 정확한 골조공사비의 예측은 발주자, 설계자, 시공자가 프로젝트를 관리하는데 중요한 요소가 되며, 초기단계 공사비 예측 뿐만 아니라 향후 공사비 변동 및 수정의 지표가 될 수 있다. 이에 본 연구에서는 설계초기단계에서 골조공사비를 예측하는 방법에 있어서 오차의 범위를 줄이고 설계단계별 추적 관리의 기초 자료로 이용할 수 있는 골조공사비 예측모델을 개발하였다. 기존 골조공사비의 예측은 연면적당 비용 및 물량을 산정하는 방법을 활용하였으나, 본 연구는 요소구분에 의한 공사비 예측을 위하여 수직과 수평을 구분하여 분석하였다. 요소분석을 통해 공사비 예측모델에 활용할 수 있는 계수를 도출하였다.

본 연구에서 개발한 요소에 의한 골조공사비 예측모델은 설계 완료 후에 한 번 견적하는 방식이 아니라 설계변경사항을 반영한 공사비를 산정하여 추적관리가 가능하다. 향후 제시된 기준에 따라 데이터를 축적하고 활용함으로써 골조 물량 및 골조공사비의 오차율을 줄일 수 있을 것으로 기대

된다. 향후 고층건물 사례를 추가하여 통계적인 유의성을 보다 확보하는 연구가 필요하다.

References

Barrie, D., (1992), Professional Construction Management, McGraw-Hill.

Blackman, Q., David, P., (2010), Height and Construction Costs of Residential High-Rise Buildings in Shanghai, *Journal of Construction Engineering and Management*, 136, pp. 1169-1180.

Blackman, Q., David, P., Chunlu, L., (2008), Height and construction costs of residential buildings in Hong Kong and Shanghai, International Conference on Multi-national Construction Projects.

emporis, <http://www.emporis.com/statistics/skyline-ranking> (2012)

Everest, L., (2004), Spon's Architects' and Builders' Price book, Spon Pres.

Kim, S., Im, C., (2007), "A Study on the Estimate Cost Model for Concrete Structural Frame Work in the High-Rise Residential-Commercial Complex Building, *journal of Architectural Institute of Korea*", 23(7), pp. 151-159.

Koo, K., Park, S., Park, S., Song, J., (2008), "Object & Parameter based Schematic Estimation Model for Predicting Cost of Building Interior finishings", *Korean journal of Construction Engineering and Management, KICEM*, 9(6), pp. 175-183.

Park, S., Koo, K., Hyun, C., (2006), "Development of Quantity based Base Period Price Index(QBPPI) to calculate Construction Cost Index", *Korean journal of Construction Engineering and Management, KICEM*, 7(5), pp. 77-84.

Seo, J., Kwon, B., Kim, S., Park, H., (2009), "Structural Cost Optimization Techniques for High-rise Buildings Frame Systems Using High-strength Steels", *journal of Computational Structural Engineering Institute of Korea*, 22(1), pp. 53-63.

요약: 고층건물은 공사비 규모가 크고 어느 건설사업보다 공사비 리스크가 높다는 점에서 면밀하고도 철저한 공사비 관리가 필요하다. 공사비 관리는 계획 단계에서부터 세부적인 요소를 설정하고 분석하여 예산을 수립하고 설계 진행 단계별로 공사비의 추적 관리가 필요하며 이를 차기 설계에 반영하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구는 설계초기단계 골조공사비 예측시 오차범위를 줄이고, 설계단계별 추적 관리의 기초자료로 활용하기 위하여, 고층건물의 골조공사비를 대상으로 수직·수평 요소(Element)를 기반으로 한 설계초기단계 골조공사비 예측모델을 개발한다. 사례 비교를 통해 본 연구에서 제안한 모델의 유용성을 확인하였다. 예측모델은 설계가 진행됨에 따라 발주자의 요구사항반영, 기타요인에 의한 설계변경 등의 추적 관리가 가능하고, 향후 제시된 기준에 따라 데이터를 축적하고 활용함으로써 골조 물량 및 골조공사비의 대비 오차율을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

키워드 : 고층건물 골조공사비 수직수평요소 관계계수 견적모델