

價値評價에 의한 最適 部位設計案 選定方法에 관한 研究

A Study on the Method for Selecting Optimum Building Component by Value Analysis

○ 유정호*, 유광흠**, 이규재**, 서상욱***, 이현수****, 김문한*****
Yoo, J.H. Yoo, K.H. Lee, K.J. Seo, S.W. Lee, H.S. Kim, M.H.

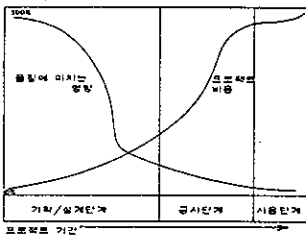
Abstract

In a construction project, it is important and most effective to analyze "the function and the cost" of the alternatives at the design stage. If a whole building is considered as the total of all the building components, it can be said that the quality and cost of each building component is connected directly with those of the whole building. The purpose of this study is to develop a method for selecting an optimum building component from many alternatives. In order to develop the method, this study introduces the concept of value which is represented by a numerical index. This study selects some factors to evaluate the function of each alternative and then provides a numerical function which will be used for evaluating the alternatives. This method will enable a designer to select the optimum alternative by comparing the values of the alternatives.

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

설계단계에서의 의사결정은 <그림 1>에서 보는 바와 같이 비용의 발생은 거의 없으면서 프로젝트 품질에는 절대적인 영향을 미치는데, 이는 설계단계에서의 품질관리 및 원가관리가 중요하며 또 가장 효과적임을 의미한다. 따라서 설계단계에서의 최적 설계안의 선정은 각 대안의 성능과 비용을 충분히 고려한 것이어야 한다. 즉, 객관적이면서 사용자와 시공자의 요구를 반영할 수 있는 방법에 의해 여러 설계안들이 평가되고 선정되어야 한다.



<그림 1> 프로젝트 품질과 비용에 미치는 영향

여기서 건축물을 여러 부위들의 총합체로 파악할 경우, 전체 건축물의 성능과 비용은 각 부위의 성능과 비용으로 분할하여 고려할 수 있다. 결국 최적 설계안의 선정은 각 부위설계안의 최적 선정을 통하여 달성될 수 있다.

따라서 이 연구에서는 각 부위설계안의 성능 평가 인자를 결정하고, 성능과 비용의 정량적 평가에 의한 각 대안의 가치 지수를 구하여, 이를 대안 선정에 위한 평가 기준으로 이용하는 최적 부위설계안 선정 모형을 제시하는 것을 그 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

이 연구에서의 분석대상 부위는 여러가지 성능에 대한 고객의 요구를 민감하게 반영할 수 있는 공동주택의 내벽으로 하며, 비용 평가는 기존의 수명주기비용 분석 방법을 사용한다.

이 연구는 다음과 같은 방법으로 진행한다.

- 1) 최적 부위설계안 선정 방법에 대한 기존 연구를 고찰하고 그 개선방향을 설정한다.
- 2) 부위설계안의 성능 평가 인자를 체계적으로 정리한다.
- 3) 성능과 비용을 고려한 부위설계안의 정량적 가치 평가 방법을 제시한다.
- 4) 가치평가에 의한 최적 부위설계안 선정 모형을 구축한다.

2. 공동주택의 부위 및 비용 분석

이 장에서는 공동주택의 부위 및 비용 분석 방법과 기존의 최적 부위설계안 선정 방법을 고찰한다.

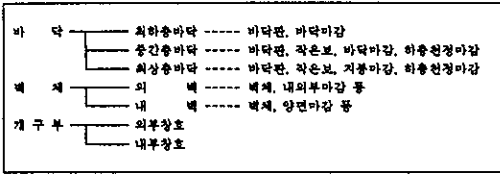
2.1 공동주택의 부위 분석

부위란 건물의 종류나 시방에 관계없이 항상 같은 기능을 가지는 부분으로, 건축물을 구성하는 벽, 천정, 바닥 등을 의미한다. 이 때 전체 건축물은 각 부위들의 총합으로 나타낼 수 있다. 공동주택의 부위 설계안에 대한 평가 인자는 기본계획단계에서 결정되

*서울대 대학원 석사과정 **서울대 대학원 박사과정
경원대 조교수 工博 *인하대 조교수 工博
*****서울대 교수 工博

이야 하며, 그 평가는 실시설계단계에서 이루어진다. 공동주택의 부위 구성의 예는 <표 1>과 같다.

<표 1> 공동주택 부위 구성의 예



2.2 공동주택의 비용 분석

일반적으로 건축물의 비용 분석은 공중별 견적법과 부위별 견적법으로 대별될 수 있다. 공중별 견적법은 시공단계에서 주로 사용하는 것으로, 각 공중별로 그 비용을 계산하는 것이다. 부위별 견적법은 설계단계에서 주로 사용하는 것으로, 부위를 개별적 요소로 다시 세분하여 견적하는데, 이 방법을 사용할 경우 건축물 전체로서는 유사하지 않은 건축공사들의 실적치에서 부위별로 유사한 것을 취합하여 별도의 비용 비교가 가능하다.

2.3 최적인 선정 방법에 관한 기존 방법

다음의 <표 2>는 기존의 여러 최적 설계안 선정 방법들을 비교하고 있다.

<표 2> 최적 부위설계안 선정 방법의 비교

방법	연구 대상	적용 기법	최용 평가기준	비 고
RCSM 방법	각 공중이 추구하는 목표 (중점개선 대상기능)에 대한 대안의 평가	AHP 기법	품질, 원가, 공기, 안전	가치공학 응용
LCCOD M 방법	공동주택 분류체계 수립 수명주기비용항목 선정 경제의적 평가항목 선정	LCC 분석 기법 가중치 평가 기법	수명주기비용 인자, 기타 평가인자	가중치법에 의한 수명주기비용인자와 기타 평가인자의 통합
OMBC 방법	부위선정의 최적화 건축요소의 최적조합 개념 성능과 비용의 통합선정	AHP 기법 LCC 분석 기법	수명주기비용 인자 물리적성능인자	AHP기법에 의한 수명주기비용인자와 물리적성능인자의 통합
본 연구 방법	부위별 가치평가항목 선정 부위설계안의 정량적 평가 가치개념에 의한 의사결정	LCC 분석 기법 가중치 평가 기법	물리적성능인자 시공성능인자 기타인자 수명주기비용 인자	의사결정에 고려의 요구를 반영 하자상황을 설계단계에 피드백 가치개념 도입

기존의 방법들에서는 최적 설계안의 선정을 위해서 여러가지 성능 평가 인자들을 사용하고 있는데, 특히 비용도 성능 평가 인자의 하나로 보고 평가하고 있다. 이 경우 한 대안의 성능과 비용은 동일한 위상을 가지는 평가 인자로 취급되어, 성능과는 비례 관계를 가지고 비용과는 반비례 관계를 가지는 대안의 가치가 충분히 고려될 수 없다. 따라서 이 연구에서는 가치 개념을 도입하여 각 대안을 평가함으로써 최적 설

계안을 선정하는 방법을 제안한다.

3. 부위설계안의 가치 평가 방법

각 부위설계안의 성능 및 비용 평가는 다음 방법을 따르며, 그 결과를 종합하여 가치 평가를 수행한다.

3.1 성능 평가

성능은 '인간의 요구를 충족시키기 위해 외부의 압력에 대항하는 건물의 활동'으로 정의할 수 있으며, 기능은 '어떤 목적을 달성하기 위해 필요한 건물의 역할 또는 건물의 효용'으로 정의할 수 있다. 여기서 성능 평가는 '객관적 평가 인자에 의해 성능이나 기능의 정도를 평가하는 것'으로 정의할 수 있다.

3.1.1 성능 평가 인자 선정

기존의 성능 평가 인자는 <표 3>과 같다. 여기서 사용자 요구와 시공자 요구 및 하자상황을 반영할 수 있는 인자를 가려 정리하면 다음 <표 4>와 같다.

<표 3> 기존의 성능 평가 인자

구 분	평가 인자	비 고
건축계획 (집합주택편)	<부위별 성능> • 제어성능: 빛, 열, 음, 공기, 물 • 존속성능: 담, 열, 불, 물 • 작용성능: 미끄럼, 부상, 발음, 외장 <공급화 기준> • 안전성: 방화성, 구조내력 • 내구성: 방식, 방부, 방충, 방수, 배수	• 5단계 등급 • 적/부 2단계 등급 • 지붕, 천정, 바닥 등으 로 분류
대안 건축 타회	<성능 평가 기준> • 안전성: 구조내력, 방화성능 • 거주성: 개방, 통풍, 단열, 보온, 차음, 바닥층력 • 내구성: 방식, 방부, 방충, 방수, 배수	• 5단계 등급 • 적/부 2단계 등급 • 각 실 대상의 부위별 평가 방식 • 생활수준에 의한 등급 설정
RCSM	<개략 평가 기준> 품질면, 경제성, 시공성에 대한 중요도 <종합 평가 기준> 품질, 원가, 공기, 안전에 대한 중요도	• 개략 평가는 3단계 등 • 종합 평가는 1-9의 중 요도 설정
LCCODM	<경제적 인자> • 수명주기비용 <비경제적 인자> • 내구성, 미관, 차음성, 절간, 위생성, 내마모성 등 다수	• 비경제적 인자는 0-10 의 가중치 적용
OMBC	<성능 평가 기준> • 거주성: 단열, 보온, 차음, 통풍, 등 • 내구성: 방식, 방부, 방충, 내마모 등 • 안전성: 충격, 국압, 방화, 내열 등 <비용 평가 기준> • 수명주기비용	• 6단계 등급 • 바닥, 벽 부위 대상의 성능 항목 선정

3.1.2 성능 평가 방법

각 설계안의 성능은 <표 4>의 내용과 같이 성능 항목 - 성능 요소 - 성능 인자의 순서로 구분될 수 있다. 이 경우 각 설계안의 성능 평가는 다음과 같은 순서를 따라 진행된다.

성능 인자 ---- 성능 요소 ---- 성능 항목 ---- 대안 성능

[인자 성능치

× 인자 가중치) = 요소 성능치

[요소 성능치

× 요소 가중치) = 항목 성능치

[항목 성능치

× 항목 가중치) = 대안성능지수

<표 4> 성능 평가 인자

성능 항목 구분	성능 평가 요소	성능 평가 인자	사용자 요구 반영	시공자 요구 반영	하자 반영	비고
물리적 성능 (정량)	거주성	단열성, 보온성, 차음성, 흡음성, 기밀성, 방수성, 방습성	○		○	비내력벽의 단열성은 법으로 규제
	안전성	내충격성, 내국압성, 내파성, 내열성		○	○	비내력벽의 방화성은 법으로 규제
	내구성	내방청성, 내방부성, 내방충성, 내마모성, 내경년		○	○	
시공 성능 (정성)	작업성	난이도, 영향도		○		
	안전성	생산성, 공기, 소요인력, 조달성		○		
기타 성능 (정성)	시각성	색채, 질감	○			
	보건성			○	○	
	보수성			○	○	

단계 1 : 인자 성능치의 부여

1에서 7사이의 값을 사용하여 각 설계안의 성능 인자에 대한 성능치를 부여한다. 그 값이 클수록 우수한/긍정적 성능이다. 특히 물리적 성능의 경우는 <표 5>과 같은 등급판정표에 따라 성능치가 결정되며, 이 경우 성능 한계치를 미리 설정해 둬으로써 1차적인 선별이 가능하다. '적/부' 판정되는 경우는 0 또는 4의 값으로 성능치 부여한다.

각 설계안의 성능 즉, 물리적 성능, 시공 성능, 기타 성능의 평가 인자는 <표 6>, <표 7>, <표 8>와 같으며, 위와 같은 방법에 의해서 각각의 인자 성능치를 구하여 빈 칸을 채워 넣는다.

단계 2 : 인자 가중치의 부여

각각의 성능 인자에 대해서 그 중요 정도에 따라 0에서 4의 값 중 하나로 그 가중치를 부여한다. 이 연구에서는 물리적 성능에서의 거주성과 기타 성능에서의 시각성에 대해서 사용자의 가중치를 부여하고, 그 외의 성능들에 대해서 시공자의 가중치를 부여함으로써 설계단계에서 고객의 요구나 의사를 반영하도록 한다.

<표 5> 물리적 성능의 등급 판정표 (KS F 1010)

등급번호 성능항목	(0)	1	2	3	4	5	6	7	비고		
										측정항목	측정단위
반사성	7	10	14	20	28	40	56			빛반사율	(%)
단열성	0.2	0.3	0.5	0.8	1.25	2.0	3.2			열관류 계수	m ² ·h·C/cal
차음성	12	20	28	36	44	52	60			부과손실	dB
기밀성	0.015	0.06	0.25	1.0	4.0	15	60			기밀저항	m ² ·h/m ³
흡음성	20	30	40	50	60	70	80			흡음율	(%)
방수성	10	16	25	40	63	100	160			수밀압력	kg/m ²
방습성	0.1	1	10	100	250	630	1000			수습저항	m ² ·h·mm mmAq/g
내분포압성	40	71	125	230	400	710	1250			단위하중	kg/m ²
내충격성	45	63	160	400	1020	2500	6300			안전충격 에너지	kg·cm
내국압성	13	30	80	200	500	1250	3000			국압하중	kg/cm ²
내마모성	3.2	1.8	1.0	0.56	0.32	0.18	0.1			마모량	mm
내화성	5	10	15	30	60	120	180			내열시간	min
내연성	-	-	-	-	-	-	-			방화재료 종류	-
내경년	5	8	12	20	32	50	80			내구년수	年

<표 6> 물리적 성능의 평가 인자

성능 부위	거주성			안전성			내구성				
	단열	차음	흡음	기밀	방수	방습	국압	방화	내열	방충	내경년
내벽 대안 i											
평가 방법	7등급	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	적/부								○	○	
평가											

<표 7> 시공 성능의 평가 인자

성능 부위	작업성		안전성	생산성		
	난이도	영향도		공기	소요인력	조달성
내벽 대안 i						
평가 방법	7등급	○	○	○	○	○
	적/부					
평가						

<표 8> 기타 성능의 평가 인자 및

성능 부위	시각성		보건성	보수성
	색채	질감		
내벽 대안 i				
평가 방법	7등급	○	○	○
	적/부			○
평가				

단계 3 : 요소 가중치의 부여

단계 1과 단계 2의 결과인 인자 성능치와 인자 가중치를 곱하여 해당 성능 요소의 요소 성능치가 결정하고, 여기에 단계 2에서와 동일한 방법으로 해당 성능 요소의 요소 가중치를 부여한다.

단계 4 : 항목 가중치의 부여

단계 3의 결과인 요소 성능치와 요소 가중치를 곱하여 해당 성능 항목의 항목 성능치가 결정하고, 여기에 단계 2에서와 동일한 방법으로 해당 성능 항목의 항목 가중치를 부여한다.

단계 5 : 대안 성능 지수 결정

단계 4의 결과인 항목 성능치와 성능 가중치를 곱하여 해당 대안의 성능지수를 결정한다. 최종적으로 하자 성능치를 더하여 대안의 성능 지수를 구할 수 있다.

여기서 성능 지수의 산정 방법을 수식화하면, 설계안 i의 성능지수 F_i 는 다음의 (식 1)과 같이 표현할 수 있다.

$$F_i = \frac{\sum f_{ij}W_j}{n \sum W_j} \quad \text{----- (식 1)}$$

단, $i = 1, 2, \dots, m$, m 은 가능 설계안의 수
 $j = 1, 2, \dots, n$, n 은 성능 평가 항목의 수
 f_{ij} 는 설계안 i의 성능 평가 항목 j에 대한 성능치
 W_j 는 성능 평가 항목 j에 대한 가중치

이 식을 성능지수 F_i 의 매트릭스로 나타내면 다음의 (식 2)와 같다.

$$\begin{matrix} F_1 \\ \vdots \\ F_i \\ \vdots \\ F_m \end{matrix} = \frac{1}{n} \begin{matrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{i1} & f_{i2} & \dots & f_{ij} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mj} \end{matrix} \times \begin{matrix} P_1 \\ \vdots \\ P_j \\ \vdots \\ P_n \end{matrix} = \frac{1}{n} \begin{matrix} f_{11}P_1 + f_{12}P_2 + \dots + f_{1j}P_j \\ \vdots \\ f_{i1}P_1 + f_{i2}P_2 + \dots + f_{ij}P_j \\ \vdots \\ f_{m1}P_1 + f_{m2}P_2 + \dots + f_{mj}P_j \end{matrix}$$

-----(식 2) 단, $P_j = \frac{W_j}{\sum W_j}$

3.2 비용 평가

각 대안의 비용 평가란 기존의 여러 연구를 통해서 잘 알려진 수명주기비용 산정 방법을 이용하여 대안의 비용 지수를 구하는 것을 의미한다.

3.2.1 수명주기비용(LCC)의 산정

각 대안의 수명주기비용은 다음의 (식 3)에 의해서 구한다.

$$LCC_i = (IC_i + EC_i + RPC_i) \times \text{면적}(A) \quad \text{--(식 3)}$$

LCC_i : 설계안 i의 수명주기비용
 IC_i : 설계안 i의 초기 건축비 단가
 EC_i : 설계안 i의 에너지 단가
 RPC_i : 설계안 i의 보수/교체비 단가

3.2.2 비용 평가 방법

최대 수명주기비용에서 최소 수명주기비용을 뺀 값을 7로 나누어 7개의 구간을 설정하고, 값이 작은 구간부터 1~7의 등급을 부여하여 설계안 i의 비용지수 C_i 를 구한다. 이 경우 LCC_{max} 와 LCC_{min} 은 극단적인 것을 제외한 값 중에서 선택하게 되며, 한계비용이 설정되어 있는 경우 한계비용은 LCC_{max} 가 된다. 다음은 비용지수를 구하기 위한 비용 평가 기준을 나타낸 것이다.

$$(LCC_{max} - LCC_{min})/7 = r, LCC_{min} + 7r = LCC_{max}$$

$$LCC_{min} \quad LCC_{min}+r \quad LCC_{min}+2r \quad \dots \dots \dots \quad LCC_{min}+6r \quad LCC_{max}$$

$$|<----->|<----->|<----->|<----->|$$

$$1 \quad 2 \quad \dots \dots \dots \quad 7$$

3.3 정량적 가치 평가

이 절에서는 가치 평가의 개념을 살펴보고, 성능 평가와 비용 평가의 결과를 사용하여 대안들의 가치를 평가하는 방법을 설명한다.

3.3.1 가치 평가의 개념

이 연구에서의 가치는 사용자 가치와 비용가치의 두 개념을 혼용하여 사용한다. 즉 사용자의 요구를 만족시켜줄 수 있는 정도와 그 달성을 위해 투입되는 비용을 모두 고려한 개념을 가치라고 본다. 다음은 가치의 여러가지 개념을 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned} \text{가치}(V) &= \frac{\text{성능}(F)}{\text{비용}(C)} && \text{: 일반적 의미의 가치} \\ &= \frac{\text{시방에의 일치 정도}}{\text{투입 비용}} && \text{: 생산자 중심의 가치} \\ &= \frac{\text{고객 요구 성능}}{\text{투입 비용}} && \text{: 소비자 중심적 가치} \end{aligned}$$

여기서의 가치는 소비자 중심적 가치를 의미한다.

3.3.2 가치 평가 방법

가치 평가의 결과치인 가치지수 V_i 는 다음 (식 4)와 같이 설계안 i에 대한 성능지수 F_i 와 비용지수 C_i 의 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$V_i = \frac{F_i}{C_i} = \frac{\sum f_{ij}W_j}{n(\sum W_j)(C_i)} \quad \text{----- (식 4)}$$

단 $i = 1, 2, \dots, m$, m 은 가능 설계안의 수

$j = 1, 2, \dots, n$, n 은 성능 평가 항목의 수
 f_{ij} 는 설계안 i 의 성능 평가 항목 j 에 대한 성능치
 W_j 는 성능 평가 항목 j 에 대한 가중치

3.3.3 기존 방법과의 비교

최적안 선정을 위한 고려 인자는 성능과 비용이며, 평가기준 E 를 성능변수 f_i 와 비용변수 C 의 일반적 함수 G 로 나타내면 다음 (식 5)와 같다.

$$E = G(f_1, f_2, \dots, f_n, C) \text{ ----- (식 5)}$$

단, f_n 은 n 번째 성능 평가 항목의 성능변수
 C 는 비용변수

(1) 최적안 선정을 위한 기존의 방법

가치의 개념을 사용하지 않고, 대안의 성능만을 평가 비교하고 있으며, 비용도 성능의 한 항목으로 보아 다른 성능 항목과 동일한 방법으로 가중치를 부여하여 평가하고 있다. 이를 성능 F 에 대한 식으로 나타내면 (식 6)과 같다.

$$F = \sum p_i f_i + qC, \text{ ----- (식 6)}$$

단, p_i 는 f_i 의 가중치, q 는 C 의 가중치

$$\sum p_i = \frac{\sum W_i}{\sum W_i}, \quad \sum p_i + q = 1$$

(2) 이 연구의 방법

최적안 선정을 위한 의사결정 기준으로서 성능과는 비례관계를 가지고 비용과는 반비례의 관계를 가지는 가치의 개념을 도입하였다. 성능은 1~7의 척도를 사용하여 성능치를 정하고 중요도에 따라 가중치를 부여하여 성능지수로 평가하였으며, 비용은 성능과 동일한 척도를 사용하여 비용지수로 평가하였다. 이를 가치지수 V 에 대한 식으로 나타내면 다음의 (식 7)와 같다.

$$V = \frac{\sum p_i f_i}{C_i} \text{ ----- (식 7)}$$

단, $\sum p_i = 1$

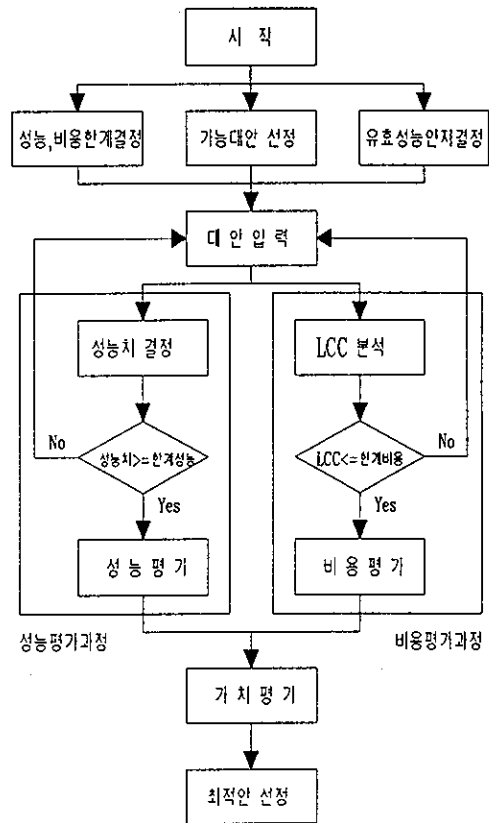
4. 가치 평가에 의한 최적 부위설계안 선정 모형

성능 평가 방법과 비용 평가 방법을 통합한 가치 평가에 의한 최적 부위설계안 선정 모형의 흐름은 다음 <그림 2>와 같으며, 이 모형은 설계단계에서 설계자의 의사결정을 돕기위해 사용될 수 있다.

여기서 성능 한계는 건축법과 건설부 고시, 그리고 KS를 포함한 국내외의 각종 기준 등을 참고하여 각 프로젝트에 적합하게 결정할 수 있으며, 비용 한계는 경제성 등을 고려하여 결정할 수 있다. 유효 성능 인

자란, 3.1.1에서 살펴본 바와 같이 여러가지 성능 평가 인자들 중에서 평가 대상의 성능을 가장 잘 반영할 수 있는 인자들을 의미한다. 유효 성능 인자의 결정에는 전문가의 지식이 반영되어야 하며, 거주후 평가 등으로부터 피드백되는 정보도 활용될 수 있다. 가능 대안의 선정에는 전문가의 지식과 과거의 프로젝트로부터 축적된 자료가 활용될 수 있다.

이 모형에서 성능 평가 과정과 비용 평가 과정은 서로 병렬적인 관계로, 성능 한계와 비용 한계를 모두 만족하는 대안에 대해서만 가치 평가를 수행하게 된다. 최종적으로 각 대안의 가치 평가의 결과값인 가치 지수의 크기를 비교하여 최적 부위설계안을 선정한다.



<그림 2> 최적부위설계안 선정 모형의 흐름도

5. 결론

이 연구에서는 설계단계에서 각 부위설계안의 성능과 비용을 평가하고 그 결과값을 이용하여 가치를 평가하는 방법을 제시하고, 이를 이용하여 최적 부위설계안 선정 모형을 구축하고자 하였으며, 그 주요 연구 결과는 다음과 같다.

(1) 사용자의 요구, 시공자의 요구, 사용단계에서의

하자상황 등을 반영할 수 있는 부위설계안의 성능 평가 인자를 결정하였다.

(2)가중치에 의한 정량적 성능 평가 방법 수립하였다.

(3)수명주기비용의 산정에 의한 비용 평가 방법을 제시하였다.

(4)부위설계안의 가치 평가 방법 수립하였다.

(5)가치평가에 의한 최적 부위설계안 선정 모형을 구축하였다.

참고문헌

1. Quality in the Constructed Project, Vol. 1, ASCE, 1988
2. J.C.Mallon & D.E.Mulligan, "Quality Function Deployment - A System For Meeting Customers", J.Constr.Engrg. & Mamt, ASCE, 119(3)
3. 현창택, "건축공사에서 합리적인 원가절감 방법론의 개발 및 전산화에 관한 연구", 서울대학교 박사학위논문, 1990.1
4. 박태근, "LCC 분석에 의한 공동주택의 최적 설계 방법론에 관한 연구", 서울대학교 박사학위논문, 1992.2
5. 전재열, "건축 설계단계에서의 비용과 성능을 고려한 부위 최적화 방법에 관한 연구", 서울대학교 박사학위논문, 1993.2
6. 강부성, "공동주택 설계정보 개발에 관한 연구", 고려대학교 박사학위논문, 1993.12
7. 럭키개발주식회사, "고층아파트 구조 및 공법개선에 관한 연구", 럭키개발 연구보고서, 1991.2