

고층건물 구조시스템의 대안평가 방안 연구

A Study on the Alternative Evaluation of the High-rise Building Structural System

김 영 민* 김 치 경*
Kim, Yeong-Min Kim, Chee-Kyeong

요 지

본 연구에서는 고층건물 구조시스템의 다양한 대안으로부터 이들의 성능을 합리적으로 평가하는 방안을 제안하였다. 대안평가는 업무절차에 따라 예비평가, 본평가, 실시평가로 나누어 수행된다. 대안평가를 위한 평가범주는 구조성능, 경제성, 공기의 세 가지로 구성되고, 각 평가범주는 이들을 평가하기 위한 세부 평가항목으로 구성된다. 예비평가에서는 경험지식에 의한 정성적인 평가를 수행하며, 본평가와 실시평가에서는 수치적인 결과를 바탕으로 주로 정량적인 평가를 수행한다. 평가결과와 종합화는 평가항목들간의 관계가 선형적이라는 가정하에 가중평균법을 적용하였다. 제안된 대안평가 방안은 실무예제에 대한 시뮬레이션을 통하여 그 적용성을 검토하였다.

핵심용어 : 고층건물, 대안평가, 경험지식, 시뮬레이션

Abstract

This study presents the alternative evaluation technique for the high-rise building structural system. The alternative evaluation of the structural system is performed in three steps, that is, preliminary evaluation, main evaluation and detailed evaluation. The evaluation categories are composed of structural performance, economic feasibility and term of work. Each categories are composed of detailed items to evaluate of its own. In preliminary evaluation, qualitative evaluation based on experimental knowledge is performed. In main and detailed evaluations, quantitative evaluations based on numeric data are performed. The weighted-sum method is applied to integrate the evaluated results of each items and its importance. The applicability of the proposed method was verified by applying it to the practical buildings and simulate the procedures.

Keywords : high-rise building, alternative evaluation, experimental knowledge, simulation

1. 서 론

고층건물의 구조시스템 선정은 전체 프로젝트의 구조적 성능과 경제성에 지대한 영향을 미치는 중요한 작업이다(정중현, 2007). 따라서 고층건물을 설계할 때에는 여러 대안을 생성하고 이를 합리적으로 평가하여 해당 프로젝트의 목적에 맞는 가장 적합한 대안을 선택해야 한다. 고층건물의 대안평가에 대해서는 실무 엔지니어링 회사에서는 나름대로의 기준으로 수행하고 있으며, 일반적으로 경제성을 가장 크게 고려하여 평가하고 있다. 초고층 건물의 대안평가와 관련된 연구로서 서지현 등은 강재의 강도별 재료가격을 고려한 구조비용 최적화에 대한 연구를 수행하였으며(서지현 등, 2009),

Cho 등은 비슷한 규모의 실제 지어진 합성구조와 RC 구조의 고층건물에 대한 구조물량과 비용분석을 통해 구조형식에 따른 경제적인 대안을 제시하였다(Cho 등, 2004). 고층건물 구조시스템의 대안평가는 특정한 하나의 기준이 아니라 여러 기준에 의해서 다면적으로 이루어지며, 합리적인 평가를 위해서는 이러한 기준들을 종합적으로 고려할 수 있어야 한다. 그러나 현실적인 어려움은 평가에 있어서 다양한 평가항목들간의 관계가 불명확하다는데 있다(김영민 등, 2010).

본 연구에서는 고층건물의 구조시스템에 대한 다양한 대안으로부터 각 대안의 성능을 합리적으로 평가하는 방안을 제안하였다. 이를 위해 우선, 대안평가를 위한 평가항목과 각 평가항목별 평가기준을 도출하고, 도출된 기준에 따라 평가

† 책임저자, 정회원 · 명지대학교 건축학부 조교수
Tel: 031-330-6490 ; Fax: 031-330-6487
E-mail: ymkim@mju.ac.kr

* 종신회원 · 선문대학교 건축학부 교수

• 이 논문에 대한 토론을 2010년 10월 30일까지 본 학회에 보내주시면 2010년 12월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

결과를 산정하는 방법을 제안하였다. 그리고 최종적으로 제안된 대안평가 방안을 실무예제에 대한 시뮬레이션을 통하여 그 적용성을 검토하였다.

2. 구조시스템 대안평가

2.1 업무진행단계에 따른 평가의 분류

건물은 구조형식과 구조부재의 종류 및 배치방식에 따라서 전체적인 구조성능, 경제성, 공기가 크게 영향을 받는다. 즉, 구조시스템의 선정과정은 최적의 설계안을 도출하는 과정이라 할 수 있으며, 이는 응력제약, 변위제약, 치수제약, 안전성, 시공성, 기능, 미관 등 설계에 관련된 각종 제약조건을 만족하면서 재료비, 가공비, 가설비, 유지관리비 등을 포함한 건설경비가 가장 적게 드는 구조형식과 사용재료, 단면치수를 결정하는 과정이다(조한욱 등 2010).

구조시스템에 대한 초기 대안생성에는 많은 가정과 단순화가 필요하다. 그리고 이러한 과정에는 전문가의 전문적인 지식이 많이 요구된다. 이러한 이유로 건축계획적인 조건을 만족하는 초기의 적절한 구조시스템의 선정은 주로 경험이 많은 전문가에 의해 수행되고 있다.

대안생성 이후에는 대안을 평가하는 단계로 넘어간다. 본 연구에서는 이전의 연구결과를 바탕으로 대안평가를 그림 1에서 보는바와 같이 예비평가, 본평가 및 실시평가의 세 가지 단계로 나누었다(김영민 등, 2010). 예비평가는 구조해석을 수행하기 이전에 행하는 평가로서 구조물의 형태와 구조형식을 바탕으로 경험지식에 의한 정성적인 평가를 수행한다. 본평가에서는 구조해석의 수치적인 결과와 구조설계에 따른 구조물량을 바탕으로 정량적인 평가를 수행한다. 실시평가에서는 시공방법과 시공일정 및 각종 간접비와 직접비를 고려하여 사업성에 대한 정량적인 평가를 수행한다. 각 단계마다의 평가범주는 구조성능, 경제성, 공기의 세 가지로 구성하였으며 이를 평가하는 방법과 기준은 평가단계마다의 특성에 따라 달라진다.

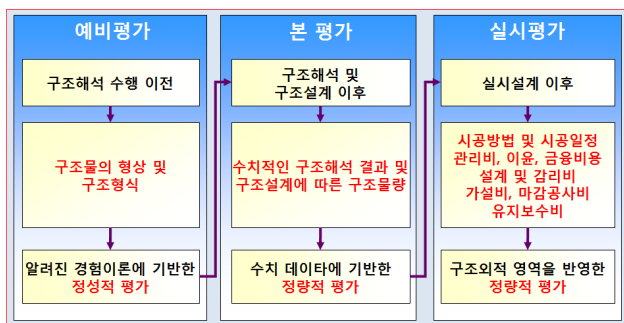


그림 1 업무 진행단계에 따른 평가의 분류

2.2 평가결과 종합화

구조시스템의 대안평가는 우선 많은 수의 초기대안에 대하여 정성적인 평가인 예비평가를 수행하여 일정한 수준을 만족하는 대안들을 1차로 선발한다. 이렇게 선발된 대안들에 대해 본평가에서 구체적인 수치에 의한 정량적인 평가를 수행하여 수 개 정도의 대안을 2차로 선발한다. 마지막으로 본 평가를 통과한 대안들에 대해 실시평가를 수행하여 고려중인 프로젝트에 가장 적합한 최종안을 선정한다.

대안에 대한 평가는 예비평가, 본평가, 실시평가의 각 평가단계별로 구조성능, 경제성, 공기의 세 가지 평가범주에 대하여 이루어지며, 이들 평가범주들은 이들을 평가하기 위한 세부평가항목으로 구성되어 있다. 각 평가항목들을 미리 정의된 평가기준에 의하여 평가하여 평가치를 구하고 여기에 각 평가항목의 중요도를 고려하여 각 평가범주를 평가한다. 그 이후 각 평가범주의 평가치와 중요도를 고려하여 구조성능, 경제성, 공기를 모두 고려한 평가결과를 얻는다.

평가치와 중요도의 종합화 방법은 간단하게는 최소값법, 최대값법, 가중평균법이 있고, 평가항목들간의 상호작용관계를 반영하는 방법으로 퍼지적분법이 있다. 본 연구에서는 평가단계별로 평가항목과 이들을 평가하기 위한 평가기준을 설정하는 것을 주목표로 하였으므로 종합화기법은 평가항목들간의 관계가 선형이라는 가정하에 일반적으로 사용되고 있는 가중평균법을 적용하였다. 평가수행시 일부 평가항목을 평가할 수 없는 경우에는 해당 평가항목의 가중치를 나머지 평가항목으로 재분배하였다. 이 때 분배율은 분배 받을 평가항목의 가중치에 비례하도록 하였다.

3. 평가항목의 정형화

3.1 구조성능 평가

건물의 구조성능 평가는 크게 강도평가, 강성평가 및 사용성평가로 나눌 수 있다. 이중 강도평가는 강도설계와 관련되고 강성평가는 강성설계와 관련된다. 강도설계는 구조부재의 하중지지나 하중전달능력을 조절하는 설계방법으로, 구조물을 구성하는 구조부재 각각의 부재응력을 확인하고 이것을 부재를 구성하는 재료의 허용응력과 비교하여 그 초과 여부에 따라 부재단면의 크기를 변경하거나 또는 재료의 강도를 변경함으로써 쉽게 이루어질 수 있다. 반면, 강성설계는 구조물 전체의 변형저항능력을 조절하는 설계방법으로, 부재의 개별적인 단면성능 조절로는 구조물의 전체적인 변형저항능력을 조절하기 어려우므로 구조시스템 차원에서 접근할 필요

가 있다(조한욱 등, 2010). 한편, 사용성평가는 거주성과 관련된 것으로서 건물이 고층화될수록 지진이나 바람에 의한 수평진동에 더 민감하게 반응하고, 또한 바닥판이 경량화될수록 바닥판의 수직진동이 심해지는 등의 특징이 있다. 이와 같은 특성 때문에 정형적인 중저층 건물에서는 강도설계가 구조성능 평가에 크게 영향을 미치나 비정형이거나 초고층 건물일수록 강성설계와 사용성능이 성능평가에 크게 영향을 미친다. 이와 같은 특성을 반영하여 고층 및 초고층 건물을 대상으로 하는 본 연구에서는 구조성능 평가는 주로 강성 평가와 사용성평가를 대상으로 하였다.

3.1.1 예비평가 단계에서의 구조성능 평가

예비평가 단계는 구조해석을 수행하기 이전이므로 구조물의 형태와 구조형식을 바탕으로 주로 알려진 지식을 이용하여 정성적인 평가를 수행한다. 이 단계에서의 평가항목에는 구조형식별 변위응답 및 가속도응답특성과 건물형상에 따른 횡강성 및 풍하중 응답특성이 있다.

건물은 구조형식에 따라 감쇠비, 고유주기 및 구조물 중량이 다르고 이에 따라 풍하중 및 지진하중과 같은 횡하중에 대한 변위응답과 가속도응답이 달라진다. 이러한 횡하중 응답은 건물의 감쇠비에 반비례하고 고유주기에 비례하는 특징이 있다. 한편, 지진하중은 건물의 중량에 비례하여 증가한다. 철근콘크리트구조는 강구조에 비해 질량이 커서 지진하중을 더 많이 받으며 이로 인해 횡변위는 증가한다. 한편, 고강도콘크리트나 경량콘크리트는 자중감소로 지진력이 저감된다. 감쇠비와 고유주기 및 구조물 중량을 직접 구할 수 있는 경우에는 산출된 값을 근거로 평가하고, 그렇지 않은 경우에는 표 1에서 제시하는 구조형식에 따른 대략적인 특성값을 이용하여 평가한다.

표 1 구조형식에 따른 구조성능 평가

구조형식	감쇠비		고유주기		질량(자중)	
	평가값	평가지수	평가값	평가지수	평가값	평가지수
RC 구조	크다	0.7	작다	0.7	크다	0.3
합성구조	보통	0.5	보통	0.5	보통	0.5
강구조	작다	0.3	크다	0.3	작다	0.7

표 2 감쇠비 평가기준 및 이에 의한 구조성능 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (횡하중 응답)
감쇠비	0.07 초과	0.9	매우 작다
	0.05~0.07	0.7	작다
	0.03~0.05	0.5	보통이다
	0.01~0.03	0.3	크다
	0.01 미만	0.1	매우 크다

표 3 고유주기 평가기준 및 이에 의한 구조성능 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (횡하중 응답)
고유주기 (기준값 : 0.1N 또는 H/33) N:층수 H:건물높이(m)	60% 미만	0.9	매우 작다
	60~85%	0.7	작다
	85~115%	0.5	보통이다
	115~140%	0.3	크다
	140% 초과	0.1	매우 크다

표 4 구조형식 및 콘크리트의 종류에 따른 구조성능 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (지진하중 응답)
구조형식(구조물 중량)	강구조	0.7	작다
	합성구조	0.5	보통이다
	고강도콘크리트	0.5	보통이다
	경량콘크리트	0.5	보통이다
	보통콘크리트	0.3	크다

표 5 코어면적비에 따른 구조성능 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (횡변위)
코어 면적비 (기준층 평면에 대한 코어의 면적 비율)	30% 초과	0.9	매우 작다
	25~30%	0.7	작다
	20~25%	0.5	보통이다
	15~20%	0.3	크다
	15% 미만	0.1	매우 크다

표 6 형상비에 따른 구조성능 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (횡변위)
형상비 (기준층 단면길이에 대한 건물 높이비)	3.0 미만	0.9	매우 작다
	3.0~4.5	0.7	작다
	4.5~6.5	0.5	보통이다
	6.5~8.0	0.3	크다
	8.0 초과	0.1	매우 크다

건물의 평면 및 입면 구성에 따라 횡강성을 평가할 수 있다. 일반적으로 횡강성은 코어의 크기(전체 평면에서 코어가 차지하는 면적 비율)에 비례하고, 형상비(단면 길이에 대한 건물높이 비)에 반비례하는 경향이 있다. 표 5와 표 6은 코어면적비와 형상비에 따른 횡강성 평가기준을 보여준다.

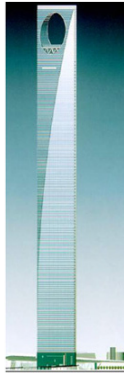
풍하중 평가에 영향을 주는 요소는 건물 주변환경에 따른 건물외부 바람의 특성, 건물형태에 따른 바람의 영향, 그리고 구조물의 동적특성에 따른 바람과 구조물의 공진효과(전체 풍하중 영향중 50% 정도의 영향을 미침)가 있다. 특히, 풍하중 응답은 건물형상에 따라 달라지며 그림 2와 같이 풍하중 저감특성을 지닌 경우에는 풍하중에 의한 횡변위 및 풍진동이 줄어든다. 건물형상에 따른 풍하중 응답은 표 7, 8, 9를 이용하여 평가한다.



(a) 건물 모서리의 기하학적 형상변화



(b) 높이에 따른 단면적 감소



(c) 건물 상부의 개구부

그림 2 풍하중 응답특성에 영향을 미치는 건물 형상

표 7 건물 모서리 형상변화에 따른 풍하중 응답특성 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (풍하중 응답)
건물 모서리 형상 변화 (Fins, Slotted, Rounded, Chamfered)	현저하고 복합적이다	0.9	매우 작다
	현저하다	0.7	작다
	보통이다	0.5	보통이다
	국부적이다	0.3	크다
	거의 없다	0.1	매우 크다

표 8 높이방향 단면적 감소에 따른 풍하중 응답특성 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (풍하중 응답)
높이에 따른 단면적 감소율 (기준층 면적 대비 최상층 면적 감소율)	40% 이상	0.9	매우 작다
	25~40%	0.7	작다
	10~25%	0.5	보통이다
	5~10%	0.3	크다
	5% 미만	0.1	매우 크다

표 9 건물 상부 개구부에 따른 풍하중 응답특성 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (풍하중 응답)
건물 상부 개구부 비율 (입면 면적 대비 개구부 면적 비율)	15% 이상	0.9	매우 작다
	10~15%	0.7	작다
	5~10%	0.5	보통이다
	2~5%	0.3	크다
	2% 미만	0.1	매우 크다

3.1.2 본평가 단계의 구조성능 평가

본평가는 구조해석과 구조설계 이후 실시하는 평가로서, 수치적인 구조해석 결과와 구조설계에 따른 구조물량을 바탕으로 주로 정량적인 평가를 수행한다. 본평가 단계의 구조성

표 10 횡변위비 평가기준 및 이에 의한 구조성능 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (전체 횡강성)
횡변위 (허용 횡변위에 대한 산출된 횡변위의 비율)	85% 미만	0.9	매우 크다
	85~95%	0.7	크다
	95~105%	0.5	보통이다
	105~120%	0.3	작다
	120% 초과	0.1	매우 작다

표 11 층간변위비 평가기준 및 이에 의한 구조성능 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (층 횡강성)
층간변위비 (허용 층간변위비를 초과한 층의 비율)	0% 미만	0.9	매우 크다
	0~2%	0.7	크다
	2~5%	0.5	보통이다
	5~10%	0.3	작다
	10% 초과	0.1	매우 작다

표 12 부등축소량 평가기준 및 이에 의한 구조성능 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (수직강성)
부등축소량 (허용부등축소량을 초과한 수평부재의 비율)	0% 미만	0.9	매우 크다
	0~2%	0.7	크다
	2~5%	0.5	보통이다
	5~10%	0.3	작다
	10% 초과	0.1	매우 작다

능 평가항목에는 횡변위, 층간변위비, 부등축소량, 수평진동(풍진동, 지진진동), 바닥진동(수직진동)이 있다. 수평진동과 바닥진동은 사용성과 관계되는 평가항목이다.

횡변위는 구조시스템의 횡강성을 평가하는 주요한 항목으로 허용횡변위를 기준으로 표 10과 같이 평가한다. 횡변위는 두 개의 주축방향에 대해 평가한다. 허용횡변위는 건물의 용도에 따라 적용되는 값이 다르며, 일반적으로 건물높이의 1/800~1/250 범위의 값을 적용한다.

층간변위비는 층고에 대한 해당층 상하 슬래브간의 상대변위로 계산되며, 마감재 등의 비구조적 요소의 피해와 직접적으로 연관된다. 층간변위비는 표 11과 같이 전체 층 중에서 허용층간변위비를 초과한 층의 비율로 평가한다. 일반적으로 허용층간변위비는 0.015가 적용된다.

부등축소량은 수평부재로 연결된 수직부재간의 수직변위 차이로 계산되며, 비구조적 요소의 피해와 직접적으로 연관된다(김영민, 2008; 2010). 부등축소량은 표 12와 같이 전체 수평부재중에서 허용부등축소량을 초과한 수평부재의 비율로 평가한다. 일반적으로 허용부등축소량은 L/240(L : 수평부재길이)이 적용된다.

구조성능 중 사용성 평가항목에는 수평진동과 수직진동이 있다. 횡하중에 의한 수평진동은 진동가속도로 평가하며 그

표 13 수평진동 평가기준 및 이에 의한 구조성능 평가

평가항목	평가기준	거주자 느낌	평가 지수	평가결과 (사용성)
수평진동 (가속도, g)	0.005g 미만	인지못함	0.9	매우좋다
	0.005g~0.015g	인지시작	0.7	좋다
	0.015g~0.05g	불쾌하다	0.5	보통이다
	0.05g~0.15g	매우불쾌	0.3	나쁘다
	0.15g 초과	참기어렵다	0.1	매우나쁘다

표 14 바닥진동 평가기준 및 이에 의한 구조성능 평가

평가항목	평가기준 (dB)	거주자 느낌	평가 지수	평가결과 (사용성)
바닥진동 (진동레벨, dB)	65 미만	인지못함	0.9	매우좋다
	65~85	인지시작	0.7	좋다
	85~110	불쾌하다	0.5	보통이다
	110~130	매우불쾌	0.3	나쁘다
	130 초과	참기어렵다	0.1	매우나쁘다

기준은 표 13과 같다. 바닥판의 수직진동은 진동레벨(dB)로 평가하며 그 기준은 Meister, Bachmann, Steffens, Dieckmann, DIN, ANSI 등의 제안(김영학 등, 2004; 조강표 등, 2007)을 근거로 표 14와 같이 구성하였다. 특히 주거용 건물은 진동이 사용성에 크게 영향을 미치므로 가중치를 조절하여 평가할 필요가 있다.

3.1.3 실시평가 단계에서의 구조성능 평가

실시평가 단계에서의 구조성능은 본평가 단계의 결과를 이용한다.

3.2 경제성 평가

건축물의 경제성 분석은 사업기획단계에서 사업의 타당성을 판단하는 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 대표적인 경제성 평가항목에는 구조물량과 비용이 있다.

3.2.1 예비평가 단계에서의 경제성 평가

예비평가 단계에서의 경제성은 구조형식, 바닥판 형식, 콘크리트의 종류에 따라 일반적으로 알려진 경험지식을 이용하여 평가한다. 건물이 고층화될수록 골조의 종류가 공사비에 크게 영향을 미친다. 예를 들면, 고강도콘크리트는 단가는 비싸지만 단면감소로 거푸집량이 줄어들어 거푸집 공사비가 절감되고, 노무량 감소로 인건비가 절감되며, 자중감소로 기초 및 지반의 구조물량이 절감되어 초고층 건물에서는 전체적인 비용절감 효과가 있다. 또한 경량 콘크리트는 자중감소로 기초 및 지반의 구조물량이 절감되는 효과가 있다(한국 초고층 건축포럼, 2007).

표 15 콘크리트의 종류에 따른 경제성 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (공사비)
콘크리트 종류	고강도콘크리트	0.7	적다
	경량콘크리트	0.5	보통이다
	보통콘크리트	0.5	보통이다

표 16 바닥판 형식에 따른 경제성 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (공사비)
바닥판 형식	PT Flat plate	0.7	적다(90)
	RC Flat plate	0.6	약간 적다(95)
	RC 보-슬래브	0.5	보통이다(100)
	철골조 합성데크	0.1	매우 많다(140)

RC 공사의 거푸집 공사비의 대략 반 정도는 노무비가 차지한다. 따라서, 공기단축 및 비용절감을 위해서는 거푸집 공사를 단순화할 필요가 있다. 무량판구조라 불리는 Flat plate 구조는 보가 없어 슬래브 두께가 두꺼워 콘크리트와 철근은 더 소요되나 거푸집 공사의 단순화로 노무비가 절감되고 공기단축으로 전체적인 공사비가 절감되는 효과가 있다. 특히, Post-tension(PT) flat plate 구조는 공기는 다소 증가하지만 슬래브 두께 증가가 크지 않아 물량이 절감되어 전체적인 공사비가 줄어드는 효과가 있다.

3.2.2 본평가 단계에서의 경제성 평가

구조해석과 구조설계 이후 실시하는 본평가 단계에서는 산출된 구조물량을 바탕으로 경제성을 정량적으로 평가한다. 즉, 강구조인 경우는 강재량을, RC 구조인 경우에는 콘크리트와 철근 및 거푸집량을, 철골철근콘크리트의 합성구조인 경우에는 강재, 콘크리트, 철근 및 거푸집량을 산출하여 평가

표 17 구조형식별 단위면적당 구조물량(N:층수)

구조형식	구조재료	구조물량
RC 구조	강구조	강재 $0.00625N^2 + 0.625N + 50$ (kgf/m ²)
	콘크리트	$0.0000667N^2 + 0.0045N + 0.24$ (m ³ /m ²)
	철근	$0.009375N^2 + 0.5N + 36.25$ (kgf/m ²)
	거푸집	$0.000156N^2 + 0.0075N + 2.0$ (m ² /m ²)

표 18 구조물량에 의한 경제성 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (구조자재비)
구조물량 (기준값 대비 단위 면적당 구조물량)	70% 미만	0.9	매우 적다
	70~90%	0.7	적다
	90~110%	0.5	보통이다
	110~130%	0.3	많다
	130% 초과	0.1	매우 많다

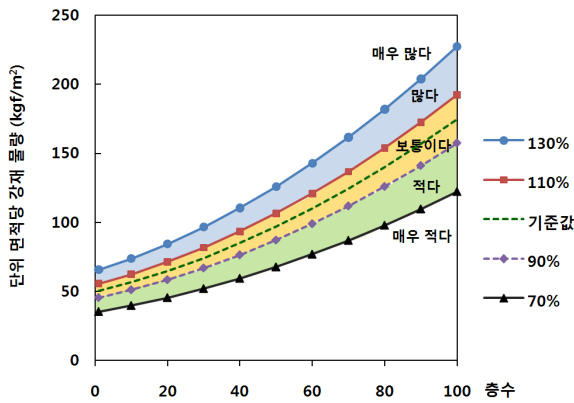


그림 3 층수에 따른 단위면적당 강재량

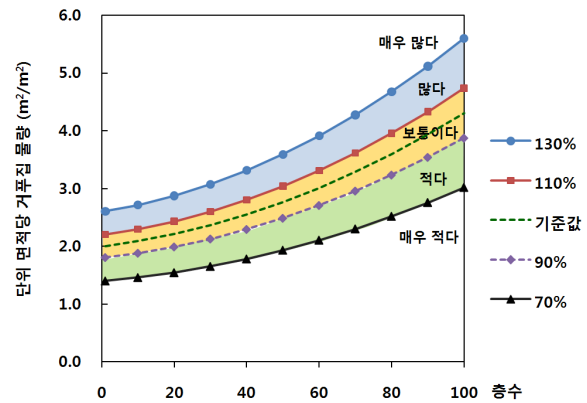


그림 6 층수에 따른 단위면적당 거푸집량

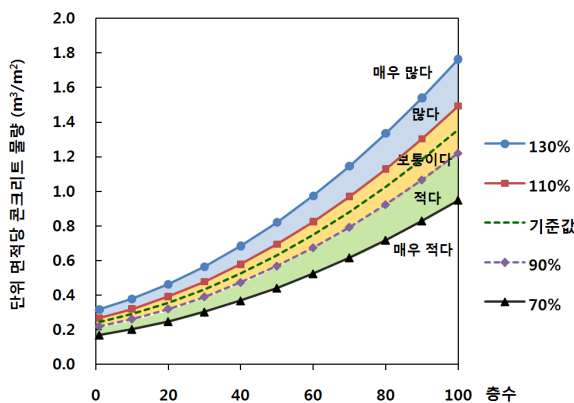


그림 4 층수에 따른 단위면적당 콘크리트량

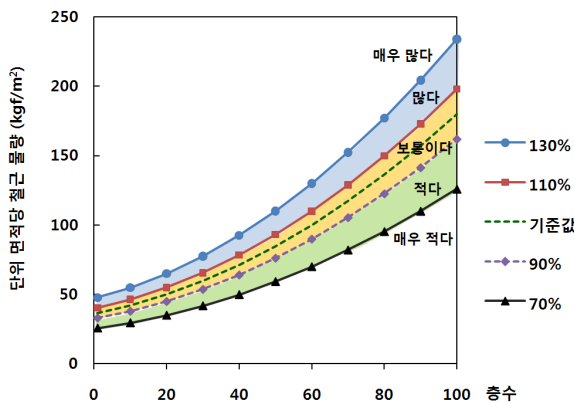


그림 5 층수에 따른 단위면적당 철근량

한다. 특히, 거푸집 비용은 콘크리트 건물에서 가장 중요한 비용인자 중 하나이다(Cho 등, 2004). 층수에 따른 강구조와 RC 구조의 단위면적당 기준 구조물량은 표 17의 식과 같다. 이 식은 국내외의 기준 초고층 건물의 구조물량을 근거로 회귀식으로 구하였다. 이 식의 값을 기준으로 표 18을 바탕으로 구조물량을 평가한다. 그림 3은 강구조인 경우 층수에 따른 단위면적당 강재량을 나타낸 것이고, 그림 4부터 그림 6은 RC 구조인 경우 층수에 따른 단위면적당 콘크리트량, 철근량, 거푸집량을 나타낸 것이다.

3.2.3 실시평가 단계에서의 경제성 평가

실시평가 단계에서 경제성은 구조재와 마감재의 자체비에서 시공방법과 시공일정을 반영하고, 관리비, 금융비용 등의 간접비와 기획비, 설계비, 감리비, 공사비, 유지보수비 등의 직접비를 구체적으로 산정하여 평가한다.

3.3 공기 평가

공기는 금융비용과 분양수익 등 간접비에 미치는 영향이 크고 이에 따라 전체 프로젝트의 경제성에 크게 영향을 미친다.

3.3.1 예비평가 단계에서의 공기 평가

예비평가 단계에서는 구조형식과 콘크리트의 종류, 바닥판 형식, 건물형태의 비정형성으로부터 경험적인 지식을 바탕으로 사업일정과 공사일정에 대한 정성적인 평가를 수행한다. 강구조는 철근콘크리트구조에 비해 거푸집 공사기간 및 양생기간의 생략으로 공기가 단축되고, 합성구조는 철근콘크리트구조에 비해 공기가 단축되며, 고강도 콘크리트는 강도의 조기발현으로 시공능률이 향상되어 공기가 단축되는 효과가 있다. 건물형태가 정형인 경우는 반복작업이 용이하여 공기가 단축되나, 비정형인 경우에는 공기가 급격히 증가하는 특징이 있다.

동일한 하중을 지지하기 위해 수직부재의 단면을 크게 하여 적게 배치하는 경우와 작은 크기의 수직부재를 다수 배치하는 경우가 있다. 일반적으로 기둥의 경우 부재의 개수가 많아지면 공기가 증가하며, 벽체의 경우 벽체의 길이가 길수록 공기가 증가하는 경향이 있다. 한편 아웃리거는 횡방향 강성을 증가시키는 데는 큰 역할을 하지만 다른 층과의 시공방법상 차이가 커서 시공전환과 아웃리거 자체의 시공에 많은 시간이 소요된다. 대략 아웃리거 한 층마다 60일 정도의 공기증가가 따르며, 이로부터 아웃리거의 개수로부터 공기를 간접적으로 평가할 수 있다.

표 19 건물 구조형식에 따른 공기 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (골조 공기)
건물 구조형식	강구조	0.7	짧다
	합성구조	0.5	보통이다
	RC 구조	0.3	길다

표 20 콘크리트의 종류에 따른 공기 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (골조 공기)
콘크리트 종류	고강도콘크리트	0.7	짧다
	경량콘크리트	0.5	보통이다
	보통콘크리트	0.5	보통이다

표 21 바닥판 형식에 따른 공기 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (골조 공기)
바닥판 형식	RC Flat plate	0.7	짧다(4일/층)
	PT Flat plate	0.6	약간 짧다 (4.5일/층)
	철골조 합성데크	0.5	보통이다(5일/층)
	RC 보-슬래브	0.3	길다(7일/층)

표 22 건물의 비정형성에 따른 공기 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (골조 공기)
비정형성	매우 적다	0.9	매우 짧다
	적다	0.7	짧다
	보통이다	0.5	보통이다
	크다	0.3	길다
	매우 크다	0.1	매우 길다

표 23 바닥면적대비 기둥개수에 따른 공기 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (골조 공기)
기둥개수 (개/m ²) (바닥면적대비 기둥개수)	0.01 미만	0.9	매우 짧다
	0.01~0.02	0.7	짧다
	0.02~0.03	0.5	보통이다
	0.03~0.04	0.3	길다
	0.04 초과	0.1	매우 길다

표 24 코어면적대비 벽체길이에 따른 공기 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (골조 공기)
벽체길이 (m/m ²) (코어면적대비 벽체길이)	0.5 미만	0.9	매우 짧다
	0.5~0.75	0.7	짧다
	0.75~1.0	0.5	보통이다
	1.0~1.25	0.3	길다
	1.25 초과	0.1	매우 길다

표 25 아웃리거 개수에 따른 공기 평가

평가항목	평가기준	평가지수	평가결과 (골조 공기)
아웃리거 개수	0개	0.9	매우 짧다
	1개	0.7	짧다
	2개	0.5	보통이다
	3개	0.3	길다
	4개 이상	0.1	매우 길다

3.3.2 본평가 단계에서의 공기 평가

본평가 단계에서 공기는 아직 구체적인 데이터가 산출되기 이전이므로 예비평가단계의 결과를 이용한다.

3.3.3 실시평가 단계에서의 공기 평가

실시평가 단계에서 공기는 설계 및 인허가 기간을 포함하는 사업일정과 토공사, 가설공사, 골조공사, 마감공사 등의 각종 공사일정을 구체적으로 산정하여 평가한다.

4. 구조시스템 대안평가 시뮬레이션

4.1 대안평가 시뮬레이션 예제

본 장에서는 예비평가와 본평가 및 실시평가에 의한 구조시스템의 대안평가 과정을 세 개의 예제를 통하여 시뮬레이션하였다. 각 대안은 지상 59층, 높이 184.5m, 기준층 면적 1,334m², 연면적 78,706m², 코어면적 222m², 형상비 3.94의 RC조 건물로서 구조특성은 표 26과 같고 입면 및 평면은 그림 7과 같다. 표 27에서 본평가 결과는 구조해석과 구조설계를 수행한 후에 산출된 값이다.

표 26 각 대안평가 예제의 구조 특성

평가항목	대안 1	대안 2	대안 3
바닥판 형식	Flat plate	PT Flat plate	PT Flat plate + 외곽보
횡력저항 시스템	코어 + 핀월(Fin wall)	코어 + 핀월 + 유효보	코어 + 핀월 + 유효보 + 아웃리거1개층
주요부재 사이즈 (mm)	슬래브:300 기둥:500x1500 코어:1~4F:950 5F~Roof:850	슬래브:250 기둥:500x1500 코어:1~4F:800 5F~Roof:600	슬래브:250 기둥:500x1500 외곽보:400 코어(전층):600 아웃리거:400
기준층 층고	3,000mm	2,950mm	3,100mm
콘크리트강도	고층부:27MPa 저층부:60MPa	고층부:27MPa 저층부:60MPa	고층부:27MPa 저층부:60MPa
콘크리트	35,546m ³	17,285m ³	17,598m ³
철근	8,886ton	4,321ton	4,329ton
거푸집	196,765m ²	181,023m ²	188,894m ²
골조공기	236일	265일	325일

표 27 대안평가 시뮬레이션 예제의 평가치와 중요도

단계	평가범주		2차 평가항목		1차 평가항목		대안 1		대안 2		대안 3	
	항목	중요도	항목	중요도	항목	중요도	평가값	평가지수	평가값	평가지수	평가값	평가지수
예비평가	구조성능	0.4	횡하중 응답	0.2	감쇠비	0.5	크다	0.7	크다	0.7	크다	0.7
					고유주기	0.5	작다	0.7	작다	0.7	작다	0.7
			지진응답	0.2	구조형식(자중)	1.0	보통	0.5	보통	0.5	보통	0.5
			횡강성	0.3	코어면적비	0.5	16.6%	0.3	16.6%	0.3	16.6%	0.3
					형상비	0.5	3.94	0.7	3.94	0.7	3.94	0.7
			풍하중 응답	0.3	모서리 형상변화	0.4	보통	0.5	보통	0.5	보통	0.5
	단면적 감소율	0.3			0%	0.1	0%	0.1	0%	0.1		
	상부 개구부비율	0.3			0%	0.1	0%	0.1	0%	0.1		
	경제성	0.3	공사비	1.0	콘크리트 종류	0.4	고강도	0.7	고강도	0.7	고강도	0.7
					바닥판 형식	0.6	RC 무량판	0.6	RC PT무량판	0.7	RC PT무량판	0.7
	공기	0.3	골조공기	1.0	건물 구조형식	0.1	RC 구조	0.3	RC 구조	0.3	RC 구조	0.3
					콘크리트 종류	0.1	고강도	0.7	고강도	0.7	고강도	0.7
					바닥판 형식	0.1	RC 무량판 (4일/층)	0.7	RC PT무량판 (4.5일/층)	0.6	RC PT무량판 (4.5일/층)	0.6
					비정형성	0.3	매우적다	0.9	매우적다	0.9	매우적다	0.9
기동개수비(개/m ²)					0.1	0.028	0.5	0.028	0.5	0.028	0.5	
벽체길이비(m/m ²)					0.1	0.83	0.5	0.83	0.5	0.83	0.5	
아웃리거개수					0.2	0	0.9	0	0.9	1	0.7	
본평가	구조성능	0.4	전체 횡강성	0.5	횡변위(X방향)	0.5	0.403m(87%)	0.7	0.467m(101%)	0.5	0.306(66%)	0.9
					횡변위(Y방향)	0.5	0.299m(65%)	0.9	0.317m(69%)	0.9	0.168(36%)	0.9
					층간변위비(X방향)	0.5	모두만족	0.9	모두만족	0.9	모두만족	0.9
			층간변위비(Y방향)	0.5	모두만족	0.9	모두만족	0.9	모두만족	0.9		
			수직강성	0.1	부등축소량	1.0	모두만족	0.9	모두만족	0.9	모두만족	0.9
	사용성	0.1	수평진동	0.5	-	-	-	-	-	-		
			바닥진동	0.5	-	-	-	-	-	-		
	경제성	0.4	콘크리트량	0.25	단위물량(m ³ /m ²)	1.0	0.452(61.3%)	0.9	0.220(29.8%)	0.9	0.224(30.4%)	0.9
			철근량	0.35	단위물량(kgf/m ²)	1.0	113(115%)	0.3	55(56%)	0.9	55(56%)	0.9
			거푸집량	0.4	단위물량(m ² /m ²)	1.0	2.5(83.7%)	0.7	2.3(77.0%)	0.7	2.4(80.4%)	0.7
공기	0.2					예비평가 결과 이용						
실시평가	구조성능	0.2	본평가 결과 이용									
			경제성	0.5	자재비	구조자재비(천원)	8,548,400		4,156,900		4,179,400	
	마감자재비(천원)	14,000,000					14,000,000		14,000,000			
	간접비	관리비(천원)			2,500,000		3,000,000		3,300,000			
		금융비용(천원)			1,200,000		1,500,000		1,500,000			
	직접비	기획비(천원)			950,000		950,000		950,000			
		설계비(천원)			1,850,000		1,950,000		2,050,000			
		감리비(천원)			1,700,000		1,800,000		1,900,000			
		공사비(천원)	4,503,400		3,256,600		3,360,000					
	유지보수비(천원)	450,300		325,700		336,000						
	합계(천원)			35,702,100		30,939,200		31,575,400				
	공기	0.3	사업일정	설계기간(일)	95		95		95			
				인허가기간(일)	45		45		45			
공사일정			토공사(일)	60		60		60				
			가설공사(일)	45		45		45				
			골조공사(일)	236		265		325				
			마감공사(일)	200		200		200				
합계(일)			681		710		770					

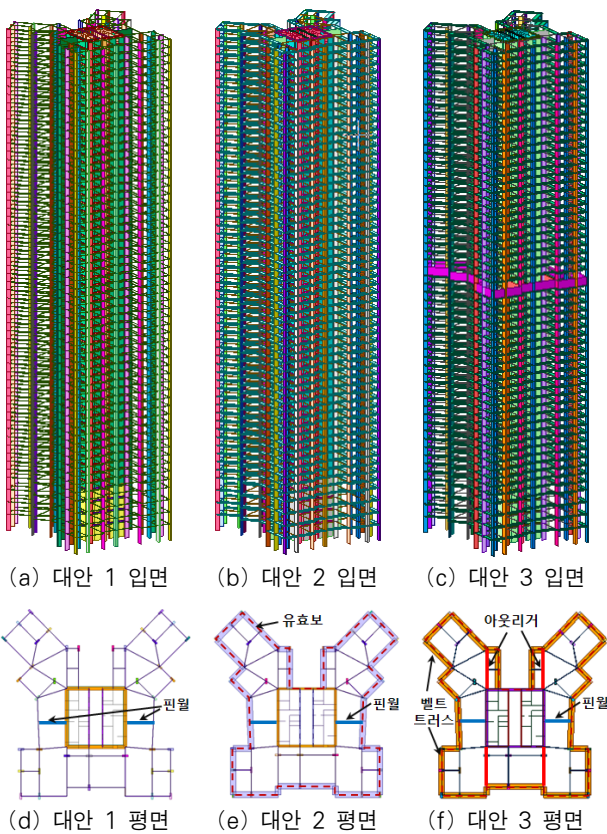


그림 7 대안평가 예제의 입면 및 평면

4.2 평가결과 분석

대안평가에 대한 시뮬레이션 예제의 평가치와 중요도는 표 27과 같고 평가결과는 표 28과 같다. 표 27에서 실시평가의 평가항목의 평가치는 대부분 기존 자료나 적절한 예측치를 적용하여 산정하였다. 예비평가에서는 세 개의 대안이 거의 비슷한 평가결과가 나왔고, 본평가에서는 대안 3이 가장 우수하고 대안 1이 가장 낮게 평가되었다. 예비평가에서는 대안 1과 대안 2가 유사하게 평가되었으나, 본평가에서 상대적

표 28 대안평가 시뮬레이션 평가 결과

단계	평가범주 항목	중요도	대안 1		대안 2		대안 3	
			평가 결과	최종 결과	평가 결과	최종 결과	평가 결과	최종 결과
예비평가	구조성능	0.4	0.47	0.60	0.47	0.61	0.47	0.60
	경제성	0.3	0.64		0.70		0.70	
	공기	0.3	0.72		0.71		0.67	
본평가	구조성능	0.4	0.84	0.72	0.79	0.79	0.90	0.82
	경제성	0.4	0.61		0.82		0.82	
	공기	0.2	0.72		0.71		0.67	
실시평가	구조성능	0.2	0.84	309억원	0.79	316억원	0.90	770일
	경제성	0.5	357억원		309억원		316억원	
	공기	0.3	681일		710일		770일	

으로 차이가 크게 나타난 것은 경제성 평가의 중요한 부분을 차지하는 철근량이 대안 2에서는 Post tension 슬래브의 사용으로 대안 1에 비해 많이 줄어들었기 때문에 나타난 현상으로 분석된다. 실시평가에서는 구조성능은 구체적인 평가지수로 산출되나, 경제성과 공기는 평가지수가 아닌 전체 공사비용과 전체공기로 산출되며, 이 단계에서는 구조성능과 경제성, 공기를 통합적으로 고려하여 엔지니어가 직접 최종평가를 실시한다. 한편, 평가항목의 중요도는 초고층건물의 특성을 반영하여 설정하였으며 실무에서는 해당 프로젝트에 가장 적합한 값으로 수정하여 적용할 필요가 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 고층건물의 구조시스템에 대한 다양한 대안으로부터 각 대안의 성능을 합리적으로 평가하는 방법을 연구하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 구조시스템의 대안평가는 업무절차에 따라 예비평가, 본평가, 실시평가로 구성하였다. 대안평가를 위한 평가범주는 구조성능, 경제성, 공기의 세 가지로 구성하였고, 각각에 대하여 평가단계에 맞추어 정성적 평가와 정량적 평가를 수행한다.
- 2) 평가결과와 종합화는 평가항목들간의 관계가 선형적이라는 가정하에 가중평균법을 적용하였다. 추후 연구에서는 평가항목들간의 비선형적인 상호작용관계와 주관적 의사결정에 따른 평가특성을 반영할 수 있는 기법을 적용할 계획이다.
- 3) 제안된 대안평가 방안은 실무예제에 대한 시뮬레이션을 통하여 그 적용성을 검토하였다. 제안된 방안은 대안평가를 위한 하나의 안으로서, 본 방안의 성능향상을 위해서는 현업적용을 통하여 평가항목의 구성 및 중요도 등을 지속적으로 보완할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2009년도 초고층복합빌딩연구개발사업(VC-10)의 지원사업으로 이루어진 것으로 이에 감사드립니다. (주) 아이스트의 실무데이터 제공에도 감사드립니다.

참 고 문 헌

김영민 (2008) 고층건물의 멀티 기둥그룹에 대한 부등기둥축소량의 최적보정기법, 한국전산구조공학회 논문집, 21(2).

- pp.189~197.
- 김영민** (2010) 현장 적용성을 고려한 기둥축소량의 최적보정 시스템 개발, 한국전산구조공학회 논문집, 23(2), pp.189~197.
- 김영민, 이동우, 이한주, 이상주** (2010) 초고층 건물 구조시스템의 대안평가기법, 한국전산구조공학회 2010년 정기학술대회 논문집, pp.243~246.
- 김영학, 이주호, 고주환, 최명신, 신성우** (2004) 초고층 RC 건축물의 구조시스템, 콘크리트학회지, 16(3), pp.16~26.
- 서지현, 권봉근, 김상범, 박효선** (2009) 고강도강재를 사용한 건물골조방식 초고층건물의 구조비용 최적화, 한국전산구조공학회 논문집, 22(1), pp.53~63.
- 정종현** (2007) 초고층건물의 초기 구조설계를 위한 횡강성 증가율 예측, 한국전산구조공학회 논문집, 20(4), pp.453~462.
- 조강표, 신성우, 정승환, 조수연** (2007) 고층 건축물의 수평진동에 대한 거주자의 지각임계가속도, 한국전산구조공학회 논문집, 20(3), pp.371~377.
- 조한욱, 최항, 이진혁** (2010) 초고층 구조물의 최적설계기술, 전산구조공학, 23(3), pp.97~105
- 한국초고층 건축포럼/친환경 건축연구센터** (2007) 초고층 건축물 디자인과 설계기술, 기문당, 서울, p.663.
- H.W. Cho, S.G. Roh, Y.M. Byun, KS.Yom** (2004) Structural Quantity Analysis of Tall Buildings, CTBUH 2004 Seoul, pp.662~668.
- 논문접수일 2010년 7월 11일
 - 논문심사일
 - 1차 2010년 7월 14일
 - 2차 2010년 8월 12일
 - 게재확정일 2010년 8월 13일