

# 초고층 건물 구조시스템의 대안평가기법

## Alternative Evaluation Technique for the High-rise Building Structural System

김 영 민\* · 이 동 우\*\* · 이 한 주\*\*\* · 이 상 주\*\*\*\*

Kim, Yeong-Min · Lee, Dong-Woo · Lee, Han-Joo · Lee, Sang-Joo

### 요 약

본 연구에서는 초고층 건물의 구조시스템에 대한 다양한 대안으로부터 각 대안의 성능을 합리적으로 평가하는 방법을 연구하였다. 이를 위해 우선, 대안평가를 위한 평가항목과 각 평가항목별 평가기준을 도출하고, 도출된 기준에 따라 평가결과를 산정하는 방법을 제안하였다. 그리고 평가항목간의 관계와 평가항목의 중요도를 산정하고, 퍼지적분을 이용하여 평가결과를 종합화하는 방안을 제안하였다. 평가항목은 크게 세가지로 이에는 구조성능, 경제성, 공기가 있다. 대안에 대한 평가는 예비평가, 본평가, 실시평가의 세 단계로 이루어지며, 각각 보수적인 관점에서와 낙관적인 관점에서의 평가를 실시하고 주어진 평가결과를 바탕으로 최종적으로는 엔지니어가 대안을 선정하는 방향으로 평가를 진행한다.

**keywords** : 초고층 건물, 구조시스템, 대안평가, 퍼지적분

### 1. 서 론

초고층 건물을 설계하는 과정에서는 다양한 구조시스템 대안을 생성하고 이로부터 건축계획 및 다양한 요구사항을 만족하는 가장 효율적인 구조시스템을 선정하게 된다. 이를 위해서는 여러 대안을 쉽게 생성하고 이를 합리적으로 평가하여 해당 프로젝트의 목적에 맞는 가장 적합한 대안을 선택할 수 있어야 한다. 초고층 건물 구조시스템에 대한 대안의 평가는 특정한 하나의 기준이 아니라 여러 기준에 의해서 평가가 가능하다. 그리고 합리적인 평가를 위해서는 여러 기준을 종합적으로 고려해야 한다. 하지만 이러한 기준들의 관계는 불명확하다는 어려움이 있다. 본 연구에서는 초고층 건물의 구조시스템에 대한 다양한 대안으로부터 각 대안의 성능을 합리적으로 평가하는 방법을 연구하고자 한다. 이를 위해 우선, 대안평가를 위한 평가항목과 각 평가항목별 평가기준을 도출하고, 도출된 기준에 따라 평가결과를 산정하는 방법을 제안하고자 한다. 그리고 평가항목간의 관계와 평가항목의 중요도를 산정하고, 이로부터 평가결과를 종합화하는 방안을 제안하고자 한다.

\* 정회원 · 명지대학교 건축학부 조교수 ymkim@mju.ac.kr

\*\* 정회원 · (주)아이스트 대표이사 dwlee@i-sts.co.kr

\*\*\* 정회원 · (주)아이스트 기술연구소 부장 han\_joo@hanmail.net

\*\*\*\* 정회원 · (주)아이스트 기술연구소 부장 kyotolsj@empal.com

## 2. 대안평가

초고층 건물 구조시스템에 대한 대안평가는 구조성능, 경제성, 공기의 세 가지 항목으로 수행한다. 각 평가항목을 요약 정리하면 다음과 같다.

### 2.1. 구조성능

구조성능 평가항목에는 횡변위비, 층간변위비, 부등축소량, 수평진동(풍진동, 지진진동), 바닥진동(수직진동)이 있다. 예비평가에서는 정성적인 평가를 수행하며, 본평가 및 실시평가에서는 정량적인 평가를 수행한다. 정성적 평가기준에는 감쇠기의 설치여부, 구조형식(철근콘크리트조, 철골조, 합성구조), 풍하중에 대한 응답특성을 결정짓는 건물 모서리의 기하학적 형상 변화, 건물 높이에 따른 단면적 감소 여부, 건물 상부의 개구부 등이 있다. 정량적 평가기준에는 횡변위비, 층간변위비, 부등축소량, 수평진동, 바닥진동이 있으며, 각 평가항목의 평가기준은 횡변위비는 횡변위( $\Delta$ )/건물높이(H)로 평가(기준값 : 0.002 또는 1/500)하며, 층간변위비는 전체 층 중에서 허용층간변위비를 초과한 층의 비율로 평가(기준값 : 허용층간변위비 = 층간변위( $\delta$ )/층고(h) = 0.015)하며, 부등축소량은 전체 수평부재중에서 허용부등축소량(수평부재길이(L)/240)을 초과한 수평부재의 비율로 평가하며, 수평진동은 진동 가속도로 평가(이때, 주거용과 업무용 건물로 구분하여 평가)하고, 바닥진동(수직진동)은 진동레벨(dB)로 평가한다.

### 2.2. 경제성

경제성 평가항목에는 구조물량과 비용이 있다. 경제성 또한 평가단계에 따라 정성적 평가와 정량적 평가를 수행한다. 구조물량은 구조형식에 따라 평가항목이 다르며 정량적인 평가를 수행할 경우에는 철골조인 경우는 단위면적당 강재량을, 철근콘크리트조인 경우에는 단위면적당 콘크리트와 철근량을, 철골-철근콘크리트 합성구조인 경우에는 단위면적당 강재량, 콘크리트량, 철근량으로 평가를 수행한다. 구조해석을 수행하기 전인 정성적 평가를 수행할 경우에는 구조형식, 바닥판 형식, 고강도 콘크리트의 사용여부, 경량 콘크리트의 사용여부를 바탕으로 현장에서의 경험치로 평가를 수행한다. 예를 들어 RC Flat Plate로 시공할 경우에는 슬래브 두께 증가에 따른 콘크리트와 철근 공사비는 상승하지만 거푸집 공사비 절감(특히 노무비 절감)으로 전체적으로 비용이 절감되는 효과가 있다는 등의 알려진 사실로서 평가를 수행한다.

### 2.3. 공기

공기는 금융비용과 분양수익 등 간접비에 미치는 영향이 크고 이에 따라 전체 프로젝트의 경제성에 영향을 미치게 된다(한국 초고층 건축포럼, 2007). 공기에는 설계 및 인허가 기간을 포함하는 사업일정, 그리고 토공사, 가설공사, 골조공사, 마감공사 등 각종 공사일정 등을 고려하여 평가한다. 특히 건물 형태의 비정형 여부에 따라 공사일정은 급격히 증가하는 경향이 있으므로 이 또한 고려하여 평가를 수행한다.

## 3. 평가결과의 종합화

### 3.1. 업무 진행단계에 따른 평가의 분류

대안을 생성한 후 진행과정에 따라 크게 세 가지 단계에서 평가를 수행한다. 이에는 예비평가와 본평가, 그리고 실시평가가 있다. 예비평가는 구조해석을 수행하기 이전에 행하는 평가로서 구조물의 형태와 구조형식을 바탕으로 주로 정성적인 평가를 수행한다. 다음으로 구조해석과 구조설계 이후 실시하는 본평가에서는 수치적인 구조해석 결과와 구조설계에 따른 구조물량을 바탕으로 정량적인 평가를 수행한다. 마지막으로 실시평가에서는 본평가 결과에 시공방법과 시공일정을 반영하고, 관리비, 이윤, 금융비용 등의 간접비와 기획비, 설계비, 감리비, 가설비, 마감공사비, 유지보수비 등을 포함하여 대안에 대한 최종적인 평가를 실시한다.

### 3.2. 평가결과의 종합화 기법

각 기준별 평가결과의 신뢰도, 가중치를 설정하고, 각 평가항목들간의 상관관계를 반영하여 평가결과를 종합화한다. 평가결과를 종합화하는 방법은 간단하게는 최소값법, 최대값법, 가중평균법이 있고, 평가항목들간의 상호작용관계를 효과적으로 반영하는 방법으로 퍼지적분법이 있다. 이중 최소값법과 최대값법은 한 두 항목의 평가결과가 전체 평가결과를 지배하므로 본 연구에 적용하기에는 적절하지 못하다. 가중평균법은 가장 일반적으로 사용되는 방법이지만 하나 평가항목의 중요도가 단순히 그 수치에 선형으로 비례하지 않고 평가항목들간의 중요도 차이가 클 때는 적절하지 않다. 그리고 여러 평가항목을 동시에 고려할 때 이들 평가항목들간의 관계를 반영할 수 없다는 한계가 있다. 이에 비해 퍼지적분법은 중요도가 높은 평가항목의 평가치를 우선 반영하고, 그 후 중요도가 낮은 항목의 영향을 반영하여 이전의 평가치를 보정하는 방법을 취함으로써 전체적으로 인간 전문가에 의한 의사결정과정과 유사하며(Kim 등, 2006), 본 연구와 같이 엔지니어의 주관적인 판단이 많이 요구되는 경우의 평가결과 종합화 기법으로 적합하다고 볼 수 있다.

### 3.3. 평가결과의 종합화

본 연구에서는 평가결과의 종합화 기법으로 평가항목들간의 상호작용 관계를 반영하면서 각 평가항목의 영향을 유연하게 반영할 수 있는 Choquet 퍼지적분법을 이용하였다. 집합  $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 에 대하여 퍼지척도  $g : P(X) \rightarrow [0, 1]$ 가 정의되어 있고,  $X$ 를 정의구역으로 하고 구간  $[0, 1]$ 을 치역으로 하는 함수  $h : X \rightarrow [0, 1]$ 가 정의되어 있으며,  $h(x_1) \geq h(x_2) \geq \dots \geq h(x_n)$ 이라 할 때,  $X$ 에서의 함수  $h$ 의 퍼지척도  $g$ 에 대한 Choquet의 퍼지적분은 식 (1)과 같이 정의된다(이광형 등, 1997). 여기서 퍼지척도는 평가항목의 중요도를 나타낸다. 퍼지적분을 통한 종합화 과정을 그림으로 나타내면 그림 1과 같다.

$$\int_X h(x) \circ g(\cdot) = h(x_n)g(H_n) + [h(x_{n-1}) - h(x_n)]g(H_{n-1}) + \dots + [h(x_1) - h(x_2)]g(H_1) \quad (1)$$

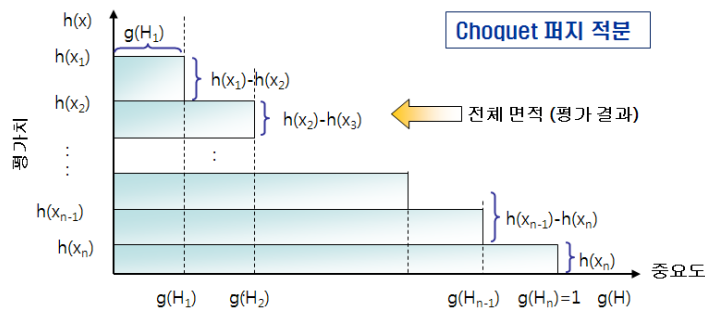


그림 1 Choquet 퍼지적분을 통한 평가결과의 종합화 방법

본 연구에서는 각 평가항목의 중요도를 보수적인 관점과 낙관적인 관점의 두 가지 관점에서 산정하고 이를 이용하여 평가함으로써 최종적인 평가에서는 엔지니어의 의사를 적극적으로 반영할 수 있도록 하였다. 그림 2는 다섯 가지 대안에 대하여 보수적과 낙관적의 두 가지 평가기준에 의하여 평가를 한 결과를 보여준다.

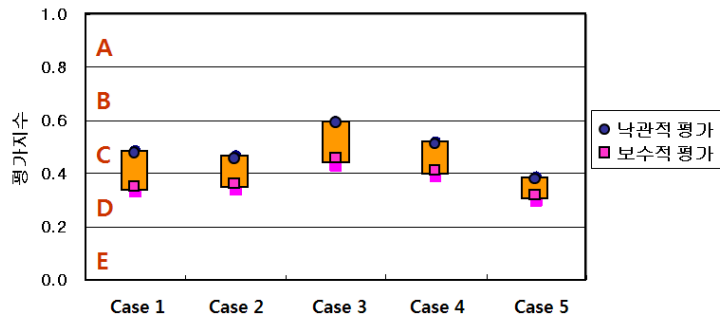


그림 2 대안 평가 시뮬레이션

#### 4. 결론

본 연구에서는 초고층 건물의 구조시스템에 대한 다양한 대안으로부터 각 대안의 성능을 합리적으로 평가하는 방법을 연구하였다. 평가항목은 구조성능, 경제성, 공기의 세가지로 나누어지며, 각각에 대하여 평가단계에 맞추어 정량적 평가와 정성적 평가를 수행하였다. 대안에 대한 평가는 평가항목간의 관계와 평가항목의 중요도로부터 퍼지적분을 이용하여 종합화하여 인간전문가와 유사한 평가를 수행하도록 하였다. 평가는 예비평가, 본평가, 실시평가의 세 단계로 나누어 작업의 진행단계별로 실질적인 평가가 이루어지게 하였다. 또한 평가를 수행함에 있어서는 보수적인 평가와 낙관적인 평가를 동시에 수행하게 함으로써 하나의 평가대상에 대하여 다양한 관점에서 평가가 가능하도록 하였으며, 최종적으로는 엔지니어의 판단을 반영할 수 있도록 함으로써 기계적인 평가를 어느 정도 보완할 수 있도록 하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2009년도 초고층복합빌딩연구개발사업(VC-10)의 지원사업으로 이루어진 것으로 이에 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

- 한국초고층 건축포럼/친환경 건축연구센터 (2007) 초고층 건축물 디자인과 설계기술, 기문당, 서울, p.663
- 이광형, 오길록 (1997) 퍼지이론 및 응용, 홍릉과학출판사, 서울, p.350
- Y.M. Kim, C.K. Kim, S.G. Hong (2006) Fuzzy based state assessment for reinforced concrete building structures, *Engineering Structures*, 28(9), pp.1286~1297.