

중량 최소화를 위한 RC 빌딩의 구조 최적설계

Structural Optimization of a RC Building for Minimizing Weight

박 창 현* 안 희 재** 최 동 훈† 정 철 규***
Park, Chang-Hyun Ahn, Hee-Jae Choi, Dong-Hoon Jung, Cheul-Kyu

요 지

본 논문에서는 중력하중 및 풍하중, 지진하중을 받는 지상 8층, 지하 3층의 RC(Reinforced Concrete) 빌딩 시공에 필요한 부재의 재료비를 줄이기 위해 중량을 감소시키는 구조 최적설계를 수행한다. 이를 위해 설계요구사항을 바탕으로 부재의 부피를 최소화하는 설계변수값을 찾기 위한 설계문제를 정식화한다. 최적설계 수행을 위해 상용 PIDO(Process Integration and Design Optimization) 툴인 PIANO(Process Integration, Automation and Optimization)에서 제공하는 다양한 설계기법들을 이용한다. 먼저 실험계획법(Design of Experiments; DOE)을 이용하여 실험계획을 세우고, 실험점에 따라 건축분야 범용 구조해석 프로그램인 MIDAS Gen을 사용하여 구조해석을 수행한다. 그리고 해석결과를 바탕으로 각 응답에 대한 근사모형을 생성한 후 근사모형의 예측성능을 평가한다. 예측성능이 검증된 근사모형과 최적화기법을 이용하여 최적설계를 수행하고, 설계조건을 만족하면서 부재의 부피를 최소화하는 최적 설계변수값을 도출함으로써 본 논문에서 제안된 설계방법의 유효성을 보이고자 한다.

핵심용어 : RC빌딩, 중력하중, 풍하중, 지진하중, 구조해석, 실험계획법, 근사모형, 최적설계

Abstract

Structural optimization is performed to minimize the weight of a RC building structure, which has eight floors above ground and three underground, under gravity, wind, and seismic loads. Design optimization problem is formulated to find the values of the design variables that minimize the volume while satisfying various design and side constraints. To solve the optimization problem posed, several design techniques equipped in PIANO, a commercial PIDO tool, are used. DOE is used to generate training points and structural analysis is performed using MIDAS Gen, a general-purpose structural analysis CAE tool. Then, meta-models are generated from structural analysis results and accuracies of meta-models are evaluated. Next, design optimization is performed by using the verified meta-models and optimization technique equipped in PIANO. Finally, we obtained optimal results, which could demonstrate the effectiveness of our design method.

Keywords : RC building, gravity load, wind load, seismic load, structural analysis, design of experiments, meta-model, design optimization

1. 서 론

RC(Reinforced Concrete) 건축물은 콘크리트나 철근 등의 재료로 만들어지기 때문에 경제적인 구조물이다. 또한 건물의 자중이 크고 바람에 의한 요동이 적기 때문에 구조적 안정성 뿐만 아니라 경제성과 사용성 모두가 우수한 구조시

스템으로 인정받고 있다.

이러한 RC 건축물의 건축생애 전 과정을 볼 때 총 발생비용에서 건설비용이 가장 큰 부분을 차지하므로 그 상당부분을 프로젝트의 설계단계에서 절감할 수 있다. 따라서 프로젝트의 기획 및 설계에서 건설비용의 절감을 고려하여야 한다.

철근콘크리트 구조물에 대한 해석모델 연구 및 최적의 단면

† 책임저자, 중신회원 · 한양대학교 기계공학과 교수
Tel: 02-2220-0443 ; Fax: 02-2291-4070
E-mail: dhchoi@hanyang.ac.kr

* 한양대학교 대학원 기계공학과 박사과정

** 한양대학교 대학원 기계공학과 석사과정

*** 일백구조 엔지니어링 소장

• 이 논문에 대한 토론을 2010년 12월 31일까지 본 학회에 보내주시면 2011년 2월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

결정을 위한 연구를 살펴보면, 박인영 등(2002)은 고층 콘크리트 건물에 대해 층간변위 제한 조건을 두고 부재의 중량을 최소화하는 부재 단면 산정 기법을 제시하였다. 광효경 등(2003)은 전단벽의 수치해석용 재료모델을 반복하중이 포함된 일반적인 하중에서의 구조거동을 효과적으로 모사하기 위한 해석모델로 확장하는 연구를 수행하였다. 조홍동 등(2000)은 철근콘크리트 연속보의 최적설계 문제에 대해 축차선형계획법과 축차불록계획법을 사용하여 최적해를 구하였다. Sahab 등(2005)은 철근콘크리트 평면 슬라브 빌딩의 재료비 최소화를 위한 최적설계를 수행하였다. Govindaraj 등(2005)은 유전자 알고리즘을 이용하여 제한조건을 만족하는 최적의 철근콘크리트 빔을 결정하였다. 광효경 등(2007)은 철근콘크리트 구조물의 최적설계를 위해 부재 설계 단면의 데이터베이스를 구성하고 이로부터 단면 번호와 단면 저항 능력간의 관계를 나타내는 회귀분석식을 구성하여 직접 탐색법으로 최적해를 구하는 최적설계 알고리즘을 제안하였다. 광효경 등(2008)은 철근콘크리트 프레임 구조 설계 문제에 직접탐색을 이용한 유전자 알고리즘을 적용하여 최적설계를 수행하였다. 김봉익 등(2009)은 유전자 알고리즘을 이용하여 직사각형 단면을 가진 철근콘크리트 단순보 단면의 최적설계를 수행하였다. 최효준 등(2009)은 RC 전단벽-골조 시스템에 대해 최적정기준법으로 횡력에 대한 구조물의 단면최적설계를 수행하였다. Atabay(2009)는 유전자 알고리즘을 이용하여 철근콘크리트 구조물의 전단벽 시스템에 대해 비용 최적화를 위한 구조 최적설계를 수행하였다. 하지만 기존 연구에서는 간략한 구조물이나 단순 부재를 설계대상으로 하였고, 이에 따른 하중조건과 부재 단면에 관련된 설계변수 또한 제한적이다.

따라서 본 논문에서는 실제 RC 빌딩을 설계대상으로 하였으며, 중력하중과 풍하중, 지진하중에 의해 발생하는 변위를 제한조건으로 고려하였다. 또한 제한조건을 만족하는 동시에 부재의 부피를 최소화하는 그룹화된 부재의 최적 단면적 결정을 주된 목적으로 한다.

RC 빌딩의 구조해석을 위해 건축 분야 범용 구조해석 프로그램인 MIDAS Gen을 사용하였으며, 상용 PIDO(Process Integration and Design Optimization) 툴인 PIANO(Process Integration, Automation and Optimization)를 이용하여 최적설계를 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 설계대상으로 삼은 RC 빌딩의 해석모델 설명 및 초기 설계값에서의 해석결과를 기술한다. 3장에서는 설계요구사항과 설계변수를 정의하고, 이를 바탕으로 최적설계 문제를 정식화한다. 4장에서는 최적설계를 수행하기 위해 사용한 실험계획법과 근사모델기법, 최적화기법을 소개하고, 5장에서 최적설계 결과를 기술한다.

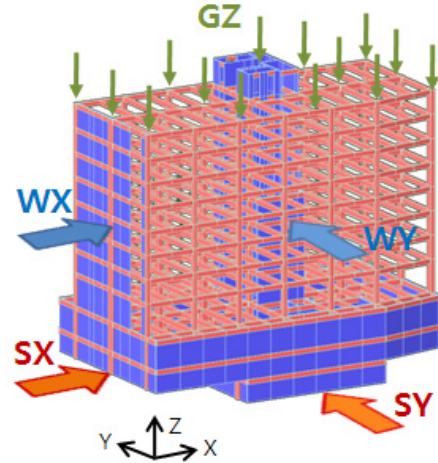


그림 1 RC 빌딩의 해석모델

표 1 초기 설계값에서의 해석결과

응답 항목	초기값	허용값
부재의 부피	1983.32m ³	-
중력하중에 의한 최대변위	0.0093m	0.0210m
X방향 풍하중에 의한 최대변위	0.0042m	0.0604m
Y방향 풍하중에 의한 최대변위	0.0119m	0.0604m
X방향 지진하중에 의한 최대변위비	0.0025	0.0150
Y방향 지진하중에 의한 최대변위비	0.0046	0.0150

2. 설계대상

2.1 해석모델

설계대상 구조물은 그림 1과 같이 지상 8층, 지하 3층의 RC 빌딩이며, 1514개의 부재와 580개의 벽체로 구성된다. 하중조건은 중력하중(z-directional gravity load: GZ)과 X방향 풍하중(x-directional wind load: WX), Y방향 풍하중(y-directional wind load: WY), X방향 지진하중(x-directional seismic load: SX), Y방향 지진하중(y-directional seismic load: SY)의 조합으로 구성된다.

2.2 초기 설계값에서의 해석결과

하중조건에 의한 RC 빌딩 초기모델의 해석결과 분석을 위해 중력하중에 의한 최대변위와 X 및 Y방향 풍하중에 의한 최대변위, X 및 Y방향 지진하중에 의한 최대변위비를 계산하였다. 중력하중에 의한 최대변위는 수직방향의 변위를 측정하기 위해 선정한 10개의 수평 부재의 변위 중 최대값을 선정하였으며, 허용값은 $L/480$ 으로 계산된다. 여기서 L 은 선택된 수평 부재의 길이이며, 실제 길이는 10m이다. X 및 Y방향 풍하중에 의한 최대변위는 해석 프로그램의 계산값을

사용하였고, 허용값은 $H/500$ 으로 계산된다. 여기서 H 는 1층에서부터 지붕 층까지 높이를 의미하며, 실제 높이는 30.2 m이다. X 및 Y방향 지진하중에 의한 최대변위비는 MD/SH 로 계산되며, 허용값은 구조물의 기준값인 0.015를 적용하였다. 여기서 MD 는 지진하중에 의해 발생하는 최대변위이며, SH 는 최대변위가 발생한 층간 높이로서 실제 층간 높이는 3.6m이다.

초기 설계값에서의 해석결과를 허용값과 비교하여 표 1에 나타내었다. 그 결과, 각 하중에 의한 변위 해석결과가 허용값보다 작음을 알 수 있다. 이러한 결과는 RC 빌딩 초기모델이 주어진 하중 조합에서 안정된 상태임을 나타내는 동시에 부재가 과도하게 설계되었음을 예측할 수 있다. 따라서 본 논문에서 설계문제로 선정된 구조물의 경우 부재의 단면적을 감소시켜 전체 부재의 부피를 줄이고, 이를 통해 부재의 재료비를 절감할 수 있는 문제임을 알 수 있다.

3. 설계문제

일반적으로 구조설계를 할 때 부재단면치수의 감소에 따라 단면적과 단면 2차 모멘트가 감소하여 부재내력이 감소한다. 따라서 본 연구에서는 소요내력을 만족하는 단면을 선정 한 후 사용성 검토를 수행하여 최종 단면을 선정하기로 한다. 이를 위해 변형을 적합조건과 휨강도, 압축강도를 만족하도록 구조설계기준에 따라 해석 모델을 검토하였고, RC 부재의 응력검토를 위해 MIDAS Gen의 해석결과를 바탕으로 하중조합의 경우에 따라 최대응력에 대해 단면 내에 철근 배근이 가능하도록 1차적 제한치를 선정하였다. 이후 사용성 검토를 수행하기 위해 다음과 같은 조건을 정립한다.

3.1 설계 요구사항

RC 빌딩 부재의 재료비를 최소화하기 위한 설계 요구사항은 다음과 같다.

- 1) 부재의 재료비를 최소화하기 위해 전체 부재의 부피는 최소화 되어야 한다.
- 2) 중력하중에 의해 발생하는 최대변위는 허용변위보다 작아야 한다.
- 3) X 및 Y방향 풍하중에 의해 발생하는 최대변위는 각각 허용변위보다 작아야 한다.
- 4) X와 Y방향 지진하중에 의해 발생하는 최대변위비는 각각 허용값보다 작아야 한다.

3.2 설계변수

본 논문에서는 구조물의 형상과 부재의 길이 변경없이 부재의 부피를 최소화하고자 한다. 이를 위해 식 (1)과 같이 개별 부재의 기본 단면 형상을 유지할 수 있도록 부재 단면의 가로 길이(B)와 세로 길이(H)를 동시에 변경할 수 있는 단면길이비율(ω)을 설계변수로 선정하였으며, 효율적인 최적설계를 위해 1514개의 부재를 구조 특성에 따라 59개의 그룹으로 나누었다.

$$A_i = (B_i \omega_i)(H_i \omega_i) \tag{1}$$

$$V_i = A_i L_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, 59$$

여기서, A_i 와 V_i , L_i 는 각각 i 번째 부재의 단면적과 부피, 길이이다.

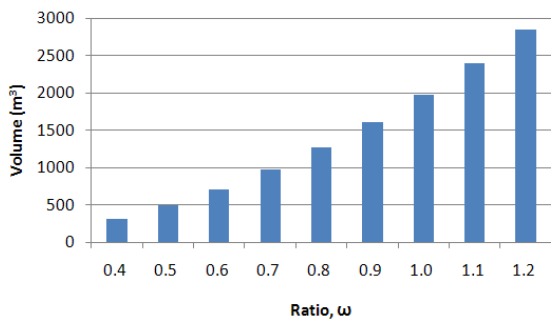
단면길이비율을 설계변수로 선정한 이유는 다음과 같다. 일반적으로 부재의 처짐 및 휨응력에 있어 부재의 가로 길이 보다는 세로 길이가 긴 것이 유리하지만 부재의 세로 길이는 층고 및 공사비에 직접적인 요인이 되기 때문에 가로 길이를 키우더라도 세로 길이를 감소시키려는 건축적 요구를 반영하여 부재의 가로 길이와 세로 길이를 동시에 변경할 수 있는 단면길이비율을 설계변수로 선정하였다.

2.2절에서 밝혔듯이 초기 설계값에서 각 하중에 의한 변위들이 허용값을 만족하였으므로, 효율적인 최적설계를 위해 설계변수들의 적절한 상한값과 하한값을 지정하여야 한다. 따라서 설계변수에 대한 응답의 전역적 특성을 파악하기 위해 그림 2와 같이 초기값(Ratio 1)을 기준으로 전체 설계변수들을 0.4에서 1.2까지 변화시키는 Parametric study를 수행하였다.

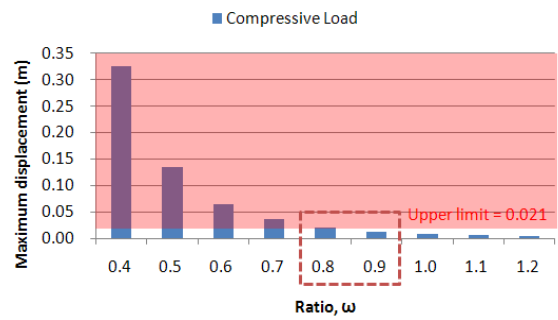
Parametric study 결과, 그림 2(a)와 같이 부재의 부피는 단면길이비율이 줄어들수록 감소하는 경향을 보인다. 중력하중에 대한 최대변위는 그림 2(b)와 같이 Ratio 0.8에서는 허용값을 위배하지만 Ratio 0.9에서는 만족함을 알 수 있다. 풍하중에 의한 최대변위는 그림 2(c)와 같이 전체범위에서 만족함을 알 수 있고, 지진하중에 의한 최대변위도 그림 2(d)와 같이 전체범위에서 만족함을 알 수 있다. 따라서 최적설계를 위한 설계변수의 하한값과 상한값은 중력하중에 의한 최대변위 결과에 따라 각각 0.8과 0.9로 결정하고, 초기값은 하한값과 상한값의 중간값인 0.85로 설정한다.

3.3 설계문제의 정식화

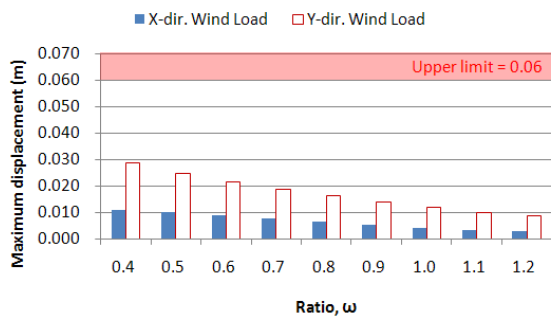
설계요구사항과 설계변수를 바탕으로 최적설계문제를 정식화하면 다음과 같다.



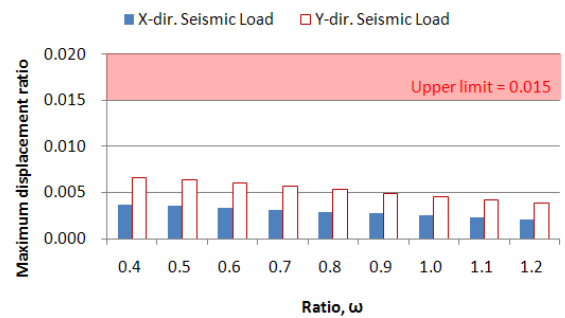
(a) 부재의 부피



(b) 중력하중에 의한 최대변위



(c) 풍하중에 의한 최대변위



(d) 지진하중에 의한 최대변위비

그림 2 Parametric study 결과

Find $\omega_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, 59$

to minimize $\sum_{i=1}^{59} V_i$

subject to $\delta_{\max}^{Comp} \leq \delta_{\text{allow}}^{Comp}$
 $\delta_{\max}^{WX} \leq \delta_{\text{allow}}^{WX}$
 $\delta_{\max}^{WY} \leq \delta_{\text{allow}}^{WY}$
 $R_{\max}^{SX} \leq R_{\text{allow}}^{SX}$
 $R_{\max}^{SY} \leq R_{\text{allow}}^{SY}$
 $0.8 \leq \omega_i \leq 0.9$

여기서, ω_i 는 설계변수인 i 번째 부재의 단면길이비율을, V_i 는 i 번째 부재의 부피를 의미한다. δ_{\max}^{Comp} 는 중력하중에 의한 최대변위를, δ_{\max}^{WX} 와 δ_{\max}^{WY} 는 각각 X 및 Y방향 풍하중에 의한 최대변위를, R_{\max}^{SX} 와 R_{\max}^{SY} 는 각각 X 및 Y방향 지진하중에 의한 최대변위비를 의미한다. 또한 $\delta_{\text{allow}}^{Comp}$ 와 $\delta_{\text{allow}}^{WX}$, $\delta_{\text{allow}}^{WY}$, R_{allow}^{SX} , R_{allow}^{SY} 는 다섯 가지 하중에 대한 최대변위 및 변위비들의 허용값을 나타낸다.

4. 근사모형을 이용한 설계 최적화

본 연구에서는 RC 빌딩의 구조해석을 위해 MIDAS Gen을

표 2 근사모델 평가

응답 항목	R_{adj}^2
부재의 부피	1.000
중력하중에 의한 최대변위	0.994
X방향 풍하중에 의한 최대변위	0.996
Y방향 풍하중에 의한 최대변위	0.998
X방향 지진하중에 의한 최대변위비	0.943
Y방향 지진하중에 의한 최대변위비	0.930

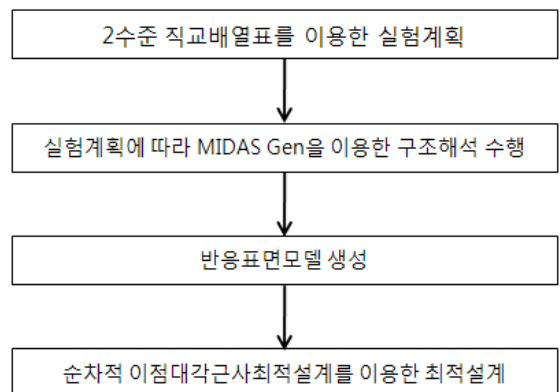


그림 3 설계 순서도

사용하였으며, 최적설계를 위해 PIANO를 이용하였다. 실제 해석모델을 이용한 최적설계를 위해서는 MIDAS Gen과 PIANO의 설계절차 통합 및 자동화가 구현되어야 한다. 하지만

MIDAS Gen의 API(Application Programming Interface) 특성 상 PIAAnO와의 설계절차 통합 및 자동화가 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 그림 3에서와 같이 PIAAnO에서 제공하는 실험계획법(Design of Experiments; DOE)을 사용하여 실험계획을 세우고, 그에 따라 MIDAS Gen을 이용하여 구조해석을 수행한 후, PIAAnO 상에서 실험 결과를 이용하여 근사모델을 생성하고, 최적화기법을 이용하여 최적설계를 수행한다.

4.1 실험계획법

PIAAnO에서 제공하는 실험계획법 중의 하나인 2수준 직교 배열표(Orthogonal Array; OA) $L_{128}(2^{64})$ 을 사용하여 128개의 실험점을 생성하였으며, 실험계획에 따라 MIDAS Gen을 이용하여 구조해석을 수행하였다. 설계변수의 수준을 2수준으로 선택한 이유는 설계변수의 수가 59개이기 때문에 효율적인 전산실험을 위해 실험 횟수를 최소화할 필요성이 있기 때문이다. 또한 Parametric study 결과분석을 통해 설계변수의 범위를 실질적으로 줄였고, 이러한 설계변수 구간 내에서 보이는 반응값들의 경향성을 미루어 보아 선형모델로도 충분히 근사화 할 수 있다.

4.2 근사모델

근사모델 기법은 관심영역 또는 전체영역에서 실제 해석모델의 반응값과 변수값의 관계를 근사화하여 근사모델을 생성하고, 해석비용이 많이 소요되는 실제 해석모델을 근사모델로 대체하기 위한 방법으로 통계와 수학, 다양한 공학분야 등에서 개발되어 왔다.

실험계획에 따른 구조해석 결과로부터 부재의 부피와 중력하중에 의한 최대변위, X 및 Y방향 풍하중에 의한 최대변위, X 및 Y방향 지진하중에 의한 최대변위비에 대해 PIAAnO에서 제공하는 근사모델인 반응표면모델(Response Surface Model; RSM)을 각각 생성하였다. 이때 생성된 반응표면모델은 선형근사모델(linear approximate model)이다.

본 논문에서는 생성한 반응표면모델의 예측성능을 평가하기 위한 기법으로 R^2 를 실험점의 개수로 정규화한 R^2_{adj} (Adjusted R-square)를 선정하였다. R^2_{adj} 는 다른 근사모델 평가기법과는 달리 정확도의 척도를 제공하며, R^2_{adj} 값이 1에 가까울수록 근사모델의 예측성능이 우수함을 의미한다(Myers 등, 2002). 생성한 반응표면모델의 예측성능 평가결과를 표 2에 나타내었다. 모든 응답 항목들의 R^2_{adj} 가 1에 근접함으로써 모든 반응표면모델들의 예측성능이 우수함을 알 수 있다.

4.3 최적화기법

근사모델을 이용한 최적설계를 수행하기 위해 PIAAnO에서 제공하는 최적화기법 중 하나인 순차적 이점대각이차근사최적설계(Sequential Two-point Diagonal Quadratic Approximate Optimization; STDQAO)를 사용하였다. 순차적 이점대각이차근사최적설계는 반복적인 최적화 과정에서 생성되는 민감도 정보를 근사화에 재활용하는 순차적 근사최적설계기법으로, 가장 발전된 민감도 기반 근사화기법인 이점대각근사화기법을 이용하여 뛰어난 효율성을 보인다. 특히, 전통적인 기울기 기반 최적설계기법에 비해 적은 해석 횟수를 필요로 하며, 민감도를 정확하게 계산할 수 있는 경우에는 빠르면서 강건한 수렴성을 보인다(Kim 등, 2008).

5. 최적설계 결과

반응표면모델과 순차적 이점대각이차근사최적설계를 이용하여 RC 빌딩의 부피 최소화를 위한 최적설계를 수행한 결과, 주어진 구속조건을 모두 만족하면서 정상 수렴하였다.

설계변수의 초기값과 최적값을 표 3에 비교하였다. 전체 59개 설계변수 중 53개의 최적값이 단면적이 최소화되도록 하한값으로 결정되었고, 5개 설계변수($\omega_1, \omega_3, \omega_{36}, \omega_{52}, \omega_{59}$)는 초기값 또는 초기값과 하한값의 중간값으로 결정되었으며, 설계변수 ω_7 만이 상한값으로 결정되었다.

목적함수인 부재의 부피는 그림 4(a)와 같이 근사모델을 이용한 최적값(AO_pred)과 실제 해석값(AO_act)의 상대오차는 0.02%로서 근사모델의 예측성능이 우수함을 알 수 있으며, 실제 부재의 부피는 초기모델(Baseline)에 비해 35.5% 감소한 1278.6m³이었다.

중력하중에 의한 최대변위의 경우 그림 4(b)와 같이 근사모델을 이용한 최적값과 실제 해석값의 상대오차는 0.96%로서 근사모델의 예측성능이 우수함을 알 수 있으며, 중력하중에 의한 실제 최대변위는 초기값에 비해 121.5% 증가한 0.0206m이었다. 비록 최대변위가 초기모델에 비해 증가하였지만 허용값인 0.021m를 만족하므로 설계결과가 유효함을 알 수 있다.

X 및 Y방향 풍하중에 의한 최대변위의 경우 그림 4(c)와 같이 근사모델을 이용한 최적값과 실제 해석값이 같고, 이로써 근사모델의 예측성능이 우수함을 알 수 있으며, X 및 Y방향 풍하중에 의한 실제 최대변위는 초기모델에 비해 각각 47.6%와 37.3% 증가한 0.0062m와 0.0162m이었다. 초기모델에 비해 두 최대변위가 각각 증가하였지만 이 또한 허용값인 0.06m를 만족하므로 설계결과는 유효하다.

표 3 설계변수

설계변수	하한값	초기값	최적값	상한값
ω_1	0.800	0.850	0.847	0.900
ω_2	0.800	0.850	0.800	0.900
ω_3	0.800	0.850	0.853	0.900
$\omega_4 \sim \omega_6$	0.800	0.850	0.800	0.900
ω_7	0.800	0.850	0.900	0.900
$\omega_8 \sim \omega_{27}$	0.800	0.850	0.800	0.900
ω_{28}	0.800	0.850	0.812	0.900
$\omega_{29} \sim \omega_{35}$	0.800	0.850	0.800	0.900
ω_{36}	0.800	0.850	0.845	0.900
ω_{37}	0.800	0.850	0.807	0.900
ω_{38}	0.800	0.850	0.800	0.900
ω_{39}	0.800	0.850	0.811	0.900
$\omega_{40} \sim \omega_{51}$	0.800	0.850	0.800	0.900
ω_{52}	0.800	0.850	0.830	0.900
$\omega_{53} \sim \omega_{58}$	0.800	0.850	0.800	0.900
ω_{59}	0.800	0.850	0.825	0.900

X 및 Y방향 지진하중에 의한 최대변위비의 경우 그림 4(d)와 같이 근사모델을 이용한 최적값과 실제 해석값이 같고, 이로서 근사모델의 예측능력이 우수함을 알 수 있으며, X 및 Y방향 지진하중에 의한 실제 최대변위비는 초기모델에

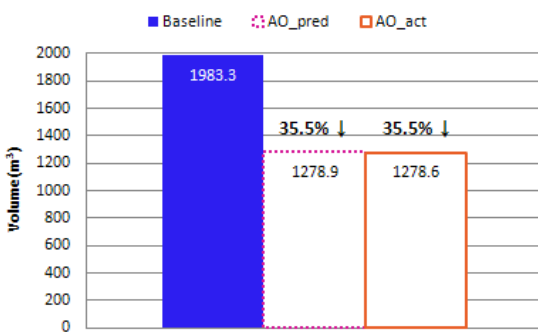
비해 각각 16%와 15.2% 증가한 0.0029와 0.0053이었다. 두 최대변위비가 각각 증가하였지만 허용값인 0.015를 만족하므로 설계결과의 유효성을 확인할 수 있다.

6. 결 론

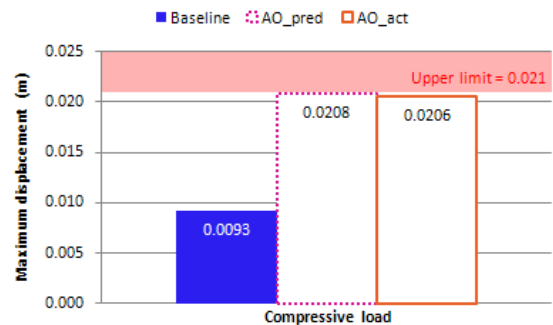
RC 빌딩 부재의 중량 최소화를 위한 최적설계의 결론은 다음과 같다.

- (1) 설계요구사항과 부재의 설계변수 그룹화를 바탕으로 RC 빌딩 부재의 부피 최소화를 위한 설계문제를 정식화하였다.
- (2) 직교배열법을 이용하여 전산실험을 수행하였고, 실험 결과를 바탕으로 반응표면모델을 생성하였으며, 순차적 이점대각이차근사최적설계를 이용하여 최적설계를 수행하였다.
- (3) 최적설계 결과, 주어진 구속조건을 모두 만족하면서 부재의 부피를 35.5% 감소할 수 있는 최적의 부재 단면적을 도출하여 본 논문에서 제안한 설계방법의 유효성을 보였다.

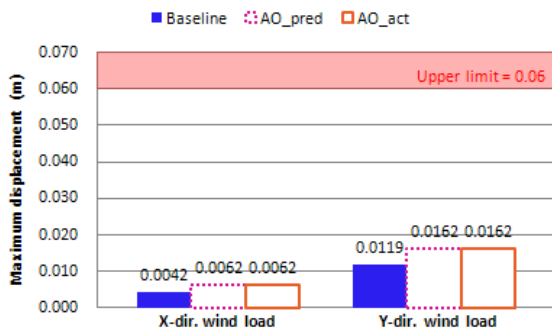
본 논문에서는 RC 빌딩의 구조 특성에 따라 그룹화된 부재의 단면길이비율을 설계변수로 선정하였다. 하지만 다른 설계변수들에 비해 ω_{50} 과 ω_{51} 에 상대적으로 많은 부재들이



(a) 부재의 부피



(b) 중력하중에 의한 최대변위



(c) 풍하중에 의한 최대변위



(d) 지진하중에 의한 최대변위비

그림 4 최적설계 결과 비교

그룹화 되었기 때문에 이들 설계변수들의 영향이 설계결과에 미치는 영향이 클 수 있다. 따라서 부재의 그룹화를 더욱 세분화하는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 'c-MES 설계지원 플랫폼 기술 개발' 과제(10033162-2009-11) 및 2010년도 2단계 두뇌한국21사업, 한양대학교 최적설계기술연구센터 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

곽효경, 김도연 (2003) 반복하중을 받는 철근콘크리트 전단벽의 비선형 유한요소 해석, 한국전산구조공학회 논문집, 16(4), pp.353~367.

곽효경, 김지은 (2007) 데이터베이스에 기반한 RC평면 프레임 구조물의 최적설계, 한국전산구조공학회 논문집, 20(2), pp.165~179.

곽효경, 김지은 (2008) 직접탐색을 이용한 유전자 알고리즘에 의한 RC프레임의 최적설계, 한국전산구조공학회 논문집, 21(1), pp.21~34.

김봉익, 권중현 (2009) 유전자 알고리즘을 이용한 철근콘크리트 보의 단면 최적설계, 한국해양공학회지, 23(6), pp.131~135.

박인영, 김남희, 박홍근 (2002) 최소중량설계에 따른 최적화 기법을 이용한 고층 콘크리트 건물의 단면 산정, 대한건축학회 논문집 - 구조계, 18(6), pp.3~13.

조흥동, 이상근, 박중열, 한상훈 (2000) GUI를 이용한 철근 콘크리트 연속보의 최적설계 프로그램 개발, 전산구조공학

회 논문집, 13(1), pp.1~11.

최효준, 서대원, 신성우 (2009) 초고층 철근콘크리트 건물의 구조 최적설계, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 - 구조계, 21(1), pp.169~172.

Atabay, S. (2009) Cost Optimization of Three-Dimensional Beamless Reinforced Concrete Shear-wall Systems via Genetic Algorithm, *Expert Systems with Applications*, 36(2), pp.3555~3561.

Govindaraj, V., Ramasamy, J.V. (2005) Optimum Detailed Design of Reinforced Concrete Continuous Beams Using Genetic Algorithms, *Computers and Structures*, 84(1-2), pp.34~48.

Kim, J.R., Choi, D.H. (2008) Enhanced Two-point Diagonal Quadratic Approximation Methods for Design Optimization, *Comput. Meth. Appl. Mech. Engrg.*, 197(6-8), pp.846~856.

Myers, R.H., Montgomery, D.C. (2002) Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments, WILEY, New York, pp.31.

Sahab, M.G., Ashour, A.F., Toropov, V.V. (2005) Cost Optimization of Reinforced Concrete Flat Slab Buildings, *Engineering Structures*, 27(3), pp.313~322.

- 논문접수일 2010년 3월 13일
- 논문심사일 1차 2010년 3월 23일
2차 2010년 6월 28일
- 게재확정일 2010년 7월 8일