

# 동적 변위민감도 해석을 이용한 고층 RC 골조구조물의 정량적인 횡변위 제어 방안

## Quantitative Lateral Drift Control of RC Tall Frameworks using Dynamic Displacement Sensitivity Analysis

이 한 주\*  
Lee, Han-joo

김 호 수\*\*  
Kim, Ho-soo

### 요약

본 연구에서는 지진하중을 받는 고층 RC 골조구조물의 횡변위를 정량적으로 제어할 수 있는 방안을 제시한다. 이를 위해 수학적 일반성을 가지면서 큰 규모의 문제도 효율적으로 다룰 수 있는 근사화 개념을 도입하여 횡변위 구속조건식을 설정한다. 아울러 구조부재의 단면특성 관계식을 설정함으로써 설계변수의 수를 줄여주고, 초기에 주어진 단면형상이 최적설계 과정동안 계속 유지된다는 가정을 이용하여 최적설계결과에서 구해진 단면특성에 따라 부재단면크기를 산출하는 방안을 강구한다. 특히 근사화된 횡변위구속조건식을 정식화 하기위해 동적 변위민감도해석 방안이 고려된다. 이와 같이 제시된 동적 강성최적설계 기법의 효율성을 검토하기 위해 10층과 50층 규모의 삼차원 RC 골조구조물 모델이 고려된다.

### Abstract

This study presents a technique to control quantitatively lateral drift of RC tall frameworks subject to lateral loads. To this end, lateral drift constraints are established by introducing approximation concept that preserves the generality of the mathematical programming and can efficiently solve large scale problems. Also the relationships of sectional properties are established to reduce the number of design variables and resizing technique of member is developed under the 'constant-shape' assumption. Specifically, the methodology of dynamic displacement sensitivity analysis is developed to formulate the approximated lateral displacement constraints. Three types of 10 and 50 story RC framework models are considered to illustrate the features of dynamic stiffness-based optimal design technique proposed in this study.

**키워드 :** 지진하중, 동적 변위민감도 해석, 근사화 개념

**Keyword :** Seismic Loads, Dynamic Displacement Sensitivity Analysis, Approximation Concept

## 1. 서 론

고층건물의 경우 중력방향 하중보다는 풍하중이나 지진하중과 같은 횡하중이 설계에 더 큰 영향을 미치게 된다. 이에 따라 고층건물의 횡하중 저항시스템의 적용방안과 횡변위 제어문제는 사용성 측면뿐만 아니라 안전성 측면에서도 매우 중요한 요소중 하나가 된다. 또한 지진하중을 고려할 경우 KBC2005

기준<sup>6)</sup>에 의하면 정형구조물이라 하여도 높이 70m 이상 또는 21층 이상이면 동적해석법을 적용하도록 되어있다. 지진하중을 받는 고층구조물의 동적거동 특성은 매우 복잡하여 구조변경에 따른 거동변화를 예측하는 일이 쉽지 않다. 구조엔지니어의 경험에 의존하는 정성적 방법에 의한 횡변위 제어는 경우에 따라 여러 번의 반복해석에도 불구하고 최적의 선택을 놓치는 경우가 많다. 이에 따라 본 연구에서는 지진하중을 받는 삼차원 고층 RC 골조구조물의 횡변위를 정량적으로 제어할 수 있는 방안을 마련하고자 한다. 이를 위해 수학적 일반성을 가지면서 큰 규모의 문제도 효율적으로 다룰 수 있는 근사

\* 정희원, 청주대학교 산업과학연구소, 연구원, 공학박사  
Tel: 043-229-8483, Fax:043-229-8483  
E-mail: han\_joo@hanmail.net

\*\* 정희원, 청주대학교 건축공학과, 교수, 공학박사  
E-mail: hskim@cju.ac.kr

화 개념을 도입하여 횡변위 구속조건식을 설정한다. 아울러 구조부재의 단면특성 관계식을 설정함으로써 설계변수의 수를 줄여주고, 초기에 주어진 단면형상이 최적설계 과정동안 계속 유지된다는 가정을 이용하여 최적설계결과에서 구해진 단면특성에 따라 부재단면크기를 산출하는 방안을 강구한다. 특히 근사화된 횡변위구속조건식을 정식화 하기위해 동적 변위민감도해석 방안이 마련된다. 이와 같이 제시된 동적 강성최적설계 기법의 효용성을 검토하기 위해 10층 규모의 정형 및 비정형 구조물과 50층 규모의 삼차원 RC 골조구조물을 고려하고자 한다.

## 2. 동적 변위민감도 해석

동적 변위 민감도 해석을 수행하기 위해서는 동적 구조해석이 필요하다. 일반적으로 지진하중을 받는 구조물의 동적해석에는 응답스펙트럼 해석법과 시간이력해석법이 사용되는데, 본 연구에서는 KBC2005<sup>6)</sup>에서 제공하는 설계스펙트럼 가속도를 이용한 응답스펙트럼 해석법을 이용한다. 또한 모드별 응답의 조합은 SRSS법을 적용하며, 이를 이용한 j절점의 변위응답은 다음 (1)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$u_j = \sqrt{\sum_{r=1}^f \{v^{(r)} S_D(T_r) (\psi_j^{(r)})\}^2} = \sqrt{\sum_{r=1}^f P_j^{(r)}} \quad (1)$$

여기에서,  $v^{(r)} = \sum_{j=1}^f m_j \psi_j^{(r)}$  : 모드참여계수

$S_D(T_r)$  :  $T_r$ 에 대응하는 변위 벡터값  
 $\psi^{(r)}$  : M에 대해 정규화된 고유벡터  
 $T_r$  : r차 고유주기

j절점의 동적 변위민감도를 구하기 위해 (1)식을  $x_i$ 에 대해 편미분하면, (2)식 및 (3)식과 같이 구성된다.

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_i} = \frac{1}{u_j} \sum_{r=1}^f P_j^{(r)} \cdot \frac{\partial P_j^{(r)}}{\partial x_i} \quad (2)$$

$$\frac{\partial P_j^{(r)}}{\partial x_i} = \frac{\psi_j^{(r)}}{\partial x_i} v^{(r)} S_D(T_r) + \psi_j^{(r)} \frac{\partial v^{(r)}}{\partial x_i} S_D(T_r) + \psi_j^{(r)} v^{(r)} \frac{\partial S_D(T_r)}{\partial x_i} \quad (3)$$

또한 동적 변위민감도 해석을 수행하기 위해서는 강성과 질량에 대한 도함수를 구하는 것이 필요하다. 이를 위해 설계변수를 주설계변수와 부설계변수로 나누어 단면특성관계식을 설정하고, 요소강성행렬을 강성행렬에 기여하는 단면특성에 대한 조합되어 있다는 개념을 이용하여 (4)식과 같은 강성도함수를 유도하였다. 본 연구에서는 동적 변위 민감도를 수행하기 위해 (4)식과 같은 강성도함수를 사용한다.

$$\frac{\partial K}{\partial x_i} = \sum_{k=1}^i \left[ \frac{k_{ik}}{S_{ik}} \cdot \xi_{1k} \cdot \xi_{2k} \cdot x_i^{(\xi_{3k}-1)} \right] \quad (4)$$

여기서, K : 전체 강성행렬

$k_{ik}$  : k번째 단면특성에 의해 기여되는요소 i의 강성행렬

$x_i$  : 주설계변수

$S_{ik}$  : 부설계변수

$\xi_{1k} \xi_{2k} \xi_{3k}$  : 단면특성관계식의 계수

질량에 대한 도함수는 강성도함수를 유도한 방법과 같은 방식으로 유도하면 (5)식과 같이 구성된다.

$$\frac{\partial M}{\partial x_i} = \sum_{k=1}^i \left[ \frac{m_{ik}}{S_{ik}} \cdot \xi_{1k} \cdot \xi_{2k} \cdot x_i^{(\xi_{3k}-1)} \right] \quad (5)$$

여기서,  $m_{ik}$  : k번째 단면특성에 의해 기여되는 요소 i의 질량행렬

(3)식을 풀기 위해서는 각 항목의 도함수를 구해야 한다. 먼저  $\partial v^{(r)}/\partial x_i$ 를 구하기 위해 모드참여계수를  $x_i$ 에 대해 편미분하면 (6)식과 같다.

$$\frac{\partial v^{(r)}}{\partial x_i} = \frac{\partial v^{(r)}}{\partial x_i} M\{1\} + \psi^{(r)} \cdot \frac{\partial M}{\partial x_i} \{1\} \quad (6)$$

$(\partial \psi^{(r)} / \partial x_i)$ 을 구하기 위해서 (7)식과 같은 고유치 문제를 (8)식과 같이 대치한다. 여기서  $\psi$ 의 계수 매트릭스를  $F$ 로 가정한다.

$$[K - \Omega_r M] \psi^{(r)} = 0 \quad (7)$$

$$F^{(r)} \psi^{(r)} = 0 \quad (8)$$

여기서,  $\Omega_r$  :  $r$ 차 고유치

$$F^{(r)} = K - \Omega_r M$$

임의의  $f$ -벡터가 정규직교계  $\psi^{(1)}, \dots, \psi^{(n)}$ 와 1차 결합하게 된다는 점을 주목하면 (9)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial \psi^{(r)}}{\partial x_i} = \sum_{p=1}^f a_{r,p} \psi^{(p)} \quad (9)$$

식 (7)을  $x_i$ 에 대해 편미분하면 (10)식과 같이 된다.

$$(K - \Omega_r M) \frac{\partial \psi^{(r)}}{\partial x_i} \quad (10)$$

$$+ \left( \frac{\partial K}{\partial x_i} - \frac{\partial \Omega_r}{\partial x_i} M - \Omega_r \frac{\partial M}{\partial x_i} \right) \psi^{(r)} = 0$$

(10)식의 양변에  $\psi^{(p)}$ 를 곱하고, (9)식을 대입한다. 그리고  $\psi^{(n)}$ 의  $K$ 와  $M$ 에 관한 정규모드의 직교성을 이용하면  $p \neq r$ 의 경우의  $a_{r,p}$ 는 식 (11)과 같이 구할 수 있다.

$$a_{r,p} = \left( \psi^{(p)} \left[ \frac{\partial K}{\partial x_i} - \Omega_r \frac{\partial M}{\partial x_i} \right] \psi^{(r)} \right) / (\Omega_r - \Omega_p) \quad (11)$$

여기서, 강성과 질량에 도함수는 (4)식과 (5)식을 이용하여 구하고,  $p=r$ 인 경우에 대한  $a_{r,r}$ 은 (12)식과 같이 된다.

$$a_{r,r} = 0 \quad (12)$$

변위벡터  $S_D(T_r)$ 에 대한 도함수  $\partial S_D(T_r) / \partial x_i$ 는 체인룰을 이용하여 (13)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial S_D(T_r)}{\partial x_i} = \frac{\partial (S_D(T_r))}{\partial T_r} \frac{\partial T_r}{\partial \omega_r} \frac{\partial \omega_r}{\partial \Omega_r} \frac{\partial \Omega_r}{\partial x_i} \quad (13)$$

$$\text{여기서, } \frac{\partial T_r}{\partial \omega_r} = -\frac{2\pi}{\omega_r^2}$$

$$\frac{\partial \omega_r}{\partial \Omega_r} = \frac{\partial (\omega_r^2)^{1/2}}{\partial \omega_r^2} = \frac{1}{2} \frac{1}{\omega_r}$$

$\omega_r$  : 고유진동수

$\partial \Omega_r / \partial x_i$ 을 구하기 위해 식 (8)의 양변에  $\psi^{(r)}$ 을 곱하고  $x_i$ 에 대해 편미분하면 (14)식과 같이 구성된다.

$$\frac{\partial \psi^{(r)}}{\partial x_i} F \psi^{(r)} + \psi^{(r)} \frac{\partial F}{\partial x_i} \psi^{(r)} + \psi^{(r)} F \frac{\partial \psi^{(r)}}{\partial x_i} = 0 \quad (14)$$

(14)식의 제 1 항과 3 항은 (8)식에 의해 0이 되며, (14)식에 (7)식을 대입하여 고유치에 대한 도함수에 정리하고 정규모드의 직교성을 적용하면 (15)식과 같이 된다.

$$\frac{\partial \Omega_r}{\partial x_i} = \psi^{(r)} \left[ \frac{\partial K}{\partial x_i} - \Omega_r \frac{\partial M}{\partial x_i} \right] \psi^{(r)} \quad (15)$$

$\partial S_D(T_r) / \partial T_r$ 을 구하기 위해 본 연구에서는 국내 KBC2005규준<sup>6)</sup>에 적용된 설계스펙트럼 가속도를 이용하는데, 주기에 따라 (16)식과 같다.

$$T \leq T_0 : \frac{\partial S_D(T_r)}{\partial T_r} = \frac{0.6}{\omega_r^2} \frac{S_{DS}}{T_0}$$

$$T_0 \leq T \leq T_S : \frac{\partial S_D(T_r)}{\partial T_r} = 0 \quad (16)$$

$$T_S \leq T : \frac{\partial S_D(T_r)}{\partial T_r} = -\frac{S_{D1}}{\omega_r^2} \frac{1}{T_r^2}$$

여기서,  $T$  : 구조물의 고유주기 (초)

$$T_0 = 0.2 S_{D1} / S_{DS}$$

$$T_S = S_{D1} / S_{DS}$$

$S_{DS}$  : 단주기 설계스펙트럼 가속도

$S_{D1}$  : 주기 1초의 설계스펙트럼 가속도

### 3. 최적설계정식화

#### 3.1 횡변위구속조건식

일반적으로 삼차원 골조구조물에 적용되는 횡변위 구속조건에는 최상층 및 층간변위 구속조건이 있는데, 본 연구에서는 먼저 (17)식과 같은 최상층 변위구속조건을 대상으로 한다.

$$u_i(x) \leq d_i h_i \quad (17)$$

여기서  $u_i(x)$ 는 최상층의 횡변위를 나타낸다. 또한  $d_i$ 는 최상층 허용 횡변위비를 나타내며,  $h_i$ 는 건물의 전체높이를 나타낸다.

부재단면의 변화에 따른 변위를 구조 재해석을 수행하지 않고 근사적으로 구할 수 있는 일차 테일러 전개식을 최상층 횡변위 구속조건식에 도입하여 정리하면 (18)식과 같이 된다.

$$d_i h_i - u_i^0 - \sum_{j=1}^n \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right)^0 (x_j - x_j^0) \geq 0 \quad (18)$$

여기서 윗첨자 '0'는 현 설계단계에 대한 값들을 나타내며,  $x_j$ 는 변위제어 최적화 과정을 통해 구해져야 할 설계변수인데, 본 연구에서는 부재  $i$ 의 단면적이 된다.

$d_i h_i - u_i^0$ ,  $(\partial u_i / \partial x_j)^0$ ,  $x_j - x_j^0$ 를 각각  $\Delta u_i$ ,  $C_{ij}$ ,  $\Delta x_j$ 로 대치하면 음함수 형태의 변위구속조건식은 (19)식과 같이 간소화된 양함수 형태가 된다. 또한  $C_{ij}$ 는 동적변위민감도로서 매 단계마다 횡변위구속조건식을 구성하기위해 재산정된다.

$$\Delta u_i - \sum_{j=1}^n C_{ij} \Delta x_j \geq 0 \quad (19)$$

#### 3.2 최적설계정식화

제시된 설계법은 횡변위를 목표변위로 제어하면서 구조물의 중량을 최소화하는 것을 설계목표로 한다. 이를 정식화하면 (20)식과 같다.

$$\text{Minimize : } \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \omega_i \Delta x_i^2 \quad (20a)$$

$$\text{Subject to : } \Delta u_i - \sum_{j=1}^n C_{ij} \Delta x_j \geq 0 \quad (20b)$$

$$x_i^L \leq x_i \leq x_i^U$$

여기서  $\omega_i$ 는 부재  $i$ 의 중량계수를 나타내고,  $x_i^L$ ,  $x_i^U$ 는 각각 부재  $i$ 의 최소 및 최대 허용 단면적을 나타낸다.

실용적인 구조물의 설계를 위해서는 부재의 그룹화를 고려하여야 하는데 이는 계산비용의 감소뿐만 아니라 시공상의 편의를 위해서도 필요하다. 부재의 그룹화는 설계문제의 의미를 변화시키지 않으면서 설계변수의 개수를 감소시키는 근사해석기법인 기저감소 기법(basis reduction technique)<sup>2)</sup> 개념을 이용하여 구현할 수 있다. 부재의 그룹화 기법을 도입하여 최적설계문제를 다시 정식화하면 (21)식과 같이 된다.

$$\text{Minimize : } \frac{1}{2} \sum_{j=1}^k \omega_j^* \Delta x_j^2 \quad (21a)$$

$$\text{Subject to : } \Delta u_i - \sum_{j=1}^k C_{ij}^* \Delta x_j \geq 0 \quad (21b)$$

$$x_j^L \leq x_j \leq x_j^U$$

여기서  $\omega_j^* = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot L_{ij}$ ,  $C_{ij}^* = \sum_{i=1}^n C_{it} \cdot L_{ij}$ 이고,  $j$ 는 그룹번호를 나타낸다. 또한  $L$ 은 부재단위의 설계변수와 그룹단위의 설계변수를 연결시켜주는 행렬이다.

최적화 문제는 (21)식으로부터 라그랑지 함수의 최소화로서 정식화된다.

$$L(\Delta x_j, \lambda) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^k \omega_j^* \Delta x_j^2 + \lambda \left( \Delta u_i - \sum_{j=1}^k C_{ij}^* \Delta x_j \right) \quad (22)$$

여기서  $\lambda$ 는 라그랑지 승계수이다.

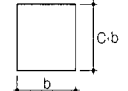
최적설계과정은 구조물의 횡변위가 목표 제어값에 수렴할 때까지 (22)식을 최소화하는 반복과정과 부재단면을 재산정하는 것을 포함한다.

#### 3.3 단면 재산정 방안

본 연구에서 제안된 동적 강성최적설계 방안은 근사화 개념을 이용하기 때문에 근본적으로 반복과

정을 수반하게 된다. 임의의 최적설계과정을 통해 구해진 최적의 부재 단면적을 다음 단계의 재해석과 최적설계에 반영하기 위해서는 부재 단면크기를 재산정하여야 한다. 이를 위해 골조구조물의 경우에는 초기에 주어진 단면형상이 최적설계 반복과정중에도 계속 유지되면서 단면크기가 변경되는 것으로 가정한다. 또한 최적설계의 최종단계에서 구해지는 부재의 단면크기도 같은 방법으로 산정된다. <표 1>은 RC 골조부재의 단면형상에 대해 최적의 부재 단면적을 이용하여 부재 단면치수를 구하는 예를 보여준다.

<표 1> RC 골조부재의 단면치수

단면형상	단면적	단면치수
	$A = c_1 \times b^2$	$h = c_1 b \quad b = \sqrt{\frac{A}{c_1}}$

### 3.4 동적 강성최적설계 과정

지진하중을 받는 골조구조물의 정량적인 횡변위 제어를 위한 전체 최적화과정은 다음과 같은 단계로 이루어진다.

- (1) 초기 부재단면크기를 가정한다. 주로 강도구속조건에 따라 산정된 부재 단면크기를 초기 단면으로 가정한다.
- (2) 지진해석을 수행하여 변위제어를 수행할 것인지 여부를 결정한다.
- (3) 횡변위제어가 필요할 경우 변위제어를 위한 정보를 읽는다.
- (4) 동적 횡변위 민감도 해석을 수행한다.
- (5) 구해진 동적 횡변위 민감도 계수를 이용하여 최적설계 해를 구하고 각 부재의 단면크기를 재산정한다.
- (6) 재산정된 단면크기의 최소 및 최대크기 제한을 검토한다.
- (7) 재산정된 부재단면에 따른 지진해석을 수행한다.
- (8) 구해진 변위에 대한 수렴성 검토를 수행한다. 수렴조건은 허용변위와 현단계에서 구해진 최상층변위의 차이가 허용변위의 0.5%이내일 경우, 또는 전단계의 최상층 변위와 현재 단

계의 최상층 변위의 차가 전단계 변위의 0.5% 이내인지를 검토하는 것이다.

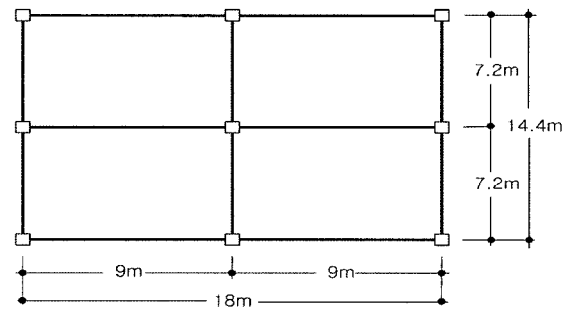
이와 같이 각 단계별 최적단면이 선정되면 다시 단계 4로 되돌아가서 수렴조건이 만족될 때까지 단계 4부터 단계 8까지 과정을 반복한다.

## 4. 모델 적용 및 분석

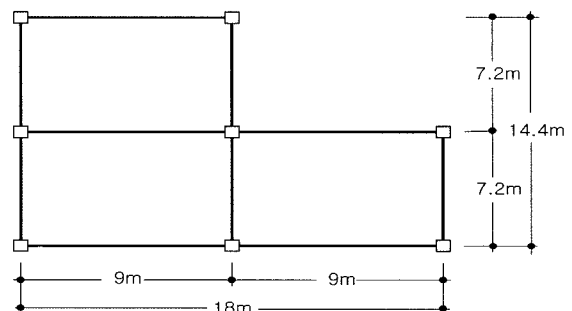
지진하중을 고려한 동적 강성최적설계기법의 효율성을 검토하기 위해, 10층 및 50층 규모의 RC 골조구조물을 고려한다.

### 4.1 10층 RC 골조모델

동적 강성최적설계의 효율성을 살펴보기 위해 <그림 1>과 같은 정형 및 비정형 형태의 10층 RC 골조모델을 고려한다. 각 적용모델의 층고는 3.0m이고, 프레임 구성하는 모든 보와 기둥은 강절점으로 가정한다. 콘크리트의 설계압축강도는 24MPa을 적용하고, 고정하중은 4kN/m<sup>2</sup>, 활하중은 3kN/m<sup>2</sup>으로 가정하였다. 또한 지진하중은 KBC2005<sup>6)</sup>에 따라 적용하였으며, 지



(a) Model-A : 정형 골조모델



(b) Model-B : 비정형 골조모델

<그림 1> 10층 RC 골조모델

〈표 2〉 지진하중산정을 위한 적용계수

항목	계수값	비고
지역계수	0.11	서울
지반종류	$S_B$	보통암 지반
중요도계수	1.5	도시계획구역
반응수정계수	3.0	철근콘크리트 보통 모멘트골조

진하중 산정을 위한 계수는 <표 2>와 같다.

동적해석을 위해 응답스펙트럼해석법을 이용하였고, 모델링은 각 층별로 평면상의 두 직각 방향에 대한 변위와 수직축에 대한 회전을 포함하는 3개의 자유도를 갖는 3차원 모델을 사용한다.

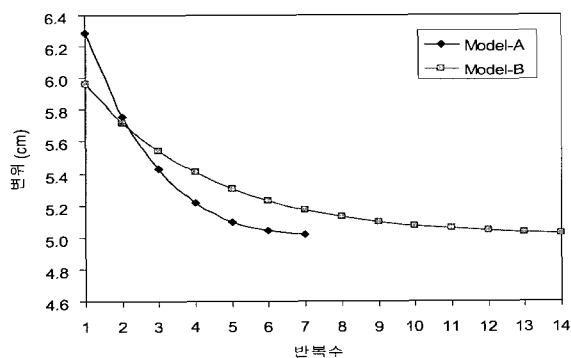
각 부재의 초기 단면크기는 <표 3>과 같고, 부재들은 기둥, 보 각각 2개층 단위로 같은 그룹으로 설정한다.

〈표 3〉 초기부재 단면크기(mm)

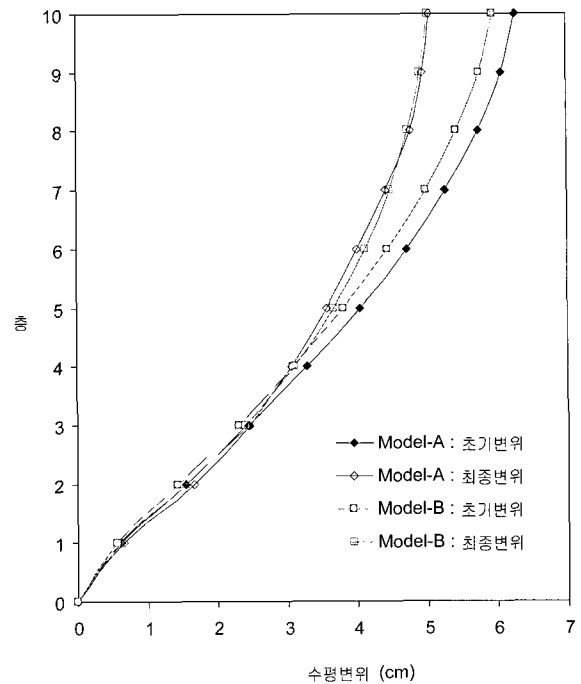
부재	폭	높
보	300	500
기둥	400	400

허용최상층 변위는 건물전체높이의 1/600인 5.0cm로 설정하고, 최적설계의 수렴은 제어된 횡변위와 제어하려는 횡변위의 차이가 0.5%이내일 때 만족되는 것으로 가정하였다.

<그림 2>는 반복과정에 따른 변위 및 중량이력을 나타낸 것이고, <그림 3>은 초기 수평변위와 횡변위가 제어된 최종수평변위를 나타낸 것이다. 정형 형태인 Model-A는 초기변위 6.28cm에서 7회 그리고 비정형 형태인 Model-B는 초기변위 5.96cm에서 14의 반복과정을 통해 목표제어변위값인 5.0cm로 수렴되었으며, 수렴되는 동안 변위가 안정적으로 제



〈그림 2〉 10층 RC 골조모델의 변위이력



〈그림 3〉 10층 RC 골조모델의 수평변위

어되는 것을 알 수 있다.

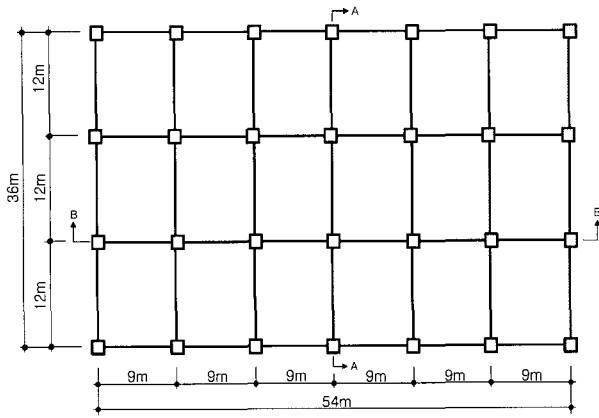
<표 4>는 적용모델의 전체중량을 나타낸 것인데, Model-A의 최종중량은 6866.3kN으로 초기중량 4445.3kN에 비해 54.5%가 증가된 것으로 나타났고, Model-B의 경우 최종중량은 5105.4kN으로 초기중량 3760.8kN에 비해 35.75%가 증가된 것으로 나타났다.

〈표 4〉 적용모델의 전체중량(kN)

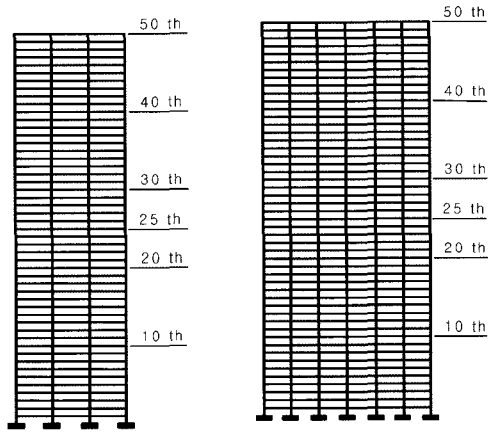
적용모델	초기중량	최종중량
Model-A	4445.3	6866.3
Model-B	3760.8	5105.4

#### 4.2 50층 삼차원 골조모델

삼차원 고층 RC 골조구조물에 대한 효율성을 검토하기 위해 <그림 4>와 같은 50층 RC 골조모델을 고려한다. 적용모델의 층고는 3.0m이고, 프레임을 구성하는 모든 보와 기둥은 강절점으로 가정한다. 콘크리트의 설계압축강도는 24MPa를 적용하고, 고정하중은 4 kN/m<sup>2</sup>, 활하중은 3 kN/m<sup>2</sup>으로 가정하였다. 지진하중은 KBC2005<sup>6)</sup>에 따라 적용하였으며, 지진하중 산정을 위한 계수는 4.1절의 <표 2>와 같이 적용하였다.



(a) 평면도



(b) A-A 단면도 (c) B-B 단면도

〈그림 4〉 50층 RC 골조모델

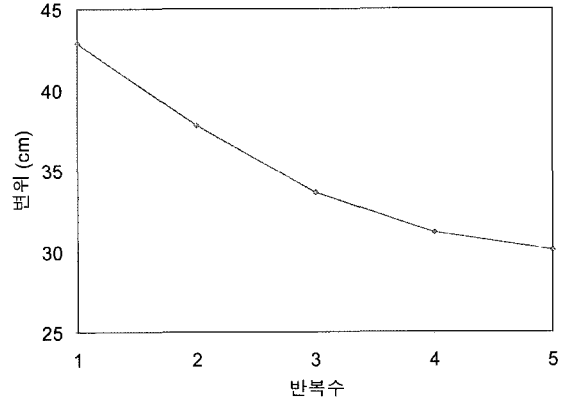
동적해석을 위해 응답스펙트럼해석법을 이용하였고, 모델링은 각 층별로 평면상의 두 직각 방향에 대한 변위와 수직축에 대한 회전을 포함하는 3개의 자유도를 갖는 3차원 모델을 사용한다. 각 부재의 초기 단면크기는 <표 5>와 같고, 부재들은 기둥, 보 각각 5개층 단위로 같은 그룹으로 설정한다. 허용최상층 변위는 건물전체높이의 1/500인 30.0cm로 설정하고, 최적설계의 수렴은 제어된 횡변위와 제어하려는 횡변위의 차이가 0.5%이내일 때 만족되는 것으로 가정하였다.

〈표 5〉 초기부재 단면크기(mm)

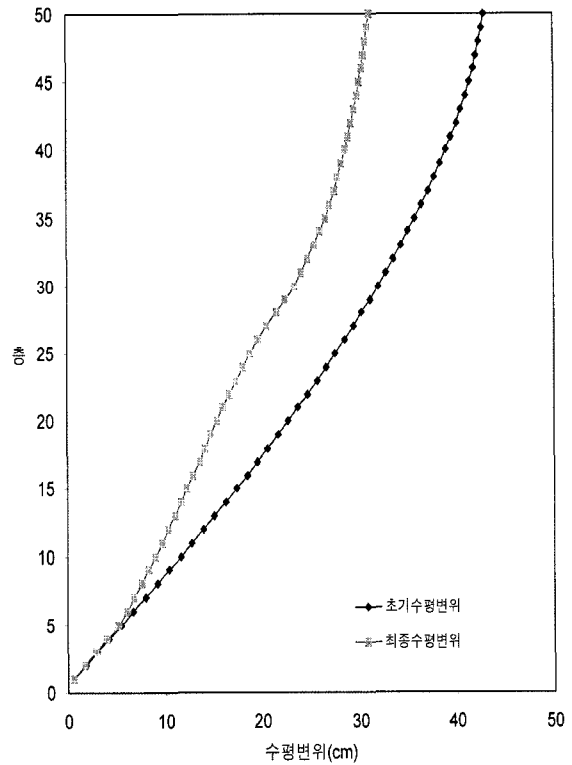
부재	폭	높
보	300	600
기둥	500	500

〈그림 5〉는 반복과정에 따른 변위이력을 나타낸

것이고, <그림 6>은 초기수평변위와 횡변위가 제어된 최종수평변위를 나타낸 것이다.



〈그림 5〉 50층 RC 골조모델의 설계이력



〈그림 6〉 50층 RC 골조모델의 수평변위

초기변위 42.8cm에서 5회의 반복과정을 통해 목표 제어변위값인 30.0cm로 수렴되었으며, 수렴되는 동안 변위가 안정적으로 제어되는 것을 알 수 있다. 또한 구조물의 초기중량은 123,762.2kN이었으며, 횡변위가 최적으로 제어된 후의 최종중량은 243,027.5kN으로 나타났다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 동적 강성최적설계기법을 이용하여 삼차원 고층 골조구조물의 횡변위를 정량적으로 제어할 수 있는 방안을 제시하고자 하였으며 이를 예제에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 동적변위구속조건에 근사화 개념을 도입하여 초기의 최적화 문제를 간단한 대수학적인 형태를 갖는 근사화된 양함수형태의 문제로 대치시킴으로써 알고리즘의 효율성을 증대시켰다.

2) 제안된 설계법은 적용된 예제에 대해 안정적으로 횡변위를 제어하는 것으로 나타났다. 즉, 10층 골조모델의 경우, 정형일 때는 7회, 비정형일 때는 14회의 반복과정을 통해 허용변위로 수렴되었으며, 50층 골조모델의 경우, 5회의 반복과정을 통해 허용변위로 수렴되었다. 이를 통해 고층건물과 같은 큰 규모의 최적화문제도 적은 반복과정으로 횡변위를 정량적으로 제어할 수 있다.

3) 부재 그룹화기법 및 단면특성관계식을 통해 시공상, 설계상의 요구조건을 만족시킬 수 있으며 아울러 설계변수를 줄여줌으로써 계산양이나 시간면에서 큰 효율을 가져올 수 있었다.

따라서 본 연구에서 제시된 지진하중을 받는 삼차원 RC 골조구조물의 동적 강성최적화기법은 고층골조의 구조계획 및 설계단계에서 구조엔지니어에게 큰 도움을 줄 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. Taranath, B., *Structural Analysis & Design of Tall Building*, McGraw-Hill, 1982
2. Kirsch, U., "Reduced Basis Approximations of Structural Displacements for Optimal Design," *AIAA Journal*, Vol. 29, pp.1751-1758, 1991
3. Schmit, L. A. and Farshi, B., "Some Approximation Concepts for Structural Synthesis," *AIAA Journal*, Vol. 11, pp.489-494, 1974
4. Vanderplaats, G. N., *Numerical Optimization Techniques for Engineering Design of Optimal with Applications*, McGraw-Hill, New York, 1984
5. 이한주, 김호수, "변위민감도 해석을 이용한 삼차원 고층철골조 구조물의 횡변위 제어에 관한 연구," *대한건축학회 논문집*, 20권 9호, pp.79-86, 2004
6. 대한건축학회, *건축구조설계기준*, 2005