

## 감도해석기법을 이용한 전단벽 구조물의 최적변위제어

### Optimal Displacement Control of Shear Wall Structure using Sensitivity Analysis Technique

이 한 주\*

Lee, Han-Joo

정 성 진\*\*

Jung, Sung-Jin

김 호 수\*\*\*

Kim, Ho-Soo

#### ABSTRACT

This study presents an effective stiffness-based optimal technique to control quantitatively lateral drift for shear wall structures subject to lateral loads. To this end, the displacement sensitivity depending on behavior characteristics of shear wall structures is established. Also, the approximation concept that can preserve the generality of the mathematical programming and can efficiently solve large scale problems is introduced. Resizing sections in the stiffness-based optimal design are assumed to be uniformly varying in size and the technique of member grouping is considered for the improvement of construction efficiency. Two types of 11-story shear wall structures are presented to illustrate the features of the quantitative lateral drift control technique proposed in this study.

#### 1. 서 론

고층건물의 경우 중력방향하중보다는 풍하중이나 지진하중과 같은 횡하중이 설계에 더 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 고층건물의 횡하중 저항시스템의 적용방안과 그에 따른 횡변위 제어문제는 사용성 측면뿐만 아니라 안전성 측면에서도 매우 중요한 요소중 하나가 된다. 횡하중 저항요소를 적정위치에 적정단면으로 배치하면 효과적으로 횡력에 대한 저항성을 증가시킬 수 있을 뿐만 아니라 경제적인 측면에서도 매우 유리하다고 할 수 있다. 그러나 고층구조물의 거동특성이 대단히 복잡하여 구조변경에 따른 거동변화를 예측하는 일이 쉽지 않기 때문에 정성적 방법에 의한 횡변위 제어는 경우에 따라 여러 번의 반복해석에도 불구하고 최적의 선택을 놓치는 경우가 많다.

이에 따라 국내에서도 이와 관련된 연구가 진행되어 왔다<sup>(6),(7)</sup>. 그러나 이러한 연구들은 골조구조물에 국한되어 있어서 전단벽을 갖는 구조물에는 적용될 수가 없다. 따라서 본 연구에서는 전단벽 구조물에 대한 횡변위를 최적제어할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

전단벽 구조물에 대한 최적화는 M.P.Saka<sup>(3)</sup>에 의해 최적정기준법에 근거하여 실시된 바 있다. 그러나 최적정기준법은 문제의 규모에 상대적으로 영향을 덜 받고 최적설계에 가까운 값을 제공하는 이점이 있으나, 이는 명확한 이론적 기초가 없고 종종 최적해에 도달하지 못하는 경우가 발생한다. 이에 비해 수학적계획법은 정확한 이론적 기초와 어느 형태의 제약조건도 고려할 수 있는 일반성이라는 장점을 가지고 있으나, 비교적 간단한 문제에서조차 많은 비용을 유발시키고 문제의 규모가 커질 경우 계산시간의 급격한 증가 때문에 적용상 어려움이 많다. 근래에는 이러한 단점을 보완하기 위해 근사화 개념<sup>(4),(5)</sup>을 수학적계획법에 도입하여 큰 규모의 문제도 효

\* 정회원, 청주대학교 산업과학연구소 전임연구원

\*\* 정회원, 한남대학교 건축공학부 부교수

\*\*\* 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

울적으로 다룰 수 있는 방안이 강구되고 있다.

이에 따라 큰 규모의 문제도 효율적으로 다룰 수 있는 근사화 개념을 도입하여 횡변위 구속조건식을 설정한다. 아울러 전단벽 및 골조부재의 단면특성 관계식을 설정함으로써 설계변수의 수를 줄여주고, 이를 이용하여 변위민감도해석을 수행한다. 또한 골조의 경우 초기에 주어진 단면형상이 최적설계 과정동안 계속 유지된다는 가정을 이용하여 최적설계결과에서 구해진 단면특성에 따라 부재단면크기를 산출하고, 전단벽은 사용자의 의도에 따라 두께 또는 부재길이를 재산정 하는 방안을 강구한다. 특히 강도구속조건에 대한 초기설계가 먼저 수행된 후 횡변위 구속조건을 초과하는 횡변위를 제어하는데 있어서 횡하중 저항시스템만이 저항하도록 설계한다. 이와 같이 제시된 전단벽 구조물의 횡변위 제어 방안의 효율성을 검토하기위해 두 가지 형태의 11층 전단벽 구조물의 예제가 고려된다.

## 2. 전단벽에 대한 강성행렬의 구성

전단벽 구조물의 이상적인 최적제어를 하기 위해서는 전단벽과 연결보에 대한 적절한 강성행렬이 적용되어야 한다. 해석에서 전단벽은 수직적으로 춤이 깊은 보로서 다루어질 수 있다. 또한 전단변형에 대한 영향이 매우 크므로 강성행렬에 포함되어야 한다<sup>(1)</sup>. 따라서 본 연구에서는 그림 1과 같은 전단벽 요소를 사용하며 강성행렬은 (1)식과 같다. 여기서, E는 탄성계수, G는 전단탄성계수, I는 단면이차모멘트, h는 전단벽의 높이이고, A, 은 전단면적을 나타낸다.

연결보는 그림 2와 같이 전단벽에 연결되는 부분에 강역을 갖는 것으로 가정하며, 강성행렬은 (2)식과 같다.

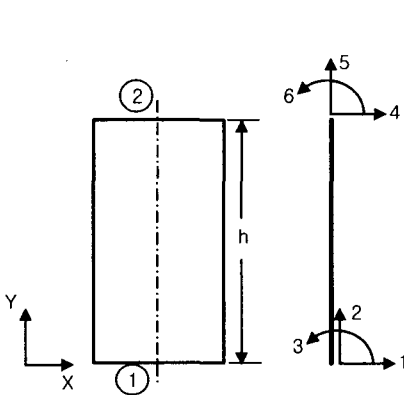


그림 1. 전단벽 요소 및 자유도

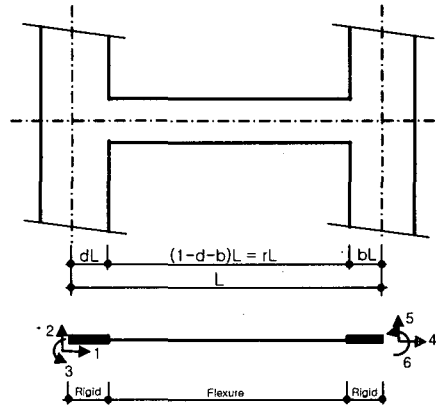


그림 2. 전단벽의 연결보

$$K_1 = \begin{pmatrix} a & 0 & c & -a & 0 & c \\ 0 & d & 0 & 0 & -d & 0 \\ c & 0 & f & -c & 0 & g \\ -a & 0 & -c & a & 0 & -c \\ 0 & -d & 0 & 0 & d & 0 \\ c & 0 & g & -c & 0 & f \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서,  $a = \frac{12EI}{(1+\alpha)h^3}$ ,  $c = -\frac{6EI}{(1+\alpha)h^2}$ ,  $d = \frac{EA}{h}$ ,  $f = -\frac{(4+\alpha)EI}{(1+\alpha)h}$ ,  $g = \frac{(2-\alpha)EI}{(1+\alpha)h}$ ,  $\alpha = 12EI/(h^2 GA)$ ,

$$K_2 = \begin{pmatrix} a & 0 & 0 & -a & 0 & 0 \\ 0 & d & e_1 & 0 & -d & e_2 \\ 0 & e_1 & f_1 & 0 & -e_1 & g \\ -a & 0 & 0 & a & 0 & 0 \\ 0 & -d & -e_1 & 0 & d & -e_2 \\ 0 & e_2 & g & 0 & -e_2 & f_2 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
\text{여기서, } a &= \frac{EA}{\gamma L}, \quad d = \frac{12EI}{(1+\mu)\gamma^3 L^3}, \quad e_1 = -\frac{6EI}{(1+\mu)\gamma^2 L^2} + \frac{12EId}{(1+\mu)\gamma^3 L^3}, \\
f_1 &= \frac{(4+\mu)EI}{(1+\mu)\gamma L} + \frac{12EId}{(1+\mu)\gamma^2 L^2} + \frac{12EId^2}{(1+\mu)\gamma^3 L^3}, \quad e_2 = -\frac{6EI}{(1+\mu)\gamma^2 L^2} + \frac{12EId}{(1+\mu)\gamma^3 L^3}, \\
f_2 &= \frac{(4+\mu)EI}{(1+\mu)\gamma L} + \frac{12EId}{(1+\mu)\gamma^2 L^2} + \frac{12EId^2}{(1+\mu)\gamma^3 L^3}, \quad g = \frac{(2-\mu)EI}{(1+\mu)\gamma L} + \frac{6EI(d+b)}{(1+\mu)\gamma^2 L} + \frac{12EIdb}{(1+\mu)\gamma^3 L}, \\
\mu &= 12EI/(\gamma^2 L^2 GA)
\end{aligned}$$

### 3. 전단벽 구조물의 횡변위제어 설계정식화

본 연구에서는 전단벽 구조물의 횡변위를 효율적으로 제어하기 위해 근사화 개념을 도입하여 횡변위 구속조건식을 설정한다. 특히, 각 부재의 단면특성을 주설계변수와 부설계변수로 나누어 단면특성관계식을 설정하여 설계변수의 수를 줄여줌으로써 계산효율을 증대시킨다.

#### 3.1 횡변위 구속조건식

일반적으로 고층 구조물에 적용되는 횡변위 구속조건에는 최상층 및 층간변위 구속조건이 있는데, 본 연구에서는 (3)식과 같은 최상층 변위구속조건식을 대상으로 한다.

$$u_t(x) \leq d_t h_t \quad (3)$$

여기에서  $u_t(x)$ 는 최상층의 횡변위를 나타낸다. 또한  $d_t$ 는 최상층 허용 횡변위비를 나타내며,  $h_t$ 는 건물의 전체높이를 나타낸다.

부재단면의 변화에 따른 변위를 구조 재해석을 수행하지 않고 근사적으로 구할 수 있는 일차 테일러 전개식을 최상층 횡변위 구속조건식에 도입하여 정리하면 (4)식과 같이 된다.

$$d_t h_t - u_t^0 - \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial u_t}{\partial x_i} \right)^0 (x_i - x_i^0) \geq 0 \quad (4)$$

여기서 윗첨자 '0'는 현 설계단계에 대한 값들을 나타내며,  $x_i$ 는 변위제어 최적화 과정을 통해 구해져야할 설계변수인데, 본 연구에서는 부재  $i$ 의 단면적으로 한다.

여기서  $d_t h_t - u_t^0$ ,  $\left( \frac{\partial u_t}{\partial x_i} \right)^0$ ,  $x_i - x_i^0$ 를 각각  $\Delta u_t$ ,  $C_{it}$ ,  $\Delta x_i$ 로 대치하면 음함수 형태의 변위구속조건식은 (5)식과 같이 간소화된 양함수 형태가 된다. 또한  $C_{it}$ 는 횡변위민감도로서 매 단계마다 횡변위구속조건식을 구성하기위해 재산정된다.

$$\Delta u_t - \sum_{i=1}^n C_{it} \Delta x_i \geq 0 \quad (5)$$

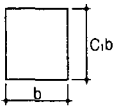
#### 3.2 전단벽 구조물의 단면특성관계식

전단벽 구조물의 경우 여러 종류의 단면특성들이 구조물의 강성에 기여하게 된다. 이런 경우 (6)식과 같은 단면특성관계식을 설정하여 줌으로써 전체 설계 변수의 수를 줄일 수 있다.

$$S_{ik} = \xi_{ik} x_i^{\xi_{ik}} + \xi_{3k} \quad (6)$$

여기서,  $S_{ik}$ 는 부설계변수로 부재  $i$ 의 단면적외의 다른 단면특성을 나타내고,  $x_i$ 는 주설계변수로 본 연구에서는 부재  $i$ 의 단면적을 나타낸다. 또한 표 1은 전단벽에 대해 (6)식의 단면특성관계식을 적용한 경우를 나타낸 것이다.

표 1. 단면특성관계식

단면형상	단면특성관계식	계수
	$A = b \times h$	
	$I_z = \frac{h^3}{12} \cdot A$	$\xi_1 = \frac{h^2}{12}; \xi_2 = 1.0;$ $\xi_3 = 0.0$
	$I_y = \frac{b^3}{12} \cdot A$	$\xi_1 = \frac{b^2}{12}; \xi_2 = 1.0;$ $\xi_3 = 0.0$
	$I_x = h^2 \left[ \frac{1}{3} - 0.21 \frac{b}{h} \left( 1 - \frac{b^4}{12h^4} \right) \right] \cdot A$	$C_1 = h^2 \left[ \frac{1}{3} - 0.21 \frac{b}{h} \left( 1 - \frac{b^4}{12h^4} \right) \right]$ $C_2 = 1.0; C_3 = 0.0$
	$A_{sy} = A_{sz} = \frac{5}{6} \cdot A$	$C_1 = \frac{5}{6}; C_2 = 1.0;$ $C_3 = 0.0$

### 3.3 횡변위에 대한 감도해석

최상층 변위에 대한 민감도계수는 가상하중법을 이용하여 (7)식과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{\partial \{u\}_t}{\partial x_i} = - \{b\}_t^T [K]^{-1} \frac{\partial [K]}{\partial x_i} \{U\} = - \{V\}_t^T \frac{\partial [K]}{\partial x_i} \{U\} \quad (7)$$

여기서,  $\{V\}_t^T = \{b\}_t^T [K]^{-1}$ 이다.

또한 최상층 변위에 대한 민감도는 전체강성행렬에 대한 감도계수를 필요로 하는데 이는 단면특성관계식을 적용하여 구할 수 있다. 전체 구조강성행렬은 (8)식과 같이 구조물을 구성하는 각 요소들의 강성행렬의 조합으로 나타낼 수 있다. 또한 각 요소의 강성행렬은 강성행렬에 기여하는 단면특성에 대한 조합으로 나타낼 수 있다.

$$[K]_T = \sum_{i=1}^n [k]_i = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^t [k]_{ik} \quad (8)$$

여기서,  $i$  : 요소번호,  $j$  : 단면특성 종류번호

$[K]_T$  : 구조물의 전체 강성행렬,  $[k]_i$  : 요소  $i$ 의 강성행렬

$[k]_{ik}$  :  $k$ 번째 단면특성에 의해 기여되는 요소  $i$ 의 강성행렬

$x_i$ 에 대한 전체 강성행렬의 민감도해석을 수행하기위해 전체 강성행렬을  $x_i$ 에 대해 편미분하여 정리하면 (9)식과 같이 된다.

$$\frac{\partial [K]_T}{\partial x_i} = \frac{\partial [k]_i}{\partial x_i} = \sum_{k=1}^t \left( \frac{\partial [k]_{ik}}{\partial x_i} \right) \quad (9)$$

여기서  $\frac{\partial [k]_{ik}}{\partial x_i}$ 는 체인룰(chain rule)을 이용하여 (10)식과 같이 유도된다.

$$\frac{\partial [k]_{ik}}{\partial x_i} = \frac{\partial [k]_{ik}}{\partial S_{ik}} \cdot \frac{\partial S_{ik}}{\partial x_i} \quad (10)$$

또한  $\partial S_{ik}/\partial x_i$ 는 단면특성관계식에 의해 (11)식과 같이 정리되고,  $\partial [k]_{ik}/\partial S_{ik}$ 는  $[k]_{ik}$ 가 부설계변수인 각각의 단면특성에 대해 선형관계이므로 (12)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial S_{ik}}{\partial x_i} = C_{1k} C_{2k} x_i^{(C_{\alpha}-1)} \quad (11)$$

$$\frac{\partial [k]_{ik}}{\partial S_{ik}} = \frac{[k]_{ik}}{S_{ik}} \quad (12)$$

(10), (11), (12)식을 (9)식에 대입하여 정리하면 (13)식과 같이 요소 i의 단면적에 대한 전체 강성행렬의 민감도를 구할 수 있다.

$$\frac{\partial [K]_{\Gamma}}{\partial x_i} = \sum_{k=1}^i \left[ \frac{[k]_{ik}}{S_{ik}} \cdot C_{1k} \cdot C_{2k} \cdot x_i^{(C_{\alpha}-1)} \right] \quad (13)$$

### 3.4 설계정식화

제시된 설계법은 횡변위를 목표변위로 제어하면서 구조물의 중량을 최소화하는 것을 설계목표로 한다. 또한 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 기저감소기법<sup>(2)</sup> 개념을 이용하여 구현할 수 있다. 부재의 그룹화 기법을 도입하여 최적설계문제를 정식화하면 (14)식과 같이 된다.

$$\text{Minimize : } \frac{1}{2} \sum_{j=1}^k \omega_j^* \Delta x_j^2 \quad (14a)$$

$$\text{Subject to : } \Delta u_t - \sum_{j=1}^k C_{jt}^* \Delta x_j \geq 0 \quad (14b)$$

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

여기서  $\omega_j^* = \sum_{i=1}^n w_i \cdot L_{ij}$ ,  $C_{jt}^* = \sum_{i=1}^n C_{it} \cdot L_{ij}$  이고, j는 그룹번호를 나타낸다. 또한 L은 부재단위의 설계변수와 그룹단위의 설계변수를 연결시켜주는 행렬이다.  $\omega_i$ 는 부재 i의 중량계수를 나타내고,  $x_j^L$ ,  $x_j^U$ 는 각각 부재 i의 최소 및 최대 허용 단면적을 나타낸다.

이에 따라 설계최적화 문제는 라그랑지 함수의 최소화로서 정식화 된다<sup>(2)</sup>.

$$L(\Delta x_j, \lambda) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^k \omega_j^* \Delta x_j^2 + \lambda \left( \Delta u_t - \sum_{j=1}^k C_{jt}^* \Delta x_j \right) \quad (15)$$

여기서,  $\lambda$ 는 라그랑지 승계수이다.

### 3.5 부재단면크기 재산정 방안

본 연구에서 강구되는 강성최적설계방안은 근사화 개념을 이용하기 때문에 근본적으로 반복과정을 수반하게 된다. 어느 최적설계과정을 통해 구해진 최적의 부재 단면적을 다음 단계에 반영하기 위해서는 부재 단면크기를 재산정하여야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 골조구조물의 경우에는 초기에 주어진 단면형상이 반복되는 최적설계과정 동안 계속 유지되면서 단면크기가 변경되는 것으로 가정하고, 전단벽의 경우에는 사용자의 의도에 따라 벽체의 두께나 길이만이 변경되는 것으로 가정한다. 또한 최적설계의 최종단계에서 구해지는 부재의

단면크기도 같은 방법으로 산정된다. 표 2 및 3은 전단벽 및 골조구조물의 몇 가지 단면형상에 대해 최적의 부재 단면적을 이용하여 부재 단면치수를 구하는 예를 보여준다.

표 2. 전단벽의 단면적과 단면치수와의 관계


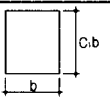
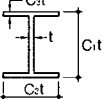
단면형상	단면적	단면치수
	$A = t \times L$	(t가 고정인 경우) $L = \sqrt{\frac{A}{t}}$ (L이 고정인 경우) $t = \sqrt{\frac{A}{L}}$

표 3. 골조구조물의 단면적과 단면치수와의 관계

단면형상	단면적	단면치수
	$A = c_1 \times b^2$	$h = c_1 b, b = \sqrt{\frac{A}{c_1}}$
	$A = \{2c_2c_3 + (c_1 - 2c_3)\}t^2$	$t = \sqrt{\frac{A}{2c_2c_3 + c_1 - 2c_3}}$ $b = c_2t, h = c_1t, t_f = c_3t$

#### 4. 횡변위제어 최적설계과정

본 연구에서 제안된 삼차원 철골조 구조물의 횡변위 제어를 위한 강성최적설계에 대한 전체 최적화 과정은 다음과 같은 단계로 이루어진다.

- (1) 초기 부재단면크기를 가정한다. 주로 강도구속조건에 따른 부재 단면크기를 초기단면으로 가정한다.
- (2) 구조해석을 수행하여 변위제어를 수행할 것인지 여부를 결정한다.
- (3) 변위제어가 필요할 경우 변위제어를 위한 정보를 읽는다.
- (4) 횡변위 민감도 해석을 수행한다.
- (5) 구해진 횡변위 민감도 계수를 이용하여 최적설계 해를 구하고 각 부재의 단면크기를 재산정한다.
- (6) 재산정된 단면크기의 최소 및 최대크기 제한을 검토한다.
- (7) 재산정된 부재단면에 따른 구조해석을 수행한다.

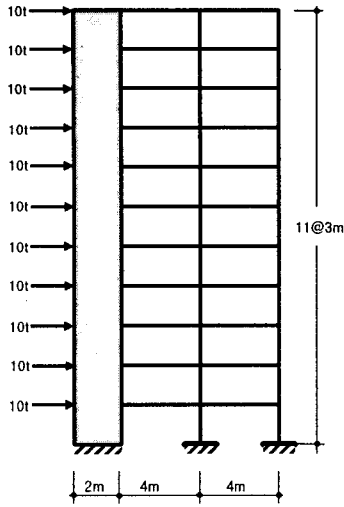
(8) 구해진 변위에 따른 수렴성 검토를 수행한다. 제시된 설계법에서는 두 가지의 수렴조건을 적용한다. 첫 번째는 허용변위와 현단계에서 구해진 최상층변위의 차이가 허용변위의 0.5%이내일 경우에 수렴하는 것으로 간주하는 것이고, 두 번째는 전단계의 최상층 변위와 현재 단계의 최상층 변위의 차가 전단계 변위의 0.5%이내 인지를 검토하는 것이다.

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

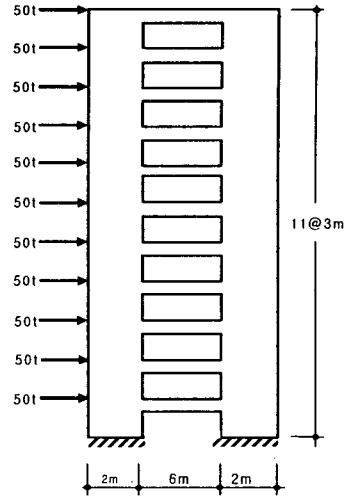
#### 5. 적용예제

본 연구에서 제시된 전단벽 구조물의 횡변위 제어방안의 효율성을 비교·검토하기 위해 그림 3과 같은 전단 벽을 갖는 골조구조물(모델 A)과 병렬전단벽(모델 B) 두 가지 형태의 11층 모델이 고려된다.

두 적용모델의 층고는 3.0m이고 부재의 재질은 콘크리트 압축강도  $210\text{kgf/cm}^2$ (C210)으로 한다. 모델 A의 경우 전단벽의 폭은 2m이고, 초기두께는 20cm로 하며, 골조의 기둥의 초기단면은 40cm의 정사각형 단면으로 가정하고, 보의 초기단면은 폭 30cm, 춤 60cm로 가정한다. 또한 모델 B의 경우는 전단벽의 폭은 2m이고, 초기두께는 20cm이며, 연결보의 춤은 60cm로 가정한다. 횡변위제어 과정에서 재설계되는 전단벽부재의 단면크기는 길이는 고정되고 두께만 재산정 되는 것으로 가정하며, 골조부재의 단면크기는 초기에 주어진 단면과 형상의 비율이 같다고 가정하여 산정한다. 허용최상층변위는 건물전체높이의 1/600인 5.5cm로 하며, 최적설계의 수렴은 제어된 횡변위와 제어하려는 횡변위의 차이가 0.5%이내일 때 만족되는 것으로 가정한다.



(a) 모델 A - 전단벽을 갖는 골조구조물



(b) 모델 B - 병렬전단벽 구조물

그림 3. 11층 전단벽 구조물 모델

표 4는 적용예제의 초기변위 및 최종변위를 나타낸 것으로 두 모델 모두 목표값인 5.5cm로 잘 제어됨을 알 수 있다. 또한 그림 4는 각 구조물의 반복과정에 따른 제어된 변위를 나타낸 것인데, 모델 A는 9회의 반복과정으로 수렴하였고, 모델 B의 경우 5회의 반복과정으로 수렴이 일어났으며 수렴되는 동안 안정적으로 변위가 제어되는 것이 보여 진다.

표 4. 적용모델의 초기변위 및 최종변위(cm)

	모델 A	모델 B
초기 변위	16.02	12.24
최종 변위	5.45	5.45

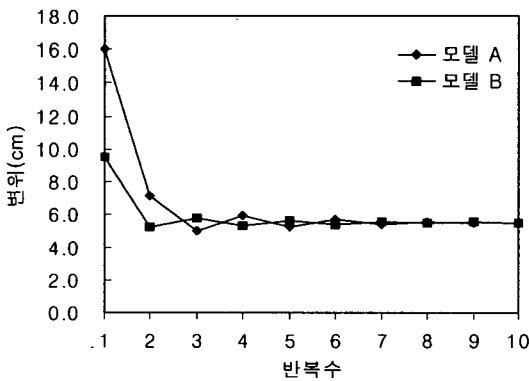


그림 4. 반복과정에 따른 변위이력

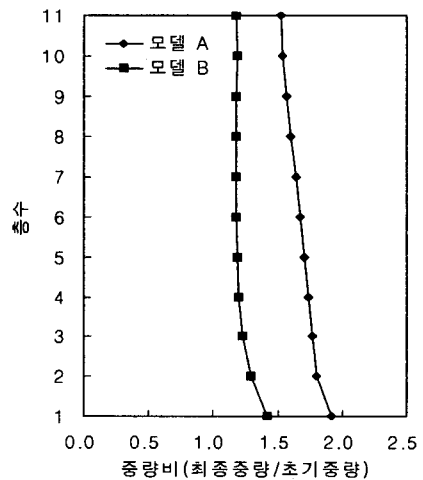


그림 5. 층별중량비

그림 5는 적용예제의 층별 중량비(최종중량/초기중량)를 나타낸 것인데, 두 모델 모두 저층부분에서 많은 물량이 요구되며 고층으로 갈수록 물량변동이 적음을 알 수 있다. 즉 횡하중에 의해 발생하는 변형에 대한 저항성을 확보하기 위해선 구조물의 낮은 층이 횡강성을 증대시키는 것이 효과적임을 알 수 있다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 전단벽구조물의 횡변위를 정량적으로 제어할 수 있는 강성최적설계 방안을 제시하고자 하였으며 이를 예제에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 변위구속조건에 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 나타났으며, 10회 이내의 적은 반복과정을 통해 허용변위로 수렴되었다. 이것은 제안된 설계알고리즘내에 근사화 개념이 도입되어 수학적 계획법을 보완함으로써 변위가 안정적으로 제어될 뿐만 아니라 고층건물과 같은 큰 규모의 최적화문제도 적은 반복과정으로 풀려지는 것으로 사료된다.

3) 부재 그룹화기법을 통해 시공상, 설계상의 요구조건을 만족시킬 수 있으며 아울러 설계변수를 줄여줌으로써 계산양이나 시간면에서 큰 효율을 가져올 수 있다

4) 두 예제의 층별 중량비를 통해 횡하중에 대한 횡변위를 효율적으로 저항하기 위해선 더 낮은 층의 레벨에서의 횡강성 및 소요물량이 증가되어야 한다는 것을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서 제시된 근사화 개념을 이용한 전단벽 구조물의 강성최적화기법은 고층철골조의 구조계획 및 설계단계에서 구조엔지니어에게 큰 도움을 줄 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C103A1040001-03A0204-00110)에 의한 것임

## 참고 문헌

1. Ghali, A. and Neville, A. M., *Structural Analysis*, Chapman & Hall, New York, 1983
2. Vanderplaats, G. N., *Numerical Optimization Techniques for Engineering Design of Optimal with Applications*, McGraw-Hill, New York, 1984
3. Saka, M. P., "Optimum Design of Multistory Structures with Shear Walls," *Computers & Structures*, Vol.44, No.4, 1992, pp.925~936
4. Schmit, L. A. and Farshi, B., "Some Approximation Concepts for Structural Synthesis," *AIAA Journal*, Vol. 11, 1974, pp.489-494
5. Kirsch, U., "Reduced Basis Approximations of Structural Displacements for Optimal Design," *AIAA Journal*, Vol. 29, 1991, pp.1751-1758
6. 김호수, 이한주, "변위민감도 해석을 이용한 삼차원 고층철골조 구조물의 횡변위 제어에 관한 연구," 대한건축학회 논문집, 20권 9호, 2004, pp.78~86
7. 김호수, 이한주, "합성부재를 이용한 고층평면골조의 강성최적설계에 관한 연구," 한국셀공간구조공학회 논문집, 4권 3호, 2004, pp.77~84