

합성부재를 이용한 전단벽-골조 구조시스템의 횡변위 최적제어방안

Lateral Drift Optimal Control Technique of Shear Wall-Frame Structure System using Composite Member

이 한 주* 정 성 진** 김 호 수***
Lee, Han-Joo Jung, Sung-Jin Kim, Ho-Soo

Abstract

The effective stiffness-based optimal technique to control quantitatively lateral drift for shear wall-Frame structure system using composite member subject to lateral loads is presented. Also, displacement sensitivity depending on behavior characteristics of structure system is established and approximation concept that preserves the generality of the mathematical programming is introduced. Finally, the resizing technique of shear wall, frame and composite member is developed and the example of 20 story framework is presented to illustrate the features of the quantitative lateral drift control technique.

Keywords : Composite Member, Displacement Sensitivity Analysis, Approximation Concept, Lateral Drift Optimal Control, Shear Wall-Frame Structure System

1. 서 론

고층구조물의 경우 일반적으로 중력방향 하중보다 풍하중, 지진하중과 같은 횡하중이 설계에 더 큰 영향을 미친다. 따라서 횡력에 대한 저항성능의 확보를 위한 횡하중 저항시스템의 적용방안과 그에 따른 구조물의 횡변위 제어문제는 구조물의 사용성뿐만 아니라 P- δ 효과 등에 의한 이차적 응력의 유발로 인한 구조물의 안전성에도 큰 영향을 주는 중요한 요소이다. 횡하중 저항요소를 적정위치에 적정단면으로 배치하면 효과적으로 배치하면 효과적으로 횡력에 대한 저항성능을 증가시킬 수 있을 뿐만 아니라 경제적인 측면에서도 매우 유리하다고 할 수 있

다. 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. 또한 근래의 초고층 구조물들은 단일 재료나 단일 구조시스템보다는 복합 재료나 둘 이상의 구조시스템으로 이루어진 복합구조시스템을 적용하는 경향이 있다.

따라서 본 연구에서는 합성부재를 이용한 전단벽-골조 구조시스템의 횡변위를 정량적으로 제어할 수 있는 강성최적설계 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 큰 규모의 문제도 효율적으로 다룰 수 있는 근사화 개념을 도입하여 횡변위 구속조건식을 설정한다. 아울러 골조, 전단벽 그리고 합성부재단면을 고려한 단면특성관계식을 설정하여, 강성행렬에 기여하는 여러 단면특성들을 하나의 단면특성에 대한 식으로 나타냄으로써 설계변수의 수를 줄여준다. 또한 설정된 단면특성관계식을 이용하여 강성행렬에 대

* 정회원 · 청주대학교 건축공학부 겸임교수

** 정회원 · 한남대학교 건축공학부 부교수

*** 정회원 · 청주대학교 건축공학부 교수

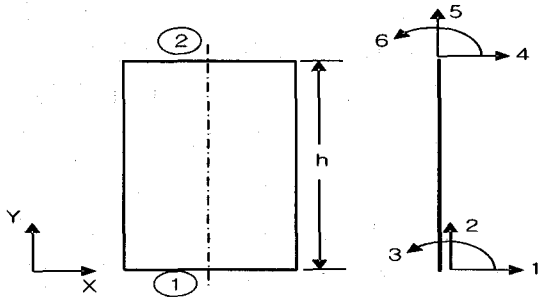
본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C103A1040001-03A0204 -00110)에 의한 것임

한 도함수 및 변위에 대한 민감도 해석을 수행한다. 특히 초기에 주어진 단면형상이 최적설계 과정동안 계속 유지된다는 가정을 이용하여 최적설계결과에서 구해진 단면특성에 따라 합성부재의 치수를 산출하는 방안을 강구한다. 제시된 강성최적설계 방안의 효율성을 검토하기 위해 20층의 합성부재를 이용한 전단벽-골조 구조시스템의 예제가 고려된다.

2. 전단벽에 대한 강성행렬의 구성

전단벽 구조물의 이상적인 최적제어를 하기 위해서는 전단벽과 연결부에 대한 적절한 강성행렬이 적용되어야 한다. 해석에서 전단벽은 수직적으로 춤이 깊은 보로서 다루어질 수 있다. 또한 전단변형에 대한 영향이 매우 크므로 강성행렬에 포함되어야 한다¹⁾. 따라서 본 연구에서는 그림 1과 같은 전단벽 요소를 사용하며 강성행렬은 (1)식과 같다. 여기서, E는 탄성계수, G는 전단탄성계수, I는 단면이차모멘트, h는 전단벽의 높이이고, A_v은 전단면적을 나타낸다.

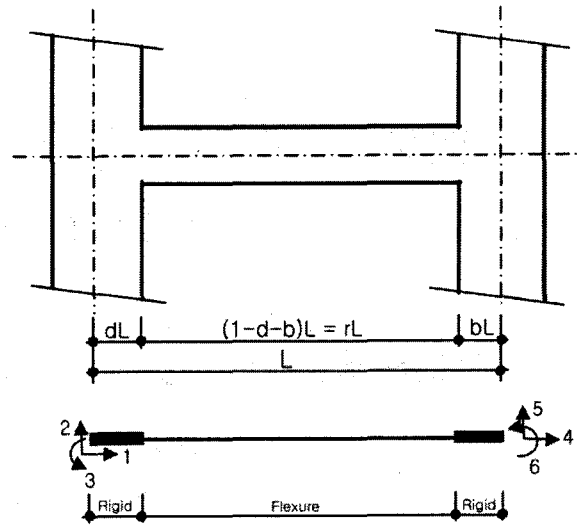
연결부는 그림 2와 같이 전단벽에 연결되는 부분에 강역을 갖는 것으로 가정하며, 강성행렬은 (2)식과 같다.



〈그림 1〉 전단벽 요소 및 자유도

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

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



〈그림 2〉 전단벽의 연결부

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

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

3. 횡변위 제어기법

3.1 횡변위 구속조건식

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

$$u_t(x) \leq d, h_t \quad (3)$$

여기에서 $u_i(x)$ 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 (4)식과 같이 된다.

$$d_i h_i - u_i^o - \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right)^o (x_i - x_i^o) \geq 0 \quad (4)$$

여기서 윗첨자 'o'는 현 설계단계에 대한 값들을 나타내며, x_i 는 변위제어 최적화 과정을 통해 구해져야 할 설계변수인데, 본 연구에서는 부재 i의 단면적으로 한다. 또한 $\partial u_i / \partial x_i$ 는 최상층 변위에 대한 민감도인데 가상하중법을 적용하여 구하면 (5)식과 같다⁶⁾.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = -\{V\}_i^T \frac{\partial [K]}{\partial x_i} \{U\} \quad (5)$$

여기서, $\{V\}_i^T = \{b\}_i^T [K]^{-1}$ 이며, $\partial [K] / \partial x_i$ 는 강성행렬에 대한 도함수이다.

근사화된 횡변위 구속조건식인 (4)식에서 $d_i h_i - u_i^o$, $(\partial u_i / \partial x_i)^o$, $x_i - x_i^o$ 를 각각 Δu_i , C_{ik} , Δx_i 로 대체하면 음함수 형태의 변위구속조건식은 (6)식과 같이 간소화된 양함수 형태가 된다. 또한 C_{ik} 는 횡변위민감도로서 매 단계마다 횡변위 구속조건식을 구성하기위해 재산정된다.

$$\Delta u_i - \sum_{i=1}^n C_{ik} \Delta x_i \geq 0 \quad (6)$$

3.2 단면특성관계식

3.2.1 골조 및 전단벽의 단면특성관계식


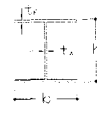
복합구조시스템의 경우 여러 종류의 단면특성들이 구조물의 강성에 기여하게 된다. 이런 경우 (7)식과 같은 단면특성관계식을 설정하여 줄으로써 전체 설계 변수의 수를 줄일 수 있다.

$$S_{ik} = \xi_{1k} x_i^{\xi_{2k}} + \xi_{3k} \quad (7)$$

여기서, S_{ik} 는 부설계변수로 부재 i의 단면적외의 다른 단면특성을 나타내고, x_i 는 주설계변수로 본 연구에서는 부재 i의 단면적을 나타낸다.

또한 표 1은 전단벽과 H형 단면에 대해 식(7)의 단면특성관계식을 적용한 경우를 나타낸 것이다.

<표 1> 전단벽과 H형 단면의 단면특성관계식

단면형상	단면특성관계식	계 수
	$A = b \times h$	
	$I_z = \frac{h^2}{12} \cdot A$	$\xi_1 = \frac{h^2}{12}$; $\xi_2 = 1.0$; $\xi_3 = 0.0$
	$I_y = \frac{b^2}{12} \cdot A$	$\xi_1 = \frac{b^2}{12}$; $\xi_2 = 1.0$; $\xi_3 = 0.0$
	$I_x = h^2 \left[\frac{1}{3} - 0.21 \frac{b}{h} \left(1 - \frac{b^4}{12h^4} \right) \right] \cdot A$	$\xi_1 = h^2 \left[\frac{1}{3} - 0.21 \frac{b}{h} \left(1 - \frac{b^4}{12h^4} \right) \right]$ $\xi_2 = 1.0$; $\xi_3 = 0.0$
	$A_{sy} = A_{sz} = \frac{5}{6} \cdot A$	$\xi_1 = \frac{5}{6}$; $\xi_2 = 1.0$; $\xi_3 = 0.0$
	$A = b \times h - (b - t_w)(h - 2t_f)$	
	$I_z = \frac{1}{12} [(h - 2t_f)^2 \cdot A + bh \{h^2 - (h - 2t_f)^2\}]$	$\xi_1 = \frac{1}{12} (h - 2t_f)^2$, $\xi_2 = 1.0$; $\xi_3 = \frac{1}{12} bh \{h^2 - (h - 2t_f)^2\}$
	$I_y = \frac{1}{12} \left[-\frac{1}{(b - t_w)} \cdot A + 2t_f b^3 + \frac{bh \times t_w^3}{(b - t_w)} \right]$	$\xi_1 = -\frac{1}{12(b - t_w)}$, $\xi_2 = 1.0$; $\xi_3 = \frac{1}{12} \left\{ 2t_f b^3 + \frac{bh \times t_w^3}{(b - t_w)} \right\}$
	$I_x = \frac{1}{3} \times \left[-\frac{t_w^3}{(b - t_w)} \cdot A + 2bt_f^3 + \frac{bh \times t_w^3}{(b - t_w)} \right]$	$\xi_1 = -\frac{t_w^3}{3(b - t_w)}$, $\xi_2 = 1.0$; $\xi_3 = \frac{1}{3} \left\{ 2t_f b^3 + \frac{bh \times t_w^3}{(b - t_w)} \right\}$
	$A_{sz} = \frac{5}{6} \{ A - (h - 2t_f)t_w \}$	$\xi_1 = \frac{5}{6}$, $\xi_2 = 1.0$; $\xi_3 = -\frac{5}{6} (h - 2t_f)t_w$
	$A_{sy} = A - 2(b - t_w)t_f$	$\xi_1 = 1.0$; $\xi_2 = 1.0$; $\xi_3 = -2(b - t_w)t_f$

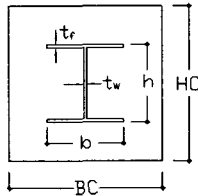
3.2.2 합성부재의 단면특성

철골-철근콘크리트 합성부재의 강성은 콘크리트 단면과 철골단면이 구조적으로 완전 합성된 것으로 가정하여 등가환산단면성질 형태로 고려된다. 등가

환산단면의 계산에서 강재의 탄성계수(E_s)와 콘크리트의 탄성계수(E_c)는 철골-철근콘크리트 규준에 명기된 수치를 사용하되, E_c 의 값은 EUROCODE4에 따라 20%감소한 값을 사용한다. 이에 따라 합성부재의 등가환산 단면특성은 (8)식과 같다.

$$S_{eq} = S_s + 0.8 \frac{E_c}{E_s} S_c \quad (8)$$

여기서, S_s 는 철골의 단면특성, S_c 는 콘크리트의 단면특성, E_s 는 철골의 탄성계수, E_c 는 콘크리트의 탄성계수를 나타내며, 그림 1과 같은 합성부재 단면에 대한 등가환산 단면적은 (9)식과 같이 구할 수 있다.



(그림 3) 합성부재단면

$$A_{eq} = A_s + 0.8 \frac{E_c}{E_s} A_c \quad (9)$$

여기서, $A_s = b \cdot h - (b - t_w)(h - 2t_f)$,
 $A_c = BC \cdot HC - A_s$

합성부재의 경우에도 (7)식과 같은 단면특성관계식을 이용하여 알고리즘의 효율성을 높일 수 있다.

(7)식과 같은 단면특성 관계식에 따라 그림 1의 합성단면의 단면특성관계식을 설정하면 표 2와 같이 된다.

3.3 변위민감도 해석 및 설계정식화

전체 구조강성행렬은 식 (10)과 같이 구조물을 구성하는 각 요소들의 강성행렬의 조합으로 나타낼 수 있고, 각 요소의 강성행렬은 강성행렬에 기여하는 단면특성에 대한 조합으로 나타낼 수 있다.

$$[K]_T = \sum_{i=1}^n [k]_i = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^i [k]_{ik} \quad (10)$$

(표 2) 합성부재의 등가환산 단면특성 관계식

단면특성관계식	계수
$I_{z_{eq}} = C_{11} \cdot A_{eq}^{C_{21}} + C_{31}$	$C_{11} = k_1(1 - 0.8E_c/E_s)$
	$C_{21} = 1.0$ $C_{31} = 0.8 \frac{E_c}{E_s} \frac{BC \cdot HC^3}{12} + \left(1 - 0.8 \frac{E_c}{E_s}\right) \left(k_2 - 0.8 \frac{E_c}{E_s} k_1 A_c\right)$ 여기서, $k_1 = \frac{1}{12}(h - 2t_f)^2$ $k_2 = \frac{1}{12}bh[h^2 - (h - 2t_f)^2]$
$I_{y_{eq}} = C_{12} \cdot A_{eq}^{C_{22}} + C_{32}$	$C_{12} = k_3 \cdot (1 - 0.8E_c/E_s)$
	$C_{22} = 1.0$ $C_{32} = \left(1 - 0.8 \frac{E_c}{E_s}\right) \left(k_4 - 0.8 \frac{E_c}{E_s} \cdot k_3 \cdot A_c\right) + 0.8 \frac{E_c}{E_s} \left(\frac{HC \cdot BC^3}{12}\right)$ 여기서, $k_3 = -\frac{1}{12(b - t_w)}$ $k_4 = \frac{1}{12} \left\{ 2t_f \cdot b^3 + \frac{bh \cdot t_w^3}{(b - t_w)} \right\}$
$I_{x_{eq}} = C_{13} \cdot A_{eq}^{C_{23}} + C_{33}$	$C_{13} = -\frac{t_w^3}{3(b - t_w)}$
	$C_{23} = 1.0$
	$C_{33} = 0.8 \frac{E_c}{E_s} (k_5 - C_{13} \cdot A_c) + k_6$
	$k_5 = I_{xc} - I_{xs}$
	$I_{xc} = HC^2 \left\{ \frac{1}{3} - 0.21 \frac{BC}{HC} \left(1 - \frac{BC^2}{12HC^2}\right) \right\} \cdot BC \cdot HC$
	$I_{xs} = \frac{1}{3} \left\{ -\frac{t_w^3}{(b - t_w)} (bh - (b - t_w)(h - 2t_f)) + 2bt_f^3 + \frac{bh \cdot t_w^3}{(b - t_w)} \right\}$ $k_6 = \frac{1}{3} \left\{ 2t_f \cdot b^3 + \frac{bh \cdot t_w^3}{(b - t_w)} \right\}$

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

변위 민감도의 구성요소중 하나인 강성행렬에 대한 도함수는 위에서 설정된 단면특성관계식을 이용하여 다음 (11)식과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{\partial [K]_T}{\partial x_i} = \sum_{k=1}^i \left[\frac{[k]_{ik}}{S_{ik}} \cdot C_{1k} \cdot C_{2k} \cdot x_i^{(C_{2k}-1)} \right] \quad (11)$$

본 연구에서 제시된 설계법은 현재 단계의 최상층 변위가 허용변위를 초과할 경우 허용변위와 같아지도록 제어되면서 이에 필요한 강성의 변화량이 최

소가 되도록 하는 것을 목적으로 한다. 또한 각 부재의 중량계수를 고려함으로써 최소강성뿐만 아니라 최소중량에 대한 사항도 포함되도록 한다. 이를 식으로 나타내면 다음 (12)식과 같다.

$$\text{Minimize : } \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \omega_i \Delta x_i^2 \quad (12a)$$

$$\text{Subject to : } \Delta u_i - \sum_{i=1}^n C_{ii} \Delta x_i = 0 \quad (12b)$$

여기서 ω_i 는 부재의 중량계수이다. 설계최적화 문제는 라그랑지 함수의 최소화로서 정식화 된다^[2].

$$L(\Delta x_i, \lambda) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \omega_i \Delta x_i^2 + \lambda \left(\Delta u_i - \sum_{i=1}^n C_{ii} \Delta x_i \right) \quad (13)$$


여기서 λ 는 라그랑지 승계수이다.

3.4 부재단면크기 재산정 방안

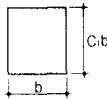
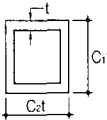
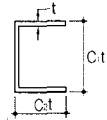
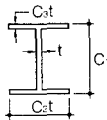
본 연구에서 강구되는 강성최적설계방안은 근사화 개념을 이용하기 때문에 근본적으로 반복과정을 수반하게 된다. 어느 최적설계과정을 통해 구해진 최적의 부재 단면적을 다음 단계에 반영하기 위해서는 부재 단면크기를 재산정하여야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 골조구조물의 경우에는 초기에 주어진 단면형상이 반복되는 최적설계과정 동안 계속 유지되면서 단면크기가 변경되는 것으로 가정하고, 전단벽의 경우에는 사용자의 의도에 따라 벽체의 두께나 길이만이 변경되는 것으로 가정한다. 또한 최적설계의 최종단계에서 구해지는 부재의 단면크기도 같은 방법으로 산정된다. 표 3 및 4는 전단벽 및 골조구조물의 몇 가지 단면형상에 대해 최적의 부재 단면적을 이용하여 부재 단면치수를 구하는 예를 보여준다.

합성부재의 경우에는 그림 3과 같은 합성부재단면의 각 치수를 (14)식과 같이 t_w 에 대한 비율로서 나타내면, 단면적이 주어졌을 때 (15)식과 같이 t_w 를 각 치수의 비율을 이용하여 구할 수 있다. 또한 구해진 t_w 를 이용하여 초기에 주어진 비율에 따라 단면의 각 치수를 구할 수 있다. 여기서 각 치수의 비율은 단면형상이 최적설계과정 동안 계속 유지된다고 가정하

〈표 3〉 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 4〉 골조구조물의 단면적과 단면치수와의 관계

단면형상	단면적	단면치수
	$A = c_1 \times b^2$	$h = c_1 b, b = \sqrt{\frac{A}{c_1}}$
	$A = 2(c_1 + c_2 - 2)t^2$	$t = \sqrt{\frac{A}{2(c_1 + c_2 - 2)}}$ $h = c_1 t, b = c_2 t$
	$A = (c_1 + 2c_2 - 2)t^2$	$t = \sqrt{\frac{A}{(c_1 + 2c_2 - 2)}}$ $h = c_1 t, b = c_2 t$
	$A = 2c_2 c_3 t^2 + (c_1 - 2c_3)t^2$	$t = \sqrt{\frac{A}{2c_2 c_3 + c_1 - 2c_3}}$ $b = c_2 t, h = c_1 t, t_f = c_3 t$

기 때문에 초기에 주어진 값이 계속 사용된다.

$$\text{콘크리트 단면 : } BC = \gamma_1 t_w, HC = \gamma_2 t_w \quad (14a)$$

$$\text{철골단면 : } h = \gamma_3 t_w, b = \gamma_4 t_w, t_f = \gamma_5 t_w \quad (14b)$$

$$t_w = \sqrt{\frac{A_{eq}}{0.8nr_1 r_2 + (1 - 0.8n)t_1}} \quad (15)$$

$$\text{여기서, } t_1 = r_3 r_4 - (r_4 - 1)(r_3 - 2r_5)$$

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 따라 산정된 부재 단면크기를 초기단면으

로 가정한다.

(2) 구조해석을 수행하여 변위제어를 수행할 것인지 여부를 결정한다.

(3) 변위제어가 필요할 경우 변위제어를 위한 정보를 읽는다.

(4) 횡변위 민감도 해석을 수행한다.

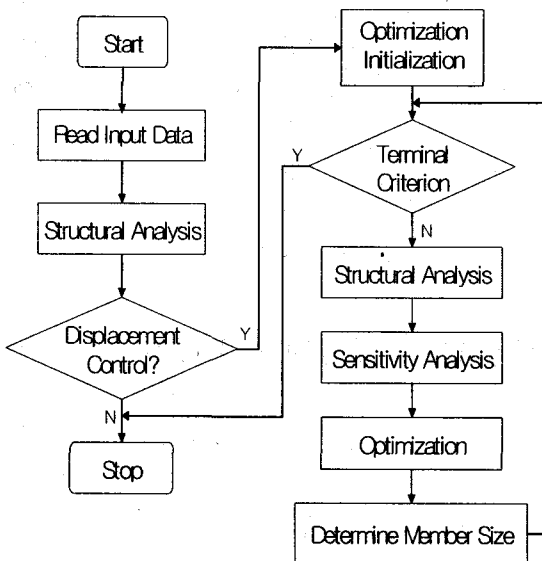
(5) 구해진 횡변위 민감도 계수를 이용하여 최적 설계 해를 구하고 각 부재의 단면크기를 재산정한다.

(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% 이내인지를 검토하는 것이다.

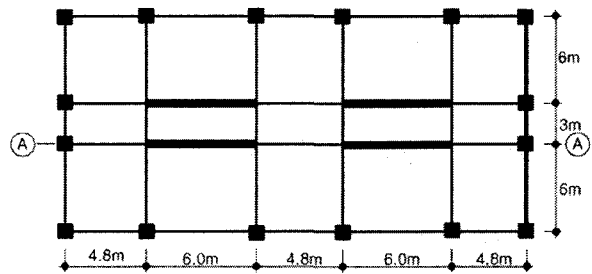
위와 같이 각 단계별 최적단면이 선정되면 다시 단계 4로 되돌아가서 수렴조건이 만족될 때까지 단계 4부터 단계 8까지 과정을 반복한다. 이와 같은 과정을 흐름도로 나타내면 그림 4와 같다.



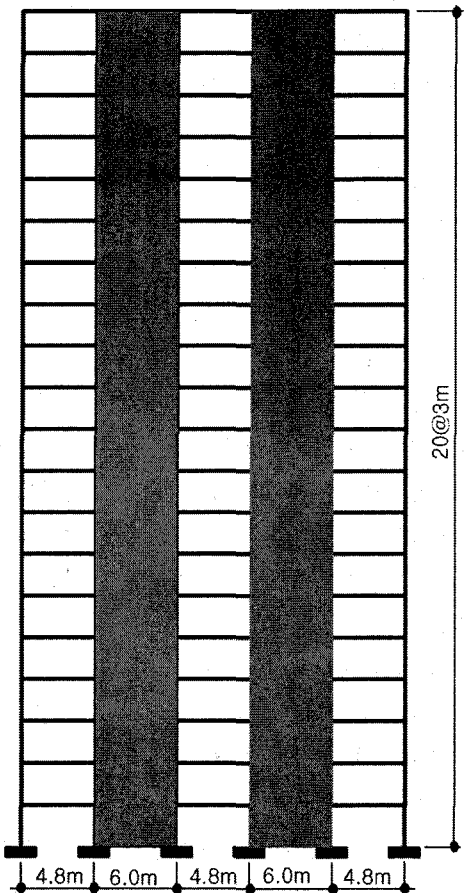
〈그림 4〉 제시된 변위제어 알고리즘의 흐름도

5. 적용예제 및 결과분석

본 연구에서 제시된 합성부재를 이용한 전단벽-골조 구조시스템의 횡변위 제어방안의 효율성을 비교·검토하기 위하여 그림 5와 같은 20층의 구조물이 고려된다. 적용예제의 층고는 3.0m이고, 적용하중은 각 층의 레벨에서 수평집중하중 20t이 작용하는 것으로 한다. 초기부재의 크기는 표 2와 같이 부재종류별로 전 층에 같은 단면으로 가정하며, 콘크리트의 압축강도는 240kgf/cm^2 으로 철골의 재질은 SS400으로 가정한다.



(a) 평면도



(b) A-A열 단면도

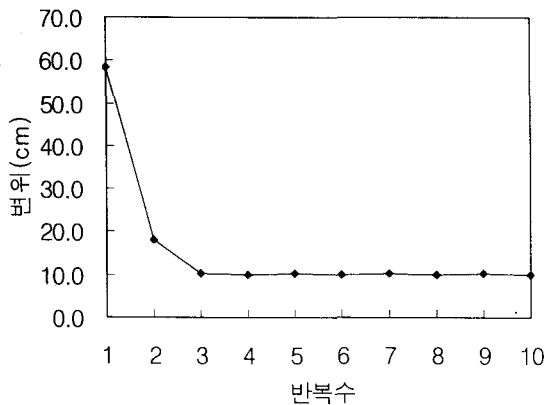
〈그림 5〉 20층 적용예제모델

〈표 5〉 초기부재크기

부재종류	단면크기
기둥	■-400x400, H-200x200x10x10
보	폭: 200, 춤: 400
전단벽	두께: 200, 길이: 6000

횡변위제어 과정에서 재설계되는 골조부재의 단면 크기는 초기에 주어진 단면과 형상의 비율이 같다고 가정하여 산정하며 매 층마다 부재종류별로 같은 그룹으로 설정한다. 또한 전단벽은 부재두께만이 재조정되도록 한다. 허용최상층변위는 건물전체높이의 1/600인 10.0cm로 하고, 최적설계의 수렴은 제어된 횡변위와 제어하려는 횡변위의 차이가 0.5%이내 일 때 만족되는 것으로 가정한다.

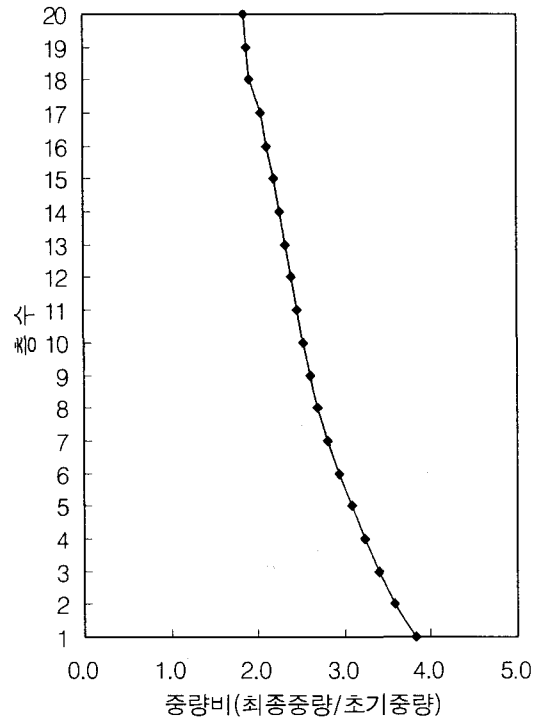
표 6과 그림 6은 반복과정에 따른 변위이력을 나타낸 것이다. 적용예제의 초기변위가 58.3cm였는데, 10회의 반복과정을 통해 목표값으로 안정적으로 수렴됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 제안된 설계 알고리즘내에 근사화 개념이 도입되어 수학적계획법을 보완함으로써 변위가 안정적으로 제어될 뿐만 아니라 합성부재를 이용한 고층건물과 같은 큰 규모의 문제도 적은 반복과정으로 풀려질 수 있음을 보여준다.



〈그림 6〉 반복과정에 따른 변위이력

그림 7은 층별 중량비(최종중량/초기중량)를 나타낸 것인데, 저층부분에서 많은 물량이 요구되며 고층으로 갈수록 물량변동이 적음을 알 수 있다. 즉 횡하중에 의해 발생하는 변형에 대한 저항성능을 확보하기 위해선 구조물의 낮은 층이 횡강성을 증대시

키는 것이 효과적임을 알 수 있다.



〈그림 7〉 층별 중량비

6. 결론

본 연구에서는 합성부재를 이용한 전단벽-골조 구조시스템의 정량적인 횡변위제어를 위해 근사화 개념 및 민감도해석기법을 이용한 최적화방안을 제시하였으며, 알고리즘의 효용성을 검토하기위해 예제에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

본 연구에서 제시된 횡변위 제어 알고리즘은 합성부재를 이용한 고층구조물 예제에 대해 10회 이내의 적은 반복과정을 통해 허용변위로 수렴을 보여줌으로써 안정적인 최적제어 결과를 나타내고 있다. 이는 제안된 최적화 알고리즘내에 근사화 개념이 도입되어 수학적계획법을 보완함으로써 변위가 안정적으로 제어될 뿐만 아니라 고층건물과 같은 큰 규모의 문제도 적은 반복과정으로 풀려지는 것으로 사료된다. 아울러 설계 및 시공상의 효율성을 증가시키기 위해 층별 부재그룹화 기법을 도입하였으며, 이를 통해 계산량과 계산시간의 감소효과도 얻을 수

있었다. 특히 본 연구결과를 통해 합성부재뿐만 아니라 서로 다른 횡저항 시스템을 혼합 적용한 경우에도 제안된 알고리즘을 효과적으로 적용할 수 있으며, 이에 따라 고층건물의 초기설계시 횡저항시스템의 대안 생성에 큰 도움을 줄 것으로 판단된다.

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