

수평하중을 받는 고층철골가새골조의 정량적인 횡변위제어에 관한 연구

A Study on Quantitative Lateral Drift Control of Tall Steel Braced Frames subject to Horizontal Loads

김 호 수¹⁾ · 이 한 주²⁾

Kim, Ho-Soo Lee, Han-Joo

요 약: 본 연구는 수평하중을 받는 고층철골가새골조의 횡변위를 정량적으로 제어하는 효율적인 최적화 기법을 제시한다. 이를 위해 철골가새골조의 거동특성에 근거한 변위 민감도를 구성하고 수학적계획법의 일반성을 유지하면서 규모가 큰 문제도 효율적으로 다룰 수 있는 근사화 개념이 도입된다. 아울러 단면 재선정시 상용화된 표준철골단면을 이용하는 이산형 최적화 방안도 고려한다. 제시된 기법의 효율성을 검토하기 위해 세 가지 종류의 12층 철골가새골조와 30층의 가새보강된 철골조 모델이 고려된다.

ABSTRACT: This study presents an effective optimal technique to control quantitatively lateral drift for tall steel braced frames subject to horizontal loads. In this paper, the displacement sensitivity depending on behavior characteristics of steel braced frames is established, and also the approximation concept that has the generality of the mathematical programming and can efficiently solve large scale problems is introduced. Especially, the commercially available standard steel sections are used for the discrete selection of member sizes. Three types of 12-story braced frames and a 30-story braced framework are presented to illustrate the features of the quantitative lateral drift control technique proposed in this study.

핵심용어: 철골가새골조, 수평하중, 횡변위제어, 민감도 해석, 최적설계, 근사화 개념
KEYWORDS: Steel Braced Frames, Horizontal Load, Lateral Drift Control, Sensitivity Analysis, Optimal Design, Approximation Concept

1. 서론

고층구조물의 설계에 있어서 주요 관심사는 횡하중에 의해 발생하는 횡변위를 적절히 제어하고 그에 따른 강성을 제공하는 일이다. 이러한 횡변

위를 제어하기 위해서는 횡력에 대한 저항요소가 필요하게 되며 저항요소의 적정성 여부는 구조물 전체의 경제성과 바로 직결된다. 횡하중 저항시스템이 고려된 고층철골구조물은 보통 수많은 부재들로 구성되어 있다. 이러한 구조물의 횡변위

1) 정회원, 청주대 건축공학과 부교수, 공학박사
2) 청주대 건축공학과 박사과정

본 논문에 대한 토의를 2001년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

제어설계시 엔지니어의 감각에 의존한 초기가정과 구조물의 강성이나 부재배치를 달리하며 반복해석을 하는 기존의 시행착오적인 방법으로 횡변위 구속조건을 만족시키도록 부재들의 단면크기를 정하는 일은 매우 복잡하고 어려운 문제일 뿐만 아니라 그 어려움과 투자시간에 비해 결과가 그다지 만족스럽지 못할 경우가 발생하게 된다. 그러므로 횡하중의 저항에 효과적인 부재를 어느 위치에 어느 정도의 양을 첨가해야 하는지, 횡변위제어에 효과적인 횡하중 저항시스템은 어느 것이며 이의 효율적인 재설계 방안을 어떻게 수행해야 하는지에 대한 예비적인 안목을 줄 수 있는 효율적인 최적설계방안이 필요한 상황이다.

이를 해결하기 위한 기존의 방법중 초기의 수학적계획법⁹⁾은 정확한 이론적 기초와 어느 형태의 제약조건도 고려할 수 있는 일반성이라는 장점을 가지고 있다. 그러나 비교적 간단한 문제에서조차 많은 비용을 유발시키고 문제의 규모가 커질 경우 계산시간의 급격한 증가 때문에 적용상 어려움이 많았다. 이에 비해 최적정기준법^{1),2)}은 문제의 규모에 상대적으로 영향을 덜 받고 최적설계에 가까운 값을 제공하는 이점이 있으나 이는 명확한 이론적 기초가 없고 종종 최적해에 도달하지 못하는 경우가 발생하였다. 따라서 최근엔 근사화 개념을 도입하여 수학적계획법을 보완함으로써 최적화 문제를 계산상 보다 효율적으로 해결할 수 있는 방안이 강구되고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 고층건물의 설계에서 많이 사용되고 있는 횡하중 저항시스템중의 하나인 철골가새골조에 대하여 횡변위를 정량적으로 직접 제어할 수 있는 기법을 제시하고자 한다. 이를 위해 가새철골조의 거동특성에 따른 민감도를 구성하고 변위구속조건에 근사화 개념을 도입함으로써 초기의 최적화 문제를 간단한 대수학적인 형태를 갖는 근사화된 양함수형태의 문제로 대체한다. 아울러 단면 재선정시 상용화된 표준철골단면을 이용하는 이산형 최적화 방안도 고려된다.

고층건물의 강성설계를 위한 횡변위 기준은 특

별히 정해진 값은 없지만 전체횡변위 또는 층간횡변위에 대한 허용값이 보편적으로 건물높이 또는 층높이의 비율로서 사용되고 있으며 그 값은 보통 1/600~1/200 정도이다. 또한 제시된 기법의 효율성을 검토하기 위하여 세 가지 종류의 12층 가새철골조와 30층의 가새보강된 철골조 모델이 고려된다.

2. 변위민감도

어느 부재의 단면적 변화가 제어하려는 절점의 횡변위에 미치는 영향을 안다면 이 영향의 정도에 따라 각 부재의 단면적을 알맞게 조절함으로써 고층 철골가새골조의 횡변위를 정량적으로 제어할 수 있다. 이러한 영향의 정도는 민감도해석을 통해 알아낼 수 있는데 본 연구에서는 특히 설계변수에 비해 구속조건수가 적을 때 효율적인 가상하중법을 이용하여 변위민감도를 구성하고자 한다.

2.1 부재의 강성행렬과 단면적과의 관계식

상용화된 표준철골단면은 다음 (1)식과 같은 관계식을 이용하여 각 단면의 단면적 a 와 단면이차모멘트 I 를 연관지을 수 있다.

$$I = ka \quad (1)$$

여기서 k 는 표준단면 데이터를 이용하여 각 단면의 단면이차모멘트를 단면적으로 나눔으로써 직접 구할 수 있다.

축강성과 휨강성이 조합된 부재 i 의 강성행렬은 (2)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_i = K_i^A a_i + K_i^I I_i \quad (2)$$

여기서, K_i^A 와 K_i^I 는 각각 부재 i 의 축강성과 휨강성과 관련된 상수행렬이다. 식 (2)에 위의 단면 관계식 (1)을 대입하면 (3)식과 같이 된다.

$$K_i = K_i^A a_i + K_i^I(k_i) a_i = K_i^* a_i \quad (3)$$

여기서 $K_i^* = K_i^A + K_i^I k_i$ 이다.

이와 같이 축강성과 휨강성이 조합된 보와 기둥 부재의 강성행렬은 단면적 a_i 에 대한 선형화된 형태로 나타낼 수 있다.

2.2 철골가새골조의 변위 민감도

정적구조해석에서 평형조건식은 식 (4)와 같이 정의된다.

$$Ku = p \quad (4)$$

여기서 K 는 전체강성행렬, u 와 p 는 각각 그에 따른 변위벡터와 하중벡터를 나타낸다.

강성행렬을 이루는 구성요소중 일부가 변했을 때 이 변화가 구조물의 변위에 미치는 영향을 나타내기 위해서 구성요소인 단면적을 매개변수로 하여 편미분하여 정리하면 식 (5b)와 같다.

$$\frac{\partial K}{\partial a_i} u + K \frac{\partial u}{\partial a_i} = \frac{\partial p}{\partial a_i} \quad (5a)$$

$$\frac{\partial u}{\partial a_i} = -K^{-1} \frac{\partial K}{\partial a_i} u \quad (5b)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

여기서 매개변수 a_i 는 i 부재의 단면적을 나타내며, 하중 p 는 단면적 a_i 와 무관하므로 (5a)식에서 $\frac{\partial p}{\partial a_i} = 0$ 이 된다. 철골가새골조의 전체 강성행렬 K 는 (3)식을 이용하여 다음 (6)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$K = \sum_{i=1}^n (K_i^A a_i + K_i^I(k_i) a_i) = \sum_{i=1}^n K_i^* a_i \quad (6)$$

전체 강성행렬 K 를 단면적 a_i 에 대해 편미분하여 정리하면 (7)식과 같이된다.

$$\frac{\partial K}{\partial a_i} = K_i^* = \frac{K_i}{a_i} \quad (7)$$

따라서 (5b)식에 (7)식을 대입하면 다음 (8)식과 같이 된다.

$$\frac{\partial u}{\partial a_i} = -K^{-1} \left(\frac{K_i}{a_i} \right) u \quad (8)$$

또한, j 절점의 변위 u_j 는 (9)식과 같이 구조물의 전체 변위벡터 u 와 연관된다.

$$u_j = b_j^T u \quad (9)$$

여기서 b_j 는 j 절점의 변위 u_j 와 전체 변위 u 를 연관시켜주는 상관벡터로서 j 절점의 변위에 해당하는 항은 '1'이고 나머지 항은 '0'이 된다. 식 (9)를 a_i 에 대해 편미분하면 다음 (10)식과 같이 된다.

$$\frac{\partial u_j}{\partial a_i} = b_j^T \frac{\partial u}{\partial a_i} + u^T \frac{\partial b_j}{\partial a_i} = b_j^T \frac{\partial u}{\partial a_i} \quad (10)$$

벡터 b_j 는 부재단면적의 변화와 무관하므로 $\frac{\partial b_j}{\partial a_i} = 0$ 이다. 식 (9)에 가상일의 원리를 적용하면 b_j 는 가상하중벡터가 되고 가상 절점변위 u_j 에 해당하는 벡터는 (11)식과 같이 된다.

$$u_j = K^{-1} b_j \quad (11)$$

따라서 (10)식에 (8)식을 대입하고 (11)식을 고려하면 a_i 의 변화에 따른 u_j 의 민감도는 (12)

식과 같이 정리된다.

$$\frac{\partial u_j}{\partial a_i} = -\frac{1}{a_i} (u_j^T K_i u) \quad (12)$$

여기서 $u_j = j$ 절점의 변위

$u =$ 전체 변위벡터

$a_i = i$ 부재의 단면적

$K_i = i$ 부재의 강성행렬

3. 최적설계 정식화

본 연구에서는 고층철골가새골조의 횡변위를 효율적으로 제어하기 위해 수학적계획법의 일반성을 유지하면서도 큰 규모의 문제를 효율적으로 다룰 수 있는 근사화 개념을 도입하여 정식화하고 이를 풀기 위해 라그랑지 승계수법(Lagrange multiplier method)을 적용하고자 한다³⁾.

강성구속조건에 따른 고층철골가새골조의 최적화 문제는 (13)식과 같은 횡변위 구속조건을 포함하게 된다.

$$u_t - d_t h_t \leq 0 \quad (13)$$

여기서 u_t 는 최상층 횡변위, d_t 는 최상층 허용 횡변위 비, h_t 는 건물전체높이이다.

구조재해석을 하지 않고도 수정된 부재단면에 의한 변위를 근사적으로 알 수 있는 일차 테일러 전개식을 이용하여 최상층 변위는 다음 (14)식과 같이 근사화될 수 있다.

$$u_t \approx u_t^o + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial u_t}{\partial a_i} \right)^o (a_i - a_i^o) \quad (14)$$

여기서 윗첨자 'o'는 현 설계단계의 값들을 나타내며, a_i 는 최적화 과정을 통해 구해지는 다음 단

계에서의 단면적 크기이다. 또한 $\frac{\partial u_t}{\partial a_i}$ 는 (12)식을 이용하여 구할 수 있다.

근사화된 최상층 변위를 변위구속조건식에 대입하여 정리하면 다음 (15)식과 같이 된다.

$$d_t h_t - u_t^o - \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial u_t}{\partial a_i} \right)^o (a_i - a_i^o) \geq 0 \quad (15)$$

여기서 $d_t h_t - u_t^o$ 는 Δu_t 로, 변위민감도 $\frac{\partial u_t}{\partial a_i}$

는 C_{ii}^o 로 그리고 $a_i - a_i^o$ 를 Δa_i 로 대치하면 변위구속조건식은 다음 (16)식과 같이 된다.

$$\Delta u_t - \sum_{i=1}^n C_{ii}^o \Delta a_i \geq 0 \quad (16)$$

본 연구에서 제시된 설계법은 현재 단계의 최상층 변위가 허용변위와 같아지도록 제어되면서 이에 필요한 강성의 증가량이 최소가 되도록 하는 것을 목적으로 한다. 이를 식으로 나타내면 다음 (17)식과 같아진다.

$$\text{Minimize} : \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \omega_i \Delta a_i^2 \quad (17a)$$

$$\text{Subject to} : \Delta u_t - \sum_{i=1}^n C_{ii}^o \Delta a_i = 0 \quad (17b)$$

여기서 ω_i 는 부재의 중량계수(비중×부재길이)이다. 위의 최적화 문제를 라그랑지 승계수법을 이용하여 변환하면 다음 (18)식과 같다.

$$L(\Delta a_i, \lambda) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \omega_i \Delta a_i^2 + \lambda \left(\Delta u_t - \sum_{i=1}^n C_{ii}^o \Delta a_i \right) \quad (18)$$

위 (18)식의 최적화 문제에 대한 필요조건은 다음 (19)식과 같다.

$$\frac{\partial L}{\partial \Delta a_i} = \omega_i \Delta a_i - \lambda C_{it}^0 = 0 \quad (19a)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = \Delta u_t - \sum_{i=1}^n C_{it}^0 \Delta a_i = 0 \quad (19b)$$

(19a)식을 Δa_i 에 대해 정리하여 (19b)식에 대입하고 이를 다시 λ 에 대해 정리하여 (19a)식에 역대입하면 다음 (20)식이 구해진다.

$$\Delta a_i = \frac{C_{it}^0}{\omega_i \cdot \sum_{i=1}^n \frac{C_{it}^0}{\omega_i}} \cdot \Delta u_t \quad (20)$$

라그랑지 함수인 (18)식의 헤시안(Hessian) 행렬은 다음 (21)식과 같이 중량계수로 이루어지는 대각행렬이 된다. 여기서 중량계수들은 모두 양수가 되므로 위에서 구한 (20)식은 최적해가 된다.

$$H = \begin{bmatrix} \omega_1 & & & 0 \\ & \omega_2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \omega_n \end{bmatrix} \quad (21)$$

($\omega_i > 0, i = 1, 2, \dots, n$)

만일 서로 다른 중량계수를 가진 두 부재의 단위 단면증가가 최상층 변위에 똑같은 영향을 미친다면 변위제어에 있어서 두 부재를 똑같이 단면을 증대시키는 것보다 중량계수가 작은 부재를 큰 부재보다 더 증가시키는 것이 경제적으로 더 큰 이점이 있다. 이러한 관점에서 위 (20)식에 나타난 중량계수에 대한 영향은 합당하게 반영된 것이라 사료되며, 이러한 중량계수에 대한 영향을 고려함으로써 최소강성뿐만 아니라 최소중량에 대한 사항도 함께 포함하게 된다.

이와 같은 고층철골가새골조의 횡변위를 정량적으로 제어하는 강성최적설계는 다음과 같은 과정으로 이루어진다.

1) 먼저 초기 부재단면크기를 가정한다. 주로 허

용된 단면범주 이내에서 가장 작은 단면으로 가정된다.

- 2) 구조해석을 수행하여 전체변위를 구한다.
- 3) 구해진 변위를 가지고 수렴성 검토를 수행한다. 허용변위와 현단계에서 구해진 최상층변위의 차이가 허용범위(본 연구에선 허용변위의 0.5%)이내인지를 검토한다.
- 4) 만일 수렴조건이 만족되지 않았다면 설계 민감도 해석을 수행하고 Δa_i 를 구한다.
- 5) 구해진 Δa_i 에 현재 단계의 단면적을 더한다. 더해진 단면크기가 허용 단면범주내의 최소단면크기 이하인 것은 최소단면으로 대입하고, 최대단면크기 이상이 되는 것은 최대단면으로 대입한다.
- 6) 표준철골단면 데이터로부터 이산형 단면을 선정한다.

위와 같이 이산형 단면이 선정되면 다시 단계 2로 되돌아가서 수렴조건이 만족될 때까지 단계 2부터 단계 6까지 과정을 반복한다. 이와 과정을 흐름도로 나타내면 그림 1과 같다.

4. 해석모델 및 결과분석

본 연구에서 제시된 고층철골가새골조의 횡변위 제어방안의 효율성을 비교·검토하기 위하여 세가지 형태의 12층 철골가새골조와 5베이 30층의 가새보강된 철골조가 고려된다. 여기서 12층철골가새골조는 설계결과를 기존의 상용화된 최적설계 프로그램인 SODA(Structural Optimization Design and Analysis)⁴⁾ 프로그램과 비교·검토하고자 한다. 또한, 30층의 가새보강된 철골조는 초기에 SODA를 이용하여 강도구속조건에 근거한 설계를 수행함으로써 초기단면크기를 결정 한 후 본 연구에서 제시된 강성최적설계에 근거하여 횡하중 저항시스템인 가새골조만을 재설계함으로써 횡변위를 제어하고자 한다.

적용된 풍하중은 Grierson과 Chan^{1),2)}에 의해

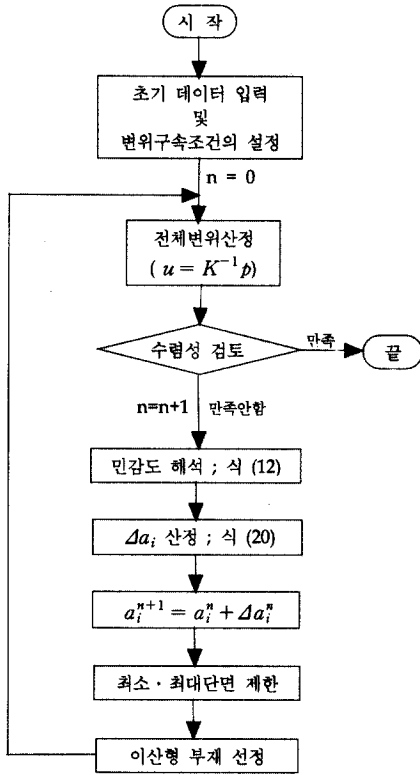


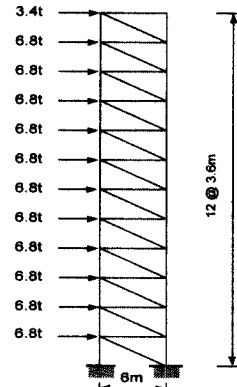
그림 1. 설계흐름도

제시된 예제를 참조하여 각 층의 레벨에서 수평집중하중으로 작용하는 것으로 계산하였다. 모든 예제의 탄성계수는 $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 이며, 부재크기를 선정하기 위하여 미국 AISC 표준 Wide-Flange W 철골단면⁵⁾중 W14와 W24단면이 사용되었다.

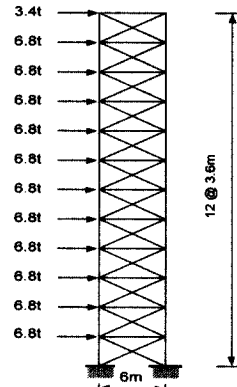
4.1 12층 철골가새골조

그림 2와 같이 층고 3.6m, 베이간격 6m인 Pratt(이하 P형), X형, K형 가새를 가지는 12층 철골가새골조가 고려된다. 각 구조물의 폭에 대한 높이의 비는 7.2이다.

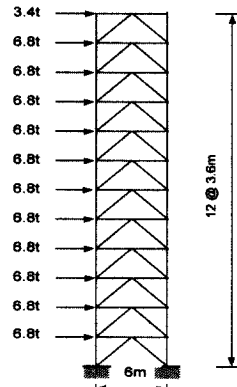
프레임을 구성하는 모든 보와 기둥은 강철점으로 연결되어 있으며 가새부재는 힌지절점으로 연결되어 있다. 허용최상층변위는 건물전체높이의



(a) P형 가새



(b) X형 가새



(c) K형 가새

그림 2. 12층 철골가새골조모델

1/400인 10.8cm로 한다. 최적설계의 수렴은 제어된 횡변위와 제어하려는 횡변위의 차이가 0.5% 이내일 때 만족되는 것으로 가정한다. 또한 초기의 단면값은 각 구조물의 모든 부재를 허용범위 중 최소값인 W14×22로 가정한다.

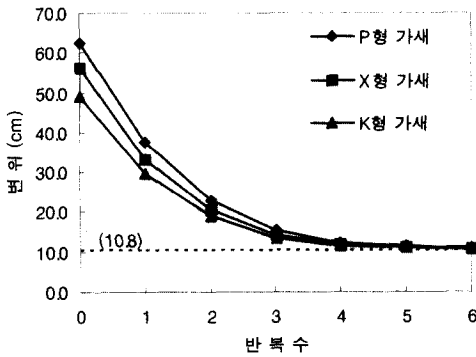


그림 3. 반복과정에 따른 변위이력

표 2. 최종중량비교 (단위 : ton)

가새종류 설계법	P형 가새	X형 가새	K형 가새
제안된	26.3	23.0	20.1
설계법(1)	(10.78)	(10.76)	(10.67)
SODA	31.3	23.3	18.7
설계법(2)	(10.92)	(10.76)	(10.72)
차이(%) (1)과 (2)	-19.0%	-1.3%	+6.9%

()의 값은 최종변위값이며 단위는 cm이다.

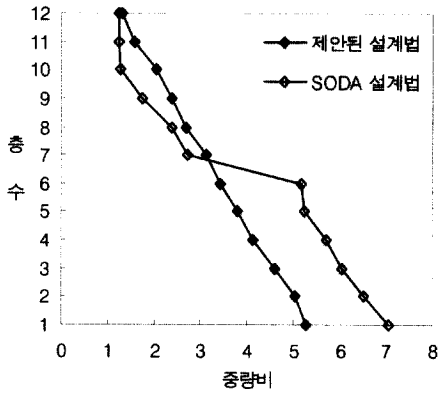
그림 3은 각 구조물의 반복과정에 따른 제어된 변위를 나타낸 것인데 P형, X형, K형 철골가새 골조 모두 6회의 반복과정으로 수렴이 얻어졌으며 수렴되는 동안 안정적으로 변위가 제어되는 것이 보여진다.

표 1은 12층 철골가새골조의 최종단면을 나타낸 것이고, 표 2는 본 연구에서 제안된 설계법과 SODA설계법에 의한 최종중량을 나타낸 것이다. 또한 최종중량은 제안된 설계법 및 SODA 설계법 모두 이산형 최적설계값으로 비교되었다. 그림 4는 초기중량에 대한 최종중량비를 가새의 종류별로 나타낸 것이다.

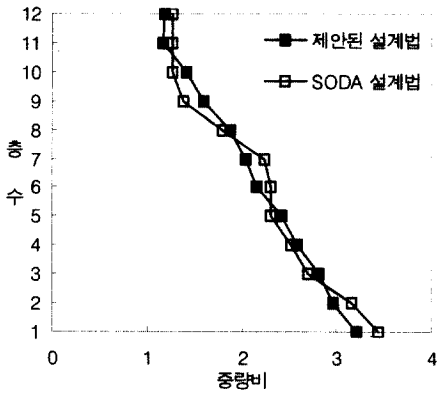
최종중량결과를 살펴보면 P형 가새는 19.0%, X형 가새는 1.3%로 제안된 설계법이 SODA에 의한 설계보다 더 적은 것으로 나타났으며, K형 가새는 6.9% 더 많은 것으로 나타났으나 그 차이는 크지 않음을 알 수 있다. 특히, 그림 4의 중량비를 살펴보면 모든 모델에 대해서 본 연구에서 제안된 설계법이 SODA에 의한 결과에 비해 저층에서 고층으로 갈수록 더욱 안정적으로 줄어드는 것을 보여준다. 실제 건물의 시공성을 고려해 볼 때 층별 물량의 차이가 많거나 변동이 심한 것보다 변동이 없으면서 저층에서 고층으로 갈수록 차츰차츰 줄어드는 것이 더욱 바람직할 것이다. 또한 최종물량을 비교해보면 두 설계법 모두 K형

표 1. 12층 철골가새골조의 최종단면

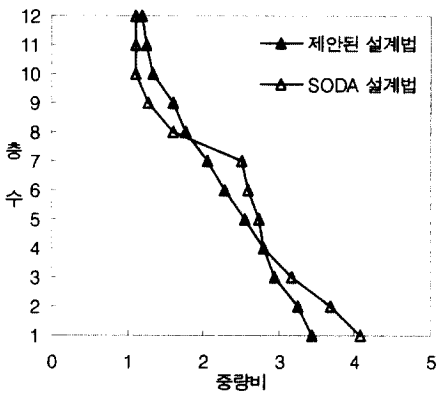
층수	P형 가새골조			K형 가새골조			X형 가새골조		
	기둥	보	가새	기둥	보	가새	기둥	보	가새
1	W24×207	W14×68	W14×74	W24×146	W14×38	W14×48	W24×162	W14×26	W14×43
2	W24×192	W14×68	W14×74	W24×131	W14×38	W14×48	W24×146	W14×26	W14×43
3	W24×176	W14×61	W14×68	W14×120	W14×34	W14×43	W14×145	W14×26	W14×38
4	W24×146	W14×61	W14×68	W14×109	W14×34	W14×43	W14×120	W14×26	W14×38
5	W24×131	W14×61	W14×61	W14×99	W14×34	W14×43	W14×109	W14×26	W14×38
6	W24×117	W14×53	W14×61	W14×82	W14×34	W14×38	W14×90	W14×26	W14×34
7	W14×99	W14×53	W14×61	W14×68	W14×30	W14×38	W14×82	W14×26	W14×34
8	W14×82	W14×48	W14×53	W14×53	W14×30	W14×34	W14×68	W14×26	W14×34
9	W14×68	W14×48	W14×48	W14×43	W14×30	W14×34	W14×53	W14×26	W14×30
10	W14×53	W14×43	W14×43	W14×30	W14×30	W14×30	W14×38	W14×26	W14×30
11	W14×34	W14×38	W14×38	W14×26	W14×26	W14×30	W14×30	W14×22	W14×26
12	W14×26	W14×30	W14×30	W14×26	W14×26	W14×26	W14×26	W14×26	W14×26



(a) P형 가새



(b) X형 가새



(c) K형 가새

그림 4. 12층 철골가새골조의 중량비
(최중중량/초기중량)

철골가새골조가 적용예제 중에서 가장 효율적으로 횡변위를 제어하고 다음으로 X형, P형 철골가새골조의 순서로 나타났다.

다음 표 3은 각 구조물의 횡변위를 제어하기 위해 증가된 구조물 전체중량에 대한 부재종류별 기여도를 나타낸 것인데 세 가지 모델 모두 기둥의 기여도가 가장 많고 그 다음엔 가새부재 그리고 보의 순서로 기여를 하는 것으로 나타났다. 특히 보에 있어서 X형, K형은 약 10%, P형 가새는 약 20% 정도 이내의 아주 적은 기여를 하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 제시된 설계법을 사용하여 횡변위를 제어함에 있어서 경우에 따라 기여도가 가장 큰 기둥이나 기둥과 가새부재 등에 대해서만 재설계를 수행함으로써 계산량 및 계산시간면에서 더 많은 절감효과를 얻을 수 있다.

표 3. 총중량증가에 대한 부재종류별 기여도(%)
(해당부재중량의 증가량/전체중량의 증가량)

부재 \ 가새종류	P형	X형	K형
보	18.09	3.34	8.99
기둥	57.87	71.10	66.28
가새	24.03	25.55	24.71

4.2 30층 가새보강된 철골조

본 예제는 그림 5와 같은 층고 3.6m, 베이간격 6m인 5베이 30층 구조물로 중앙베이에 가새 및 가새와 연결된 보, 기둥으로 구성된 가새시스템이 놓여있고, 양측은 보와 기둥으로 구성된 프레임시스템으로 구성되어 있다. 프레임을 구성하는 모든 보와 기둥은 강절점으로 연결되어 있으며 X형 가새의 가새부재들은 힌지절점으로 연결되어 있다. 허용최상층변위는 전체건물높이의 1/400인 27cm로 한다.

본 예제의 횡변위를 제어하기 위하여 먼저 강도 구속조건에 근거한 초기설계를 수행하고 이로부터 나온 단면을 초기단면으로 하여 횡변위 제어를 수행하는데 반복과정에 의한 단면재설계는 중력하중 저항시스템인 프레임시스템 부재들의 초기단면은 그대로 유지하고 횡하중 저항시스템인 가새시스템

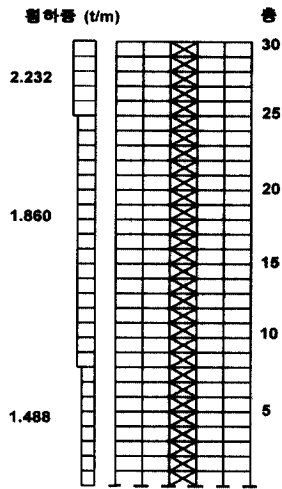


그림 5. 5베이 30층 가새보강된 철골조

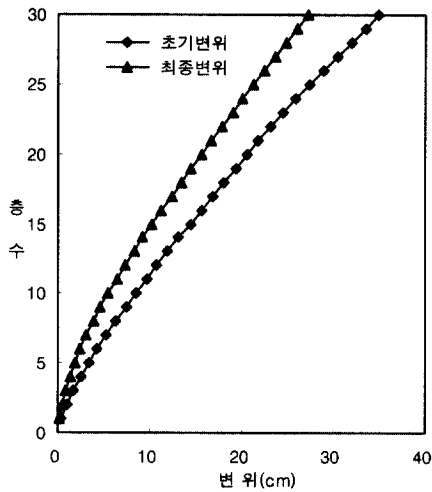


그림 6. 5베이 30층 가새보강된 철골조의 층별 초기변위 및 최종변위

의 부재들만 채설제하는 것으로 고려 하였다.

그림 6은 본 예제의 층별초기변위와 최종변위를 보여주는데 최종변위값이 허용값 이내로 제어됨을 알 수 있다. 그림 7은 구조물의 반복과정에 따른 제어된 변위를 나타낸 것인데 4회의 반복과정으로 수렴이 얻어졌고, 12층 철골가새골조의 경우와 마찬가지로 모든 반복과정에서 안정되게 변위

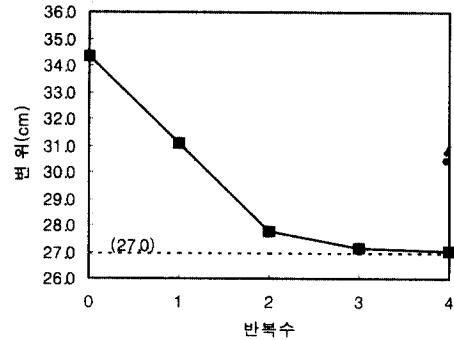


그림 7. 반복과정에 따른 변위이력

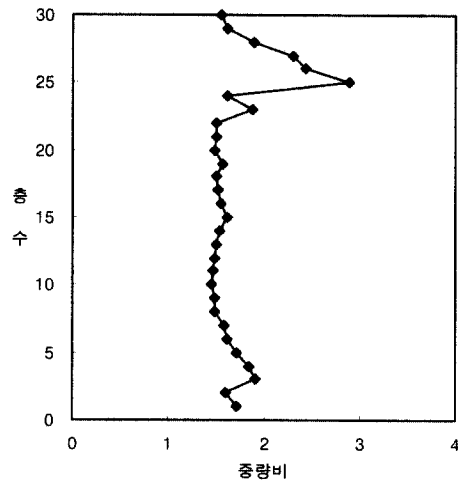


그림 8. 층별 증량비(최종증량/초기증량)

를 제어하는 것으로 보여진다. 그림 8은 층별 초기증량에 대한 최종증량의 비를 나타내는데 저층 부분에서 많은 물량이 요구되며 고층으로 갈수록 물량변동이 적음을 알 수 있다. 특히, 25층 부분에서 많은 증가량을 보여주는데 이는 고층철골가새골조의 횡변위제어를 위해선 이 부분의 강성을 증대시키는 것이 효율적임을 제시해 준다.

표 4는 구조물의 횡변위를 제어하기 위해 증가된 구조물 전체증량에 대한 부재종류별 기여도를 나타낸 것인데 12층의 경우와 마찬가지로 기둥의 기여도가 가장 많고 그 다음엔 가새부재 그리고 보의 순서로 기여를 하는 것으로 나타났다. 따라서 가새보

강된 철골조의 경우도 횡변위 제어를 하는데 90% 이상 기여하는 기둥과 가새부재만을 재설계함으로써 계산상 많은 절감효과를 얻을 수 있다.

표 4. 총중량증가에 대한 부재종류별 기여도(%)
(해당부재중량의 증가량/전체중량의 증가량)

부재	보	기둥	가새
기여도	6.25	55.76	37.98

5. 결론

본 연구에서는 제시된 고층철골가새골조의 정량적인 횡변위제어방안을 예제에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 연구에서 제시한 설계법은 적용된 모든 예제에 대해 안정적으로 횡변위를 제어하는 것으로 나타났으며 모두 6회이내의 반복과정으로 수렴되는 것으로 나타났다.
- 2) 12층 철골가새골조예제의 경우 제시된 설계법에 의한 최종중량은 SODA설계법에 비해 대체적으로 비슷하거나 오히려 절감되는 것을 보여주었다. 이와 아울러 제안된 설계법이 SODA 설계법에 의한 것보다 층별물량증가에 있어서 층별변동이 적고 저층에서 고층으로 갈수록 물량을 점진적으로 줄여줌으로써 실용적인 측면에서 효과가 클 것으로 판단된다.
- 3) 강도구속조건에 근거한 초기설계를 수행한 후 결과로써 구해지는 초기의 횡변위가 허용횡변위를 초과하는 경우 이를 제어하는데 있어서 설계자는 전체 구조물의 모든 부재의 크기를 재설정하는 대신 단지 횡하중저항시스템의 부재들의 크기만 재설계할 수 있는 유연성을 제공해 준다.
- 4) 제시된 설계법에 의한 결과는 고층철골가새골조의 횡하중에 대한 횡변위를 더 효과적으로 저항하기 위해서는 낮은 층의 레벨에서의 가새시스템의 축강성 및 소요물량이 더 많이 증가되어야 한다는 것을 보여준다.
- 5) 횡변위 제어에 있어서 부재의 기여도를 살펴보면 기둥의 기여도가 가장 크고 다음에 가새 그리고 보의 순서로 나타났다. 이러한 기여도

를 이용하여 기둥 또는 기둥과 가새부재만을 재설계함으로써 계산량이나 계산시간에 대한 효율성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- (1) Grierson, D.E. and Chan, C.M., 1993, An Optimality Criteria Design Method for Tall Buildings, Advances in Engineering Software, Vol.16, pp.119-125
- (2) Grierson, D.E. and Chan, C.M., 1993, An Efficient Resizing Technique for the Design of Tall Steel Buildings subject to Multiple Drift Constraints, Int. J. of Structural Design of Tall Buildings, Vol.2, pp.17-32
- (3) Kirsch, U., 1993, Structural Optimization, Springer-Verlag, Berlin
- (4) 1996, SODA User Manual-Structural Optimization Design & Analysis Software for Structural Engineering, Acronym Software Inc., Canada
- (5) 1989, Manual of Steel Construction, Allowable Stress Design, American Institute of Steel Construction Inc.
- (6) Kim CK, Kim HS, Hwang JS, Hong SM, 1998, Stiffness-based optimal design of tall steel frameworks subject to lateral loading, Structural Optimization, Vol.15, pp.180-186
- (7) Schmit, L. A. and Farshi, B., 1974, Some Approximation Concepts for Structural Synthesis, AIAA Journal, Vol. 11, pp.489-494
- (8) Kirsch, U., 1991, Reduced Basis Approximations of Structural Displacements for Optimal Design, AIAA Journal, Vol. 29, pp.1751-1758
- (9) Moses, F., 1964, Optimum Structural Design using Linear Programming, ASCE, J. of Structural Division, Vol. 90, No. ST6

(접수일자 : 2000년 6월 22일)