

고층 전단벽 코어구조시스템의 횡변위 제어방안

Lateral Drift Control Technique of High-Rise Shear Wall Core Structural System

한승백* 강명희* 남경연* 이성수* 이한주** 김호수***
Han, Seong-baek Kang, Myoung-Hee Nam, Kyung-Yun Lee, Seong-Su Lee, Han-Joo Kim, Ho-Soo

요약

본 연구는 고층 구조물의 횡변위를 정량적으로 제어할 수 있는 효율적인 횡변위 제어 최적화기술을 제시하고자한다. 이를 위해 최적화 알고리즘의 정식화 과정이 제안되며 이를 바탕으로 횡변위제어 최적화 프로그램이 개발된다. 본 연구에서 제시한 횡변위 제어기술의 효용성을 검토하기 위해 130층 전단벽 코어 모델을 고려하였다.

Abstract

This study presents the efficient lateral drift control optimal technique that can control quantitatively lateral drift of high-rise structures. To this end, optimal design algorithm is formulated and then lateral drift control optimal program is developed. The 130 story shear wall core model is considered to illustrate the features of lateral drift control technique proposed in this study

키워드 : 횡변위 제어기술, 최적화 알고리즘, 고층 전단벽 코어구조시스템

Keywords : Lateral Drift Control Technique, Optimization Algorithm, High-Rise Shear Wall Core Structural System

1. 서론

고층 구조물은 일반적으로 중력방향 하중보다 풍하중, 지진하중과 같은 횡하중이 설계에 더 큰 영향을 미치므로 횡력에 대한 저항성능의 확보를 위한 횡하중 저항시스템의 적용방안이 매우 중요하다. 하지만 현재 건축구조 실무에서 초고층 구조물의 횡변위 제어는 구조설계사의 경험과 수차례의 반복해석에 의한 시행착오적인 방법에 의존하고 있다. 이와 같이 실무에서 정성적이고 시행착오적인 방법에서 벗어나 고층 구조물의 횡변위를 정량적으로 제어할 수 있는 횡변위 제어 최적화기술을 정식화하

기 위한 방안이 절실히 요구된다.

따라서 본 연구에서는 횡변위를 정량적으로 제어할 수 있는 효율적인 횡변위 제어기술을 제시하고, 이를 검토하기 위해 130층 전단벽 코어구조시스템 모델을 적용하고자 한다.

2. 횡변위 제어를 위한 설계정식화

2.1 변위민감도 해석

임의 부재의 단면적 변화가 제어하려는 횡변위에 미치는 영향을 안다면 이 영향의 정도에 따라 각 부재의 단면적을 알맞게 조절함으로써 고층 구조물의 횡변위를 정량적으로 제어할 수 있다. 이러한 영향의 정도는 민감도해석을 통해 알아낼 수 있는데 본 연구에서는 가상하중법을 이용하여 변위민감도를 구성하였다. 여기서 가상하중법은 설계변수에 비해 구속조건수가 적을 때 효율적이다.

* 청주대학교 건축공학과 석사과정
Tel: 043-229-8483 Fax: 043-229-8483
E-mail : kotd81@hanmail.net

** (주) 아이스트 기획연구팀 차장, 공학박사
E-mail : hjlee@i-sts.co.kr

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

일반적으로 고층 구조물에 적용되는 횡변위 구속 조건에는 최상층 및 층간변위 구속조건이 있는데 본 연구에서는 (1)식과 같이 최상층 변위구속조건식을 대상으로 한다.

$$u_t(x) \leq d_t h_t \quad (1)$$

최상층 변위는 (2)식과 같이 전체 변위에 대한 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$\{u\}_t = \{b\}_t^T \{U\} \quad (2)$$

횡변위에 대한 변위민감도를 구하기 위해 (2)식을 x_i 에 대해 편미분 하여 정리하면 (3)식과 같이 된다.

$$\frac{\partial \{u\}_t}{\partial x_i} = \{b\}_t^T \cdot \frac{\partial \{U\}}{\partial x_i} \quad (3)$$

여기서, $\frac{\partial \{U\}}{\partial x_i}$ 는 전체변위에 대한 민감도로서 (4)식과 같은 평형방정식을 편미분하여 얻을 수 있다.

$$\{P\} = \{K\} \{U\} \quad (4)$$

$$\frac{\partial \{U\}}{\partial x_i} = - [K]^{-1} \frac{\partial \{K\}}{\partial x_i} \{U\} \quad (5)$$

여기서, $\{P\}$ 는 전체 하중벡터로 x_i 와는 무관한 것으로 가정한다. 또한 $[K]$ 는 구조물의 전체 강성행렬이다. 전체변위에 대한 민감도식 (5)를 (3)식에 대입하여 정리하면 (6)식과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \{u\}_t}{\partial x_i} &= - \{b\}_t^T [K]^{-1} \frac{\partial \{K\}}{\partial x_i} \{U\} \\ &= - \{V\}_t^T \frac{\partial \{K\}}{\partial x_i} \{U\} \end{aligned} \quad (6)$$

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

고층 구조물의 경우 여러 종류의 단면특성들이 구조물의 강성에 기여하게 된다. 이런 경우 적절한 단면특성관계식을 설정하여 줌으로써 전체 설계 변수

의 수를 줄여 줄 수 있다. 본 연구에서는 직사각형, 원형 등 정형적인 형상을 갖는 단면에 대해서는 정확하지만 표준철골단면에 대해서는 근사적인 특성을 갖는 (7)식과 같은 단면특성관계식을 이용한다.

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

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

이러한 단면특성관계식을 대입하여 정리하면 (8)식과 같이 요소 i 의 단면적에 대한 전체 강성행렬의 민감도를 구할 수 있다.

$$\frac{\partial [K]_T}{\partial x_i} = \sum_{k=1}^t \left[\frac{[k]_{ik}}{S_{ik}} \cdot C_{1k} \cdot C_{2k} \cdot x_i^{(C_{2k}-1)} \right] \quad (8)$$

2.2 횡변위제어 정식화

제시된 설계법은 횡변위를 목표변위로 제어하면서 구조물의 중량을 최소화하는 것을 설계목표로 한다. 이를 정식화 하면 (9)식과 같다.

$$\text{Minimize} : \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n w_i \Delta x_i^2 \quad (9a)$$

$$\text{Subject to} : \Delta u_t - \sum_{i=1}^n C_{it} \Delta x_i \geq 0 \quad (9b)$$

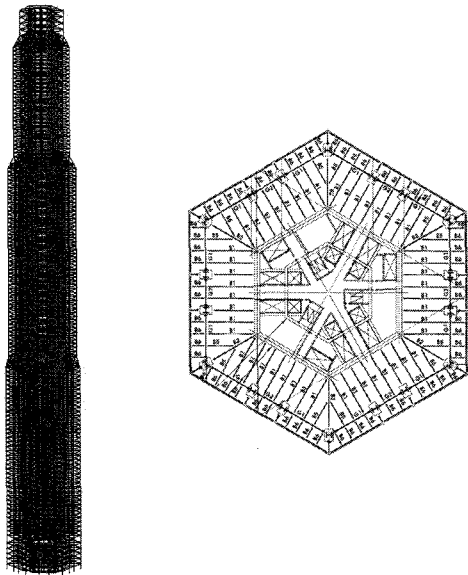
$$x_i^L \leq x_i \leq x_i^U$$

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

3. 적용예제 및 분석

본 연구에서 제시된 변위민감도 해석기법의 효율성 알아보기 위해 <그림 1>과 같이 횡력 저항시스템으로 콘크리트 전단벽 코어로 구성된 130층 모델을 고려하였다. 전체 높이가 530.4m인 모델로 세장비는 8.66이며, 프레임을 구성하는 모든 보와 기둥은 강철점으로 연결되어 있으며 가새부재는 힌지절

점으로 연결되어 있으며 전층을 24개로 나누어 그 룩핑을 실시하였다.



(a) 전단벽 코어 모델 (b) 구조평면도
 <그림 1> 130층 전단벽 코어 모델

재료의 강도는 콘크리트 50~95MPa, 강재 SM 490 TMC를 사용하였다.

설계하중을 보면 수직하중은 <표 1>과 같이 가정하였으며 지진하중 및 풍하중은 KBC 2005규정에 따라 적용하였으며, 하중산정을 위한 계수는 <표 2> 및 <표 3>과 같다.

<표 1> 수직하중 (KN/m²)

하중 용도	Dead Load	Live Load	D.L+L.L	1.4D.L +1.7L.L	1.2D.L +1.6L.L
지붕	7.90	2.00	9.90	14.46	12.68
전망대 레스토랑	5.71	5.00	10.71	16.49	14.85
호텔	6.70	2.00	8.70	12.78	11.24
주거	6.04	2.00	8.04	11.86	10.45
사무실	5.84	2.50	8.34	12.43	11.01
Hall	6.91	4.00	10.91	16.47	14.69
기계실	9.55	1.20	10.75	13.77	11.66
백화점	5.71	4.00	9.71	14.79	13.25
로비	5.71	5.00	10.71	16.49	14.85

<표 2> 지진하중 산정을 위한 적용계수

항 목	계수값
지역계수	0.11
지반종류	S _B
중요도계수	1.5
반응수정계수	5.5

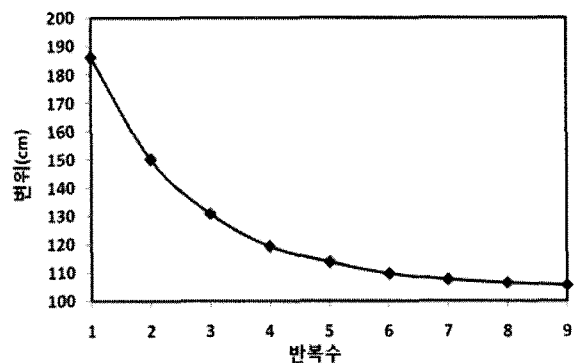
<표 3> 풍하중 산정을 위한 적용계수

항 목	계수값
기본풍속	30
노풍도	B
중요도계수	1.1
가스트 영향계수	2.2

허용최상층변위는 건물전체높이의 H/500인 106cm로 설정하고 최적설계의 수렴은 현행 횡변위와 허용최상층변위와의 차이가 허용최상층 변위의 0.5%이내일 때 만족하는 것으로 가정한다.

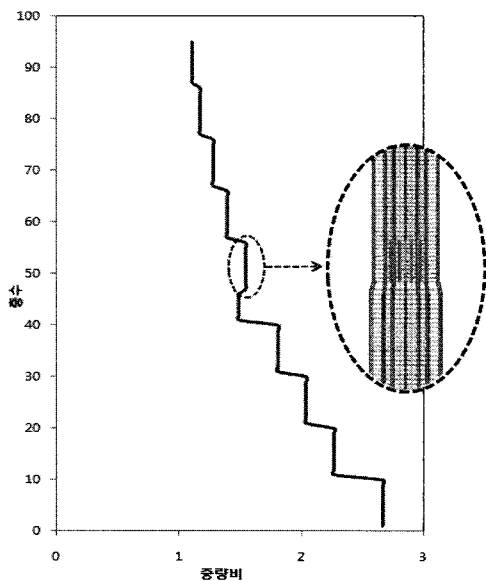
지진하중과 풍하중을 적용하여 구한 밀면전단력을 비교하여 보면 풍하중에 의해 발생된 밀면전단력 값이 108667.08KN으로 지진에 의해 발생된 밀면전단력 값인 103234.04KN 보다 크므로 풍하중값을 고려하였다. 또한 최적설계 과정에서 부재단면크기의 재산출은 횡력저항시스템으로 사용된 전단벽 코어의 두께를 변화시켰다.

본 연구에서 개발된 횡변위 제어 알고리즘을 이용하여 변위의 최적제어를 실시한 결과 <그림 2>와 같이 9회의 반복과정을 거쳐 목표제어변위인 106cm로 안정적으로 수렴되는 것으로 나타났다.



<그림 2> 최적설계 변위 이력

<그림 3>과 같이 층별 중량비를 살펴보면 저층부분에서 많은 물량이 요구되며 고층으로 갈수록 물량변동이 적음을 알 수 있다. 즉 횡하중에 의해 발생하는 변형에 대한 저항성능을 확보하기 위해선 구조물의 낮은 층의 횡강성을 증대시키는 것이 효과적임을 알 수 있다. 또한 Group 6에서 다른 Group들에 비해 중량비가 많이 증가되는 것이 보여지는데, 이는 건물의 하부와 상부의 폭이 급격하게 변하는 부분으로 그 부분에 많은 강성이 요구됨을 알 수 있다.



<그림 3> 횡하중 저항시스템의 층별 중량비

또한 횡변위 제어 최적화기술을 이용하여 제어된 최적모델의 구조시스템별 중량을 살펴보면 <표 4>와 같다.

<표 4> 구조시스템별 최적 중량 (KN)

System	Frame	Shear Wall	Total
Model			
Shear Wall	709,922	3,129,857	3,839,779
Core model			

4. 결 론

본 연구에서는 횡변위 제어기술을 이용하여 횡하중을 받는 고층 전단벽 코어 구조물의 횡변위를 정

량적으로 제어하고자 하였으며 적용 모델의 횡변위 제어를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 횡변위 제어기법을 이용하여 9회의 반복과정을 통해 안정적이고 정량적으로 적용모델의 횡변위를 제어 할 수 있었다.
- 2) 최적설계단계에서 최적 부재크기가 저층에서 고층으로 점차 줄어들므로 시공성과 실용성면에서 바람직한 것으로 판단된다.
- 3) 근사화기법이나 부재 그룹화기법을 통해 시공상, 설계상의 요구조건을 만족시킬 수 있으며 아울러 설계변수를 줄여줌으로써 계산양이나 시간면에서 큰 효율을 가져올 수 있었다.
- 4) 본 연구의 횡변위 제어기법은 고층 구조물의 초기 구조계획 및 대안 설계단계에서 구조실무에 큰 도움을 줄 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Taranath, B. (1982), Structural Analysis & Design of Tall Building, McGraw-Hill
2. Vanderplaats, G. N. (1984), Numerical Optimization Techniques for Engineering Design of Optimal with Applications, McGraw-Hill, New York
4. Kirsch, U. (1991), "Reduced Basis Approximations of Structural Displacements for Optimal Design," AIAA Journal, Vol. 29, pp.1751-1758
6. 이한주, 김호수 (2004), "변위민감도 해석을 이용한 삼차원 고층철골조 구조물의 횡변위 제어에 관한 연구," 대한건축학회 논문집, 20권 9호, pp.79-86
7. 이한주, 김호수 (2005), "수평하중을 받는 합성골조-전단벽 구조시스템의 횡변위 제어 방안," 대한건축학회 논문집, 21권 8호, pp.59-65
8. 대한건축학회 (2005), 건축구조설계기준, 기문당