

강성최적설계기법을 이용한 아웃리거 시스템의 거동특성 및 효율성 평가

Structural Behavior Characteristics and Efficiency Evaluation of Outrigger System using Stiffness-Based Optimal Design Technique

김 호 수* 이 한 주*
Kim, Ho-Soo Lee, Han-Joo

요 약

본 연구에서는 횡하중을 받는 아웃리거 시스템의 횡변위를 정량적으로 제어할 수 있는 효율적인 강성최적설계기법을 제시하고, 이를 이용하여 아웃리거 시스템의 거동특성 및 효율성을 평가하고자 한다. 이를 위해 아웃리거를 이용한 고층 구조물의 거동특성을 고려한 민감도 해석을 수행하며, 아울러 수학적계획법의 일반성을 유지하면서도, 큰 규모의 문제도 효율적으로 다룰 수 있는 근사화 개념을 도입하여 구속조건식을 설정한다. 특히 초기에 주어진 단면형상이 최적설계 과정동안 계속 유지된다는 가정을 이용하여 부재재설계 기법을 개발한다. 제시된 정량적인 횡변위 제어 방안의 효율성을 검토하기 위해 네 가지 형태의 50층 고층구조물 예제가 고려된다.

Abstract

This study presents an effective stiffness-based optimal technique to control quantitatively lateral drift and evaluate the structural behavior characteristics and efficiency for tall outrigger system subject to lateral loads. To this end, displacement sensitivity depending on behavior characteristics of outrigger system is established and approximation concept that preserves the generality of the mathematical programming and can efficiently solve large scale problems is introduced. Specifically, under the 'constant-shape' assumption, resizing technique of member is developed. Four types of 50 story frameworks are presented to illustrate the features of the quantitative lateral drift control technique proposed in this study.

한글키워드 : 강성최적설계, 근사화개념, 민감도 해석, 아웃리거 시스템.

Keywords : Stiffness-based Optimal Design, Approximation Concept, Sensitivity Analysis, Outrigger System

1. 서 론

건축 구조물이 고층화됨에 따라 일반적으로 중력방향 하중보다 풍하중, 지진하중과 같은 횡하중이 설계에 더 큰 영향을 미치므로 횡력에 대한 저항능력의 확보를 위한 횡하중 저항시스템의 적용방안이 매우 중요하다. 또한 고층구조물의 횡변위제어문제는 구조물의 사용성뿐만 아니라 이차적 응력의 유발로 인한 구조물의 안전성에도 큰 영향을 주는 중요한 요소이다.

따라서 본 연구에서는 국내에서도 많이 적용되고 있는 초고층 구조물의 횡하중 저항시스템중 하나인 아웃리거 시스템에 대해 횡변위를 정량적으로 제어할 수 있는 효율적인 강성최적설계기법을 제시하고, 이 기법을 이용하여 아웃리거 시스템의 거동특성 및 효율성을 평가하고자 한다. 이를 위해 아웃리거를 이용한 고층 구조물의 거동특성을 고려한 민감도 해석을 수행하며, 아울러 수학적계획법의 일반성을 유지하면서도, 큰 규모의 문제도 효율적으로 다룰 수 있는 근사화 개념을 도입하여 구속조건식을 설정한다. 특히 초기에 주어진 단면형상이 최적설계 과정동안 계속 유지된다는 가정을 이용하여 아웃리거 시스템의 부재재설계 기법을 개발한다. 제시된

* 정희원, 청주대학교 건축공학과, 교수, 공학박사
Tel : 043-229-8483, Fax : 043-229-8483
E-mail : hskim@cju.ac.kr

** 정희원, 청주대학교 건축공학과, 겸임교수, 공학박사
E-mail : lhanjoo@cju.ac.kr

정량적인 횡변위 제어 방안의 효율성을 검토하고 아웃리저 시스템의 거동특성 및 효율성을 파악하기 위해 네 가지 형태의 50층 고층구조물 예제가 고려된다.

2. 아웃리저시스템의 개념

아웃리저 시스템은 가새골조나 전단벽으로 구성된 내부코어를 수평방향의 캔틸레버 트러스 혹은 보로 외부기둥과 연결한 구조시스템이다. 수평하중을 받을 때, 외부기둥에 의해 구속된 아웃리저가 코어의 휨을 구속하여 전체적인 횡강성을 증가시킨다. 즉, 바람을 맞는 쪽의 기둥에는 인장력이, 그 반대편 기둥에는 압축력이 생김으로써 건물평면의 구조적인 유효폭이 커지며, 결과적으로 횡하중이 축하중으로 변환되므로 코어의 기초부에서 휨모멘트가 감소하는 효과를 얻을 수 있다. 그러나 이 시스템은 구조물의 횡강성을 증가시키는 데에는 매우 효과적이지만 전단강성을 증가시키지는 못하므로 내부코어에 의한 전단력의 흡수가 요구된다. 또한 아웃리저 트러스의 사용은 평면계획과 공간이용에 많은 제약을 주는데, 이를 해결하기 위한 방안으로 새로운 아웃리저 시스템인 오프셋 아웃리저 시스템이 제안되었다. 이와 같은 오프셋 아웃리저는 코어와 직접 연결되지 않고 다른 위치에 배치되어, 코어 아웃리저의 장점을 모두 가지면서 단점을 보완하는 역할을 한다.

기존의 코어 아웃리저 시스템에서는 외부기둥 축력이 아웃리저를 통하여 직접적으로 코어로 전달되는데 비해 오프셋 아웃리저 시스템에서는 외부기둥 축력이 우선 오프셋 아웃리저의 전단커플로 전환되며 이것이 바닥슬래브를 통하여 코어로 전달된다. 이로 인해 코어와 오프셋 아웃리저에는 코어 아웃리저 시스템에서보다 훨씬 큰 전단력이 발생한다.

3. 강성최적설계기법

3.1 횡변위구속조건식

일반적으로 아웃리저 시스템이 적용된 고층 구조물에 적용되는 횡변위 구속조건에는 최상층 및 층

간변위 구속조건이 있는데, 본 연구에서는 먼저 (1)식과 같은 최상층 변위구속조건을 대상으로 한다.

$$u_t(x) \leq d_t h_t \tag{1}$$

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 (2)식과 같이 된다.

$$d_t h_t - u_t^0 - \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial u_t}{\partial x_i} \right)^0 (x_i - x_i^0) \geq 0 \tag{2}$$

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

$d_t h_t - u_t^0$, $\left(\frac{\partial u_t}{\partial x_i} \right)^0$, $x_i - x_i^0$ 를 각각 Δu_t , C_{it} , Δx_i 로 대치하면 음함수 형태의 변위구속조건식은 (3)식과 같이 간소화된 양함수 형태가 된다. 또한 C_{it} 는 횡변위민감도로서 매 단계마다 횡변위구속조건식을 구성하기위해 재산정된다.

$$\Delta u_t - \sum_{i=1}^n C_{it} \Delta x_i \geq 0 \tag{3}$$

3.2 아웃리저 시스템의 변위민감도해석

최상층 변위는 (4)식과 같이 전체 변위에 대한 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$\{u\}_t = \{b\}_t^T \{U\} \tag{4}$$

여기서 $\{b\}_t$ 는 최상층 변위와 전체 변위를 연관시켜 주는 상관벡터이고, $\{U\}$ 는 구조물의 전체변위벡터이다. 횡변위에 대한 변위민감도를 구하기 위해 (4)식을 x_i 에 대해 편미분 하여 정리하면 (5)식과 같이 된다.

$$\frac{\partial \{u\}_t}{\partial x_i} = \{b\}_t^T \cdot \frac{\partial \{U\}}{\partial x_i} \quad (5)$$

여기서, $\frac{\partial \{U\}}{\partial x_i}$ 는 전체변위에 대한 민감도로서 (6) 식과 같은 평형방정식을 편미분하여 얻을 수 있다.

$$\{P\} = [K] \{U\} \quad (6)$$

$$\frac{\partial \{U\}}{\partial x_i} = -[K]^{-1} \frac{\partial [K]}{\partial x_i} \{U\} \quad (7)$$

여기서, $\{P\}$ 는 전체 하중벡터로 x_i 와는 무관한 것으로 가정한다. 또한 $[K]$ 는 구조물의 전체 강성행렬이다. 전체변위에 대한 민감도식 (7)을 (5)식에 대입하여 정리하면 (8)식과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \{u\}_t}{\partial x_i} &= -\{b\}_t^T [K]^{-1} \frac{\partial [K]}{\partial x_i} \{U\} \\ &= -\{V\}_t^T \frac{\partial [K]}{\partial x_i} \{U\} \end{aligned} \quad (8)$$

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

3.3 아웃리거 시스템의 단면특성관계식

아웃리거 시스템이 적용된 고층구조물의 경우 여러 종류의 단면특성들이 구조물의 강성에 기여하게 된다. 이런 경우 적절한 단면특성관계식을 설정하면 전체 설계 변수의 수를 줄여 줄 수 있다. 따라서 본 연구에서는 (9)식과 같은 단면특성관계식을 이용한다.

$$S_{ik} = C_{1k} x_i^{C_{2k}} + C_{3k} \quad (9)$$

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

3.4 아웃리거 시스템의 강성행렬 민감도 해석

전체 구조강성행렬은 식 (10)과 같이 구조물을 구성하는 각 요소들의 강성행렬의 조합으로 나타낼 수 있다. 또한 각 요소의 강성행렬은 식 (11)과 같이 강성행렬에 기여하는 단면특성에 대한 조합으로 나타낼 수 있다.

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

$$[k]_i = \sum_{k=1}^t [k]_{ik} \quad (11)$$

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 수행하기 위해 전체 강성행렬을 x_i 에 대해 편미분하여 정리하면 (12)식과 같이 된다.

$$\frac{\partial [K]_T}{\partial x_i} = \frac{\partial [k]_i}{\partial x_i} = \sum_{k=1}^t \left(\frac{\partial [k]_{ik}}{\partial x_i} \right) \quad (12)$$

여기서 $\frac{\partial [k]_{ik}}{\partial x_i}$ 는 체인룰(chain rule)을 이용하여 (13)식과 같이 유도된다.

$$\frac{\partial [k]_{ik}}{\partial x_i} = \frac{\partial [k]_{ik}}{\partial S_{ik}} \cdot \frac{\partial S_{ik}}{\partial x_i} \quad (13)$$

또한 $\frac{\partial S_{ik}}{\partial x_i}$ 는 단면특성관계식에 의해 (14)식과 같이 정리되고, $\frac{\partial [k]_{ik}}{\partial S_{ik}}$ 는 $[k]_{ik}$ 가 부설계변수인 각각의 단면특성에 대해 선형관계이므로 (15)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial S_{ik}}{\partial x_i} = C_{1k} C_{2k} x_i^{(C_{2k}-1)} \quad (14)$$

$$\frac{\partial [k]_{ik}}{\partial S_{ik}} = \frac{[k]_{ik}}{S_{ik}} \quad (15)$$

(13), (14), (15)식을 (12)식에 대입하여 정리하면 (16)식과 같이 요소 i 의 단면적에 대한 전체 강성행렬의 민감도를 구할 수 있다.

$$\frac{\partial [K]_T}{\partial x_i} = \sum_{k=1}^t \left[\frac{[k]_{ik}}{S_{ik}} \cdot C_{1k} \cdot C_{2k} \cdot x_i^{(C_{2k}-1)} \right] \quad (16)$$

3.5 설계정식화

제시된 설계법은 횡변위를 목표변위로 제어하면서 구조물의 중량을 최소화하는 것을 설계목표로 한다. 이를 정식화하면 (17)식과 같다.

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

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

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

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

최적화 문제는 (17)식으로부터 라그랑지 함수의 최소화로서 정식화된다.

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

여기서 λ 는 라그랑지 승계수이다.

최적설계과정은 구조물의 횡변위가 목표 제어값에 수렴할 때까지 (18)식을 최소화하는 반복과정과 부재단면을 재산정하는 것을 포함된다.

4. 모델 적용 및 분석

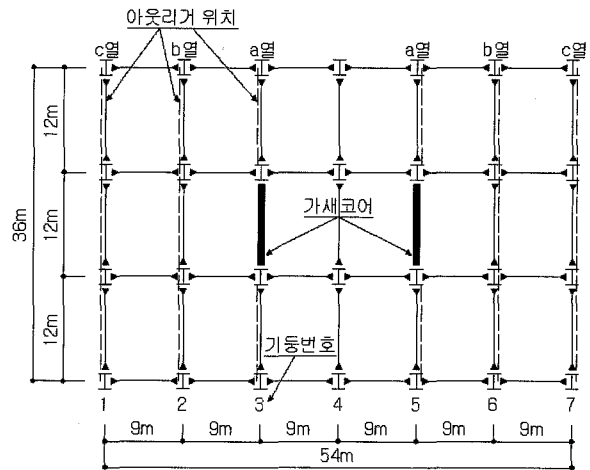
본 연구에서는 강성최적설계기법을 이용하여 코어 및 오프셋 아웃리저 시스템에 대하여 횡변위를 제어하고 이 결과를 이용하여 거동특성과 구조적 효율성을 살펴보고자 한다.

적용모델은 <그림 1>과 같이 장변 54m, 단변 36m, 높이 182m의 세장비 5.06의 순수철골조 50층 건물이며, 층고는 1층 5.5m, 아웃리저가 설치되는 25층과 50층은 6m 그리고 나머지층은 3.5m이다. 프레임을 구성하는 모든 보와 기둥은 강절점으로 연결되어 있으며 가새 및 아웃리저 트러스는 힌지절점으로 연결된다.

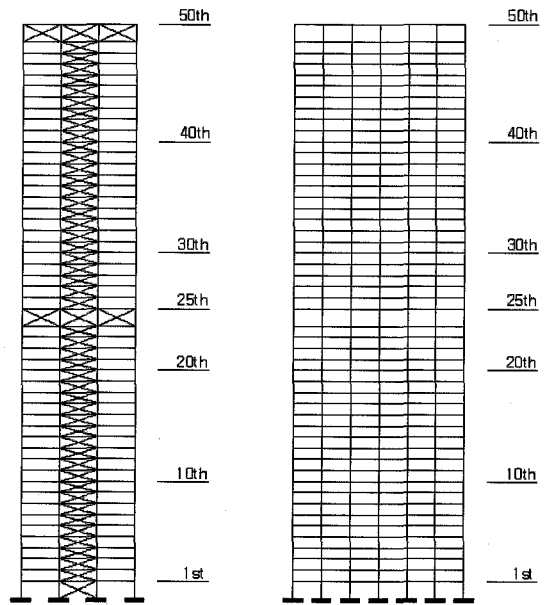
본 연구에 쓰인 아웃리저 시스템의 해석모델은 순수한 철골조로 구성되어 있으며, 구성부재의 물성표는 <표 1>과 같다.

허용최상층변위는 건물전체높이의 1/500인 36.4cm로 한다. 최적설계의 수렴은 제어된 횡변위와 제어하려는 횡변위의 차이가 0.5%이내일 때 만족되는 것으로 가정한다.

각 부재의 초기 단면크기는 <표 2>와 같으며, 부재들은 기둥, 보 및 코어 가새는 각각 5개층 단위로 같은 그룹으로 하였고, 아웃리저 트러스는 1개층 단위로 그룹핑하였다.



(a) 평면도



(b) 단변방향 입면도 (c) 장변방향 입면도

<그림 1> 아웃리저 시스템의 적용모델

<표 1> 적용모델에 사용된 강재의 물성

탄성계수	포아송비	단위중량
$2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$	0.3	$7,833 \text{ kg/m}^3$

<표 2> 초기부재 단면크기

부재종류	단면크기
기둥	H-400×400×13×21
보	H-400×200×8×13
가새	H-200×200×8×12
아웃리거	H-200×200×8×12

적용모델의 종류로 <표 3>과 같이 네 가지로 첫 번째는 가새와 아웃리거가 없는 골조구조물이고, 나머지는 아웃리거의 위치에 따라 세 가지 모델을 선정하였다.

<표 3> 적용모델의 분류

아웃리거 여부 및 위치	모델명
골조 시스템	Frame
코어(a열) 아웃리거시스템	Outrigger-A
1열(b열) 아웃리거시스템	Outrigger-B
2열(c열) 아웃리거시스템	Outrigger-C

수평풍하중은 노풍도 A, 기본풍속 35m/sec, 중요도 계수 1.0, 풍력계수는 바람이 불어오는 방향 0.8, 불어가는 방향 0.6의 총 1.4로 가정하여 각 층의 레벨에서 수평집중하중으로 작용하는 것으로 계산하였다.

먼저 강성최적설계를 적용하지 않은 초기단계에서 최상층의 단변방향 수평변위로부터 변위감소율을 구하고 이로부터 아웃리거의 효율성을 검토하였다. 변위감소율(E_d)은 아웃리거시스템의 수평변위에 대한 효율성과 같은 의미로 볼 수 있으며, 변위감소율식은 식 (19)와 같다. 여기서 Δ 는 변위를 나타낸다.

$$E_d = \frac{\Delta_{\text{골조}} - \Delta_{\text{아웃리거}}}{\Delta_{\text{골조}}} \times 100(\%) \quad (19)$$

오프셋 아웃리거 시스템의 효율성(E_{doff})은 골조 구조물의 최상층 변위에 대한 오프셋 아웃리거 시스템과 코어아웃리거 시스템의 변위차로부터 (20)식과 같이 나타낼 수 있다. 또한 층간변위비에 대한 해석결과 분석에서 층간변위비 감소율과 층간변위비에 대한 오프셋 효율성도 위와 같은 방법으로 구한다.

$$E_{\text{doff}} = \left(1 - \frac{\Delta_{\text{오프셋}} - \Delta_{\text{코어}}}{\Delta_{\text{골조}}}\right) \times 100(\%) \quad (20)$$

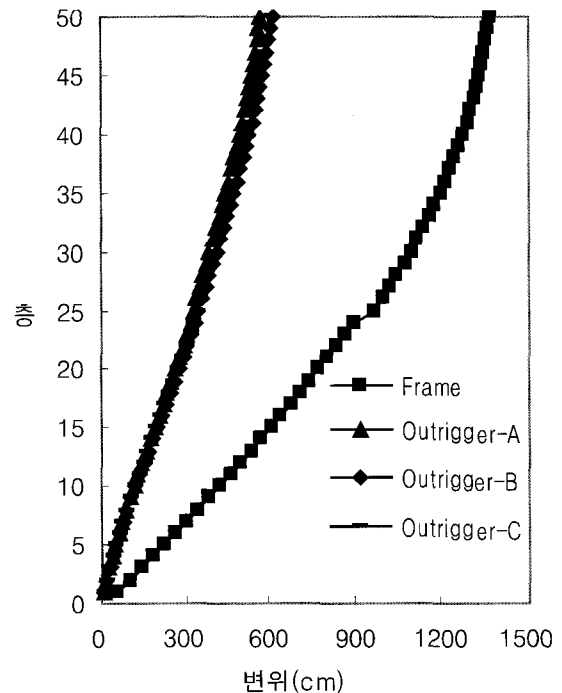
<그림 2>는 초기단계의 수평변위를 나타낸 것이고, <표 4>는 변위감소율을 나타낸 것인데, 코어 아웃리거인 Outrigger-A는 59.1%, 오프셋 아웃리거 Outrigger-B와 C는 각각 55.9%와 56.6%로 코어 아웃리거가 가장 효율적인 것으로 나타났다. 또한 표 5는 코어 아웃리거와 비교한 오프셋 아웃리거의 효율성을 나타낸 것인데, 약 2.8%정도 적은 것으로 나타났다.

<표 4> 초기단계의 수평변위 및 감소율

적용모델	수평변위(cm)	감소율(%)
Frame	1365.7	기준
Outrigger-A	559.1	59.1
Outrigger-B	602.9	55.9
Outrigger-C	592.6	56.6

<표 5> 초기단계의 수평변위 오프셋 효율성

오프셋	수평변위 오프셋 효율성(%)
1열 (b열) 오프셋	96.8
2열 (C열) 오프셋	97.5



<그림 2> 초기단계의 수평변위

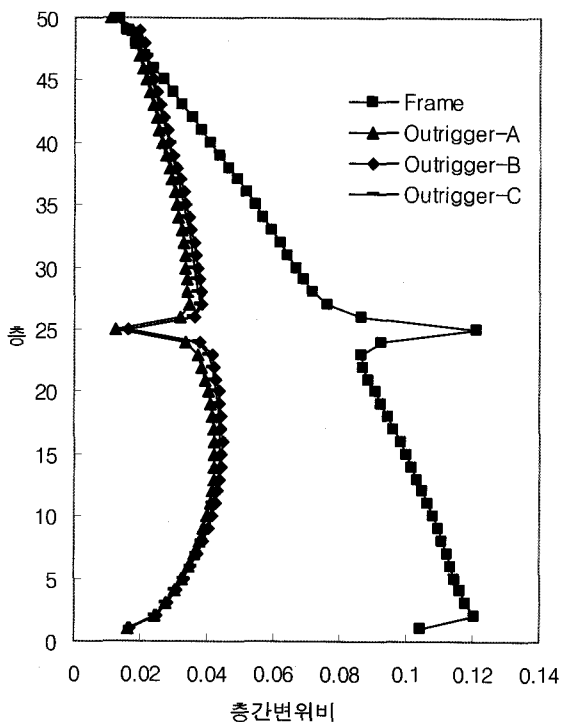
<그림 3>은 초기단계의 층간변위비를 나타낸 것이고, <표 6>는 층간변위비 감소율을 나타낸 것이다. 코어 아웃리저인 Outrigger-A는 65.1%, 오프셋 아웃리저 Outrigger-B와 C는 각각 63.1%와 63.7%로 코어 아웃리저가 가장 효율적인 것으로 나타났다. 또한 <표 7>은 코어와 오프셋 아웃리저의 효율성을 나타낸 것인데, 오프셋 아웃리저가 약 1.7%정도 적은 것으로 나타났다.

<표 6> 초기단계의 최대층간변위비

적용모델	최대층간변위비	감소율(%)
Frame	0.121	기준
Outrigger-A	0.042	65.1
Outrigger-B	0.045	63.1
Outrigger-C	0.044	63.7

<표 7> 초기단계의 층간변위비 오프셋 효율성

오프셋	층간변위비 오프셋 효율성(%)
1열 (b열) 오프셋	98.0
2열 (C열) 오프셋	98.6



<그림 3> 초기단계의 층간변위비

강성최적설계기법을 이용하여 아웃리저 시스템의 거동특성 및 효율성을 알아보기 위해 먼저 횡변위를 정량적으로 제어하고 최적설계된 단면을 이용하여 구조해석을 수행하였다. 최적단계에서는 모든 모델이 일정한 최상층 변위로 제어되었기 때문에 중량을 구하고 이로부터 아웃리저의 효율성을 검토한다. 중량감소율(E_w)은 아웃리저시스템의 수평변위에 대한 효율성과 같은 의미로 볼 수 있으며, 중량감소율식은 식 (21)과 같다. 여기서 W 는 구조물 전체 중량을 나타낸다.

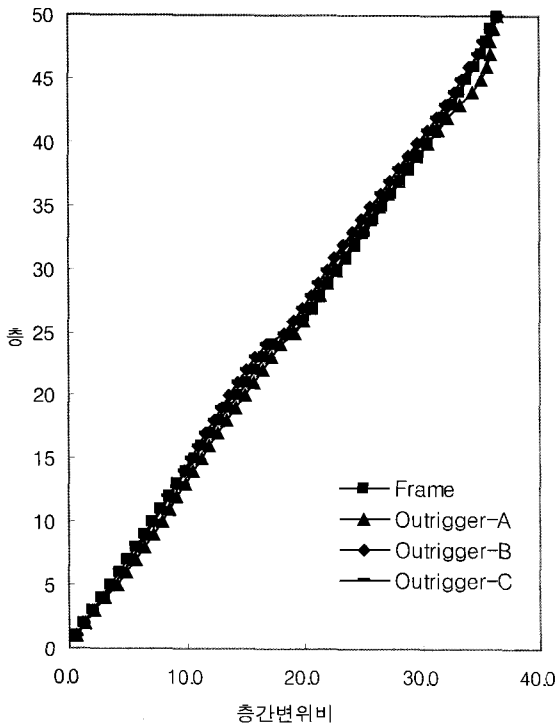
$$E_w = \frac{W_{\text{골조}} - W_{\text{아웃리저}}}{W_{\text{골조}}} \times 100(\%) \quad (21)$$

오프셋 아웃리저 시스템의 효율성(E_{woff})은 골조 구조물의 전체중량에 대한 오프셋 아웃리저 시스템과 코어아웃리저 시스템의 중량차로부터 (22)식과 같이 나타낼 수 있다.

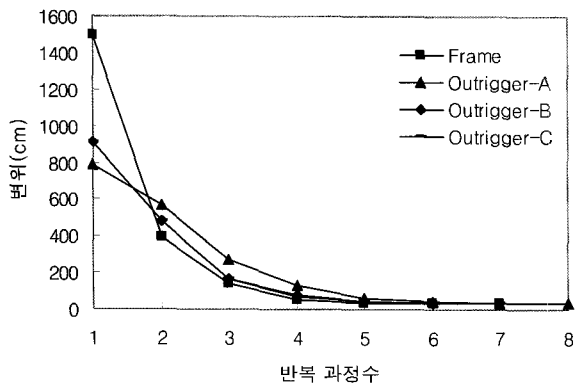
$$E_{\text{woff}} = \left(1 - \frac{W_{\text{오프셋}} - W_{\text{코어}}}{W_{\text{골조}}} \right) \times 100(\%) \quad (22)$$

<그림 4>는 강성최적설계기법을 이용하여 횡변위를 제어한 후의 수평변위를 나타낸 것이고, <그림 5>는 반복과정에 따른 변위이력을 나타낸 것인데, 네 모델 모두 7, 8회의 반복과정을 통해 목표제어변위값인 36.4cm로 수렴되었으며, 수렴되는 동안 안정적으로 변위가 제어되는 것이 보여진다.

<그림 6>과 <표 8>은 최적설계결과 구해진 시스템별 중량을 나타낸 것인데, 최상층 횡변위를 $H/500(36.4\text{cm})$ 로 제어하기 위해서 골조구조물의 중량을 기준으로 Outrigger-A는 92.5%, Outrigger-B와 C는 각각 93.2%, 93.1%의 중량이 요구되는 것으로 나타났다. 즉, 코어 아웃리저인 Outrigger-A가 가장 효율적이고, 다음으로 Outrigger-C와 B의 순으로 나타났으나 그 차이가 1% 이내로 코어아웃리저 시스템과 오프셋 아웃리저 시스템상에 차이가 거의 없음을 알 수 있다. 또한 <표 9>는 코어 아웃리저와 비교한 오프셋 아웃리저의 효율성을 나타낸 것인데, 약 0.6%정도 적은 것으로 나타났으나 차이



〈그림 4〉 강성최적설계후 수평변위



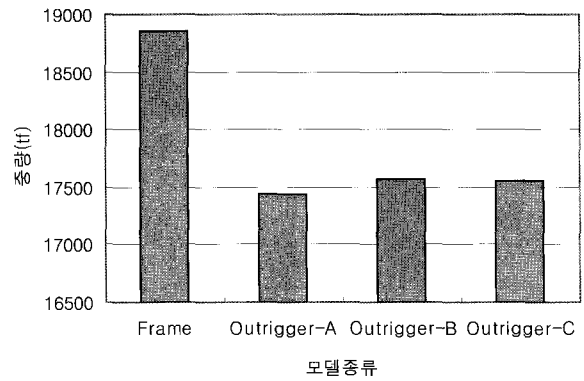
〈그림 5〉 반복과정에 따른 변위이력

〈표 8〉 최적설계에 의한 구조물 전체중량

적용모델	최종중량(tf)	감소율(%)
Frame	18852.0	기준
Outrigger-A	17436.1	92.5
Outrigger-B	17575.4	93.2
Outrigger-C	17557.3	93.1

〈표 9〉 최적설계단계의 오프셋 효율성

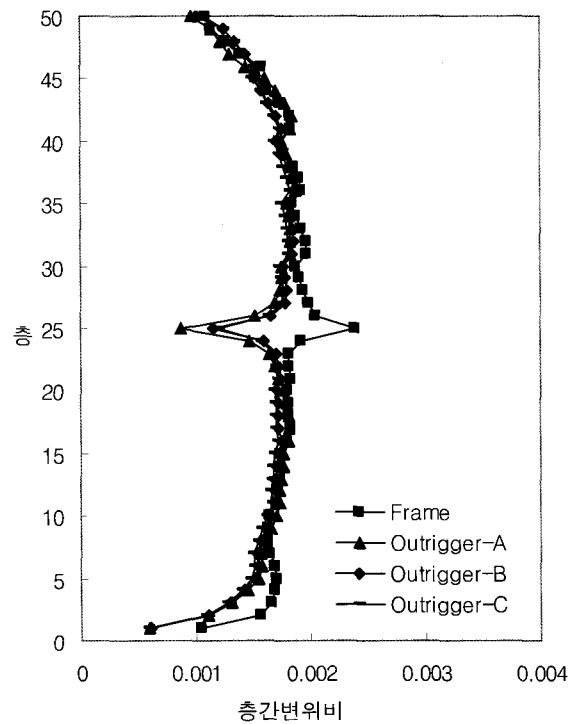
오프셋	오프셋 효율성(%)
1열 (b열) 오프셋	99.3
2열 (C열) 오프셋	99.4



〈그림 6〉 최적설계중량

가 거의 없음을 알 수 있다.

〈그림 7〉은 최적설계단계의 층간변위비를 나타낸 것이고, <표 10>은 층간변위비 감소율을 나타낸 것인데, 코어 아웃리거인 Outrigger-A는 21.6%, 오프셋 아웃리거 Outrigger-B와 C는 각각 22.0%와 23.6%로 오프셋 아웃리거 Outrigger-C가 가장 효율적인 것으로 나타났다. 또한 <표 11>는 코어 아웃리거와 비교한 오프셋 아웃리거의 효율성을 나타낸 것인데, 약 1.2%정도 더 큰 것으로 나타났다. 그러나 그 차이가 미비하고 최적설계단계의 층간변위비



〈그림 7〉 최적설계단계의 층간변위비

〈표 10〉 초기단계의 최대층간변위비

적용모델	최대층간변위비	감소율(%)
Frame	0.00238	기준
Outrigger-A	0.00187	21.6
Outrigger-B	0.00186	22.0
Outrigger-C	0.00182	23.6

〈표 11〉 초기단계의 층간변위비 오프셋 효율성

오프셋	층간변위비 오프셋 효율성(%)
1열 (b열) 오프셋	100.4
2열 (C열) 오프셋	102.0

는 초기단계와 비교하여 초기단계의 5%정도에 불과하기 때문에 코어 아웃리저와 오프셋 아웃리저의 층간변위비는 같다고 볼 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 강성최적설계기법을 이용하여 아웃리저 시스템의 거동특성 및 효율성 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 강성최적설계기법을 이용하여 7, 8회의 반복과정을 통해 안정적이고 정량적으로 코어 및 오프셋 아웃리저 시스템의 횡변위를 제어할 수 있었다.
2. 초기단계에서 수평변위에 대해 그리고 최적설계단계에서 전체중량에 대해 각 모델의 효율성을 비교해본 결과 아웃리저 시스템은 골조 시스템에 비해 매우 효율적인 것으로 나타났으며, 코어 및 오프셋 아웃리저는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.
3. 층간변위비는 초기단계 및 최적설계단계에서 골조시스템에 비해 아웃리저 시스템이 효율적인 것으로 나타났다. 또한 아웃리저시스템의 최대층간변위비는 최적설계후 초기단계의 5% 정도 수준으로 제어된 것으로 나타났다.

본 연구에서 제시된 아웃리저 시스템의 강성최적화기법은 고층구조물의 구조계획 및 설계단계에서 구조엔지니어에게 큰 도움을 줄 것으로 기대된다.

감사의 글

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

참고문헌

1. Taranath B, Structural Analysis & Design of Tall Building, McGraw-Hill, 1982
2. Smith BS and Coull, A., Tall Building Structures: Analysis and Design, John Wiley and Sons, 1991
3. Smith BS et al, Offset Outrigger Concept for Tall Building Structures, Tall Building Structures - A World View. Proceedings of 67th Regional Conference, Council on Tall Buildings and Urban Habitat, pp.103-112, 1997
3. 이한주, 김호수, "변위민감도 해석을 이용한 삼차원 고층철골조 구조물의 횡변위 제어에 관한 연구," 대한건축학회 논문집, 20권 9호, pp.79-86, 2004
4. 김영민, 박상준, 김호수, 홍성목, "오프셋 아웃리저 시스템의 구조적 거동특성 및 효율성에 관한 연구," 대한건축학회 논문집, 16권 1호, pp.43-52, 2000
5. 송화철, "엇갈림 오프셋 아웃리저 초고층 구조 시스템의 효율성," 대한건축학회 논문집, 15권 11호, pp.19-26, 1999
6. 대한건축학회, 건축물 하중기준 및 해설, 2000