

고층건물의 멀티 기둥그룹에 대한 부등기둥축소량의 최적보정기법

Optimal Compensation of Differential Column Shortening in Tall Buildings for Multi Column Groups

김 영 민*

Kim, Yeong-Min

(논문접수일 : 2008년 1월 28일 ; 심사종료일 : 2008년 2월 22일)

요 지

본 연구에서는 3개 이상의 기둥그룹에 대해서도 일반적으로 적용 가능한 기둥축소량의 최적보정기법을 제안하고, 이를 실제 시공된 건물에 적용하여 그 적용성을 평가하였다. 제안된 최적보정기법은 성능 및 시공상의 제약조건을 만족하면서 보정개소를 최소한으로 할 수 있는 층그룹 및 이때의 보정량을 산정하며, 상대보정뿐만 아니라 절대보정을 고려한 혼합보정도 가능하다. 최적보정에는 시뮬레이티드 어닐링(simulated annealing)이 주요 알고리즘으로 사용되었다. 제안된 기법을 실제 축소량 보정이 수행된 61층 건물에 적용한 결과, 보정량을 쉽게 산출할 수 있고 또한 실무방식보다 보정개소를 줄일 수 있어 적용성이 뛰어난 것을 확인하였다.

핵심용어 : 기둥축소량, 최적보정, 초고층건물, 시뮬레이티드 어닐링

Abstract

This study presents optimal compensation algorithm of differential column shortening for more than two column groups. The proposed algorithm produces the minimum story groups and their compensation thicknesses which satisfy constraint conditions on performance and construction and enables not only the relative compensation but also the mixed compensation considering absolute shortening. The simulated annealing algorithm is used as the main optimization technique. The applicability of the proposed algorithm was verified by applying it to the 61-storey building where compensation of differential column shortening had already been performed. Using, the proposed algorithm compensation was performed easily and the number of compensation was less than the field method.

Keywords : differential column shortening, optimal compensation, highrise building, simulated annealing

1. 서 론

건물을 설계함에 있어서는 구조적 안전성 이외에 사용성에 대한 고려가 필요하다. 구조적 안전성에 대해서는 재료 및 역학에 대한 연구에서부터 시작하여 고층건물의 경우 구조시스템과 효율적인 구조해석기법에 이르기까지 광범위하게 연구가 수행되고 있으며(정종현, 2007; 김영민 등, 2007; 김치경 등, 2007), 사용성에 대해서도 진동에 의한 가속도의 영향과 이의 제어기법(조강표 등, 2007; 윤경조 등, 2007) 및 기둥축소량의 영향에 이르기까지 다양한 연구가 수행되고

있다. 특히, 사용성의 영향은 건물이 고층화됨에 따라 그 중요성이 증가하고 있다.

기둥축소량의 해석 및 보정에 대한 연구는 미국을 중심으로 1960년대 이래로 활발히 수행되었다. 국내에서는 1990년도 중반부터 국내 건설사의 동남아 초고층건물 시공을 계기로 연구가 활발해졌으며, 2000년도 이후 국내의 초고층 주상복합 건설 붐으로 연구가 폭넓게 진행되고 있다(송화철, 2004).

기둥축소량 관련 연구는 크게 크리프 및 건조수축에 대한 재료적인 측면, 축소량해석에 대한 구조적인 측면, 현장계측

* 책임저자, 정회원 · (주) 마이다스아이티 기술연구소 책임연구원
Tel: 031-789-2019 ; Fax: 031-789-2001
E-mail: ymkim5@midasit.com

* 이 논문에 대한 토론을 2008년 6월 30일까지 본 학회에 보내주시면 2008년 8월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

및 보정방법에 대한 시공적인 측면, 그리고 최적보정량 산정이라는 최적화기법적인 측면에서 수행되고 있다. 재료 및 구조적인 측면에서는 초기의 철근콘크리트 기둥의 축소량 해석에 대한 연구로부터(Fintel 등, 1969; 1987) 최근의 SRC 합성기둥에 대한 연구(김한수, 2005; Kim 등, 2005)에 이르기까지 많은 연구가 수행되었다. 시공적인 측면에서는 RC 조, SRC조, 철골조별로 다양한 보정공법이 개발되어 시공현장에서 적용되고 있으며, 이에 대해 체계적으로 정리한 연구도 진행된 바 있다(소광호 등, 2003). 그러나, 최적보정량 산정에 대한 연구는 Park의 연구(Park, 2003) 이외에는 활발하지 못하였으며, 보정량 산정은 최근까지도 일선 구조설계 사무소에서 마이크로소프트 엑셀을 이용하여 직관에 의존한 반자동적인 반복 계산으로 수행되고 있는 실정이다.

기존의 최적보정량 산정을 위한 연구에서는 두 개의 기둥 그룹, 즉 일반적으로 코아로 이루어진 내부그룹(이하 코아그룹)과 그 이외의 기둥으로 이루어진 외부그룹(이하 외주그룹)만 고려하였다. 이 때, 코아그룹 및 외주그룹은 각각 동일한 축소량을 가지는 것으로 가정하였다. 일반적으로 코아는 이를 구성하는 벽체 또는 기둥들이 유사한 축소량을 가지는 것으로 가정해도 무리는 없으나, 외주그룹의 기둥들은 각 분담면적에 따라 축소량 차이가 크므로 축소량의 경향에 따라 서로 다른 기둥그룹으로 고려할 필요가 있다. 이에 본 논문에서는 3개 이상의 기둥그룹에 대해서도 일반적으로 적용 가능한 기둥축소량의 최적보정기법을 제안하고, 이를 실제 시공된 건물에 적용하여 그 적용성을 평가하였다.

2. 기둥축소량의 개요

본 장에서는 기둥축소량의 최적보정과 관련하여 기둥축소량의 종류, 보정방법, 그리고 보정시 제약조건에 대하여 살펴 보았다.

2.1 기둥축소량의 종류

기둥축소량의 종류는 기하적인 측면과 재료적인 측면, 그리고 시공적인 측면으로 나눌 수 있다. 기하적인 측면으로는 절대축소량과 부등축소량이 있다. 절대축소량은 각 수직부재의 개별적인 축소량으로서 시공 후 건물레벨이 설계레벨과 일치하지 않는 원인이 된다. 부등축소량은 수평부재로 연결된 수직부재간의 축소량 차이로서 실제 사용 및 구조상의 문제를 야기하는 부분이다.

재료적인 측면으로는 탄성축소와 비탄성축소가 있다. 탄성축소는 분담면적의 차이에 따른 응력불균형에 의해 발생하

며, 비탄성축소는 주로 철근콘크리트조에서 크리프와 건조수축에 의해 발생한다.

시공적인 측면으로는 슬래브 타설전 축소량과 슬래브 타설 후 축소량이 있다. 슬래브 타설전 축소량은 슬래브 타설 이전 구조부재의 자중에 의해 발생한다. 이는 수평부재에 부가하중을 유발하지 않으며 시공시 슬래브의 수평레벨을 맞추는 과정에서 자동적으로 보정된다. 슬래브 타설후 축소량은 슬래브 타설 이후의 추가하중과 콘크리트의 비탄성축소에 의하여 발생하는 것으로, 수평부재에 부가하중을 유발하며 자동적인 보정이 불가능하므로 미리 예측하여 보정을 할 필요가 있다.

2.2 기둥축소량의 보정법

기둥축소량의 보정법은 보정목적, 보정위치, 보정개소에 따라 나눌 수 있다. 보정목적에 따라서는 절대보정법, 상대보정법, 혼합보정법이 있다. 절대보정법은 계획시의 층고를 유지하도록 개별 수직부재를 각각의 축소량만큼 높게 시공하는 방법이다. 상대보정법은 특정 보정그룹에 대한 타 보정그룹의 상대적인 축소량인 부등축소량을 보정하는 방법이다. 혼합보정법은 절대보정과 상대보정을 동시에 수행하는 방법으로, 계획시의 층고를 유지하면서 보정그룹간의 부등축소량을 보정할 수 있다는 장점이 있다.

보정위치에 따라서는 기둥하부보정법과 기둥상부보정법이 있다. 이는 레벨조정용 각재나 끼움판(shim plate) 등의 보정기구를 각각 기둥하부 또는 기둥상부에 설치하여 보정하는 방법이다.

보정개소에 따라서는 집중보정법과 분산보정법이 있다. 집중보정법은 여러 층의 누적된 축소량을 특정층에서 보정하는 방법이고(Taranath, 1997), 분산보정법은 부등축소가 발생한 모든 층에서 보정하는 방법이다. 분산보정법은 경제성과 시공성 측면에서 바람직하지 않으므로 실무에서는 주로 집중보정법을 실시한다.

2.3 기둥축소량 보정의 제약조건

기둥축소량을 보정할 때에는 성능 및 시공에 따른 제약조건을 만족해야 한다. 성능에 따른 제약조건은 사용성 및 구조성능과 관련되며, 시공에 따른 제약조건은 시공성 및 경제성과 관련된다.

성능에 따른 제약조건에는 허용부등처짐비, 허용절대축소량, 누적최대보정량이 있다. 허용부등처짐비는 수평부재의 경간 길이에 대한 양단 수직부재의 축소량 차이인 부등처짐비

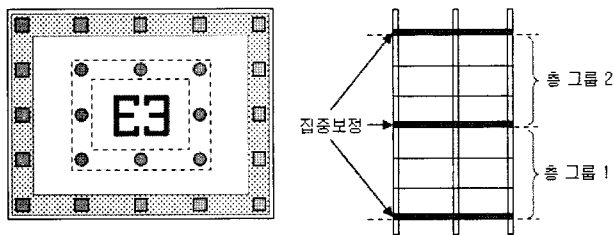
의 허용치이다. 허용절대축소량은 설계레벨과 보정 후 레벨과의 차이에 대한 허용치이며, 누적최대보정량은 누적된 보정량의 최대 허용치이다.

시공에 따른 제약조건에는 보정 층간격, 보정허용 시작층, 보정 기본두께, 기본두께로 층 보정량 제한이 있다. 보정 층간격은 보정을 수행하는 층의 간격으로서 집중보정에서 필요하다. 보정허용 시작층은 보정이 허용되는 최저층이다. 보정 기본두께는 보정량의 기본단위로서 일반적으로 보정용 끼움판이나 레벨조절용 각재는 규격으로 제한되어 있으므로 보정 시 이들을 1개 또는 2개 등 배수로 사용할 때 필요하다. 기본두께로 층 보정량을 제한하는 것은 하나의 보정그룹에서 보정용 끼움판이나 레벨조절용 각재를 하나만 사용하도록 제한하는 것이다.

3. 기둥축소량의 최적보정시스템

3.1 기둥축소량 최적보정의 개요

기둥축소량의 보정은 시공단계와 작용하중, 그리고 재료의 물성치를 이용하여 기둥의 예측되는 축소량을 해석적으로 구하고 이를 바탕으로 성능 및 시공상의 제약조건을 만족하도록 최적의 보정량을 산정해야 한다. 각 기둥들은 작용하중과



■ 기둥 그룹 A ● 기둥 그룹 B
E3 기둥 그룹 C (코아 그룹)

(a) 기둥 그룹

(b) 층 그룹

그림 1 기둥그룹과 층그룹의 개념

단면크기 및 시공이력이 다르므로 예측되는 축소량과 필요한 보정량이 각각 다르다. 각 기둥마다 층별로 보정하는 것이 부등축소량을 최소화할 수 있는 가장 이상적인 방법이지만, 시공성을 감안하여 구조 및 사용상 문제가 없는 범위에서 최대한 보정을 단순화 할 필요가 있다.

즉, 그림 1과 같이 평면상으로는 축소량이 비슷한 기둥들을 하나의 그룹으로 묶고, 여러 층에서 발생하는 누적축소량을 특정 층에서 보정할 필요가 있다. 본 논문에서는 유사한 축소경향을 보이는 기둥들로 구성된 기둥그룹에 대해, 주어진 제약조건을 만족하면서 집중보정을 최소화 할 수 있는 최적의 층그룹 및 이때의 보정량 산정을 위한 최적보정기법을 제안하였다.

3.2 기둥축소량 최적보정법의 정식화

본 논문에서는 Park이 제시한 두 개의 기둥그룹에 대한 기둥축소량 최적보정 알고리즘(Park, 2003)을 바탕으로 이를 3개 이상의 기둥그룹에 적용가능하며 동시에 다양한 성능 및 시공상의 제약조건을 만족하도록 확장하였다. 이때, 미리 정의된 수평그룹인 기둥그룹에 대해 최적의 수직 층그룹과 각 층그룹의 보정량을 설계변수로 설정하였다.

표 1은 두 개의 기둥그룹에 대한 분산보정과 집중보정의 간단한 예이다. 분산보정의 경우 각 층의 예측되는 축소량만큼 보정을 수행할 경우 보정후에 모든 층에서 절대축소량이 생기지 않는다. 반면, 집중보정은 일부 층에서만 보정이 수행되므로 보정 후에도 절대축소량이 여전히 남아 있다.

이상적인 경우로서 모든 기둥을 모든 층에서 축소량만큼 보정한다면, 식 (1)과 같이 각 기둥의 모든 층에서의 기둥축소 예측량의 합과 소요보정량의 합은 같게 된다.

$$\sum_{j=1}^{ms} \delta_{j,k}^c - \sum_{j=1}^{ms} \delta_{j,k}^p = 0 \tag{1}$$

표 1 두 개의 기둥그룹에 대한 분산보정과 집중보정의 예

(단위 : mm)

층그룹	층	축소예측량	분산보정				집중보정			
			소요보정량	실보정량	누적보정량	절대축소량	소요보정량	실보정량	누적보정량	절대축소량
3	9	18	18	1	18	0	17	-	17	1
	8	17	17	1	17	0	17	-	17	0
	7	16	16	1	16	0	17	4	17	-1
2	6	15	15	2	15	0	13	-	13	2
	5	13	13	2	13	0	13	-	13	0
	4	11	11	2	11	0	13	7	13	-2
1	3	9	9	3	9	0	6	-	6	3
	2	6	6	3	6	0	6	-	6	0
	1	3	3	3	3	0	6	6	6	-3

동일 층그룹에 대해 기둥축소 예측량의 평균값으로 집중보정을 수행하면 식 (1)은 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$\sum_{i=1}^{nsg_k} N_{i,k} \delta_{i,k}^c - \sum_{j=1}^{ns} \delta_{j,k}^b = 0 \quad (2)$$

식 (2)의 첫 번째 항을 풀어 쓰면 k 기둥의 층그룹 i 에 서의 소요보정량의 합은 식 (3)과 같이 된다.

$$N_{i,k} \delta_{i,k}^c = \sum_{j=1}^{ns} \delta_{j,k}^b - \sum_{\substack{l=1 \\ (l \neq i)}}^{nsg_k} N_{l,k} \delta_{l,k}^c \quad (3)$$

특정 층그룹의 층수가 증가할수록 전체 층그룹의 수는 감소한다. 특정 층그룹에 속한 층수가 최대가 되기 위해서는 식 (3)의 좌변이 최대가 되어야 한다. 이는 식 (3)의 우변에서 분다면 첫 번째 항이 상수이므로 두 번째 항이 최소가 되어야 함을 의미한다. 따라서 최적보정을 위한 목적함수는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\min \left(\sum_{\substack{l=1 \\ (l \neq i)}}^{nsg_k} N_{l,k} \delta_{l,k}^c \right) = \min \left(\sum_{j=1}^{ns} \delta_{j,k}^b - N_{i,k} \delta_{i,k}^c \right) \quad (4)$$

기둥하부보정법에서 집중보정은 해당 층그룹의 최하층 기둥에 보정을 수행하므로, 표 1의 집중보정 예와 같이 동일 층그룹에 속한 모든 층의 누적보정량은 동일하다. 이로 인해, 보정후에도 그림 2에서 보는 바와 같이 각 층에서 축소예측량과 누적보정량의 불일치로 절대축소가 발생한다. 그리고, 하나의 기둥 그룹에 속한 기둥이 여러 개 인 경우에는 각 기둥마다 절대 축소량이 다르므로 인접한 기둥간의 절대축소량 차이에 의한 부등축소가 여전히 남아 있다. 따라서, 보정량은 부등축소의 허용기준을 비롯한 앞에서 언급한 여러 성능 및 시공상의 제약 조건을 만족해야 한다. 이를 정식화하면 다음과 같다.

허용부등치침비 제약조건은 식 (5)와 같다.

$$\beta = \frac{|\Delta_{j,m} - \Delta_{j,n}|}{L_{m,n}} \leq \beta_{allow} \quad (5)$$

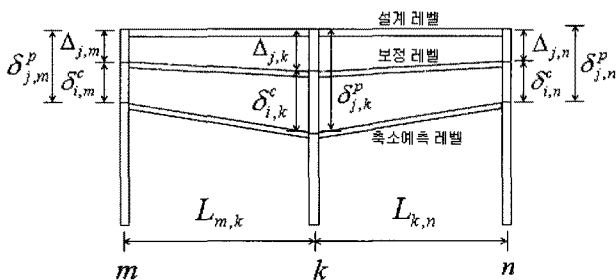


그림 2 기둥축소량의 개념 및 이의 보정

허용절대축소량 제약조건은 식 (6)과 같다.

$$\Delta_{j,k} = |\delta_{j,k}^b - \delta_{j,k}^{c,accum}| \leq \Delta_{allow} \quad (6)$$

누적최대보정량 제약조건은 식 (7)과 같다.

$$\delta_{j,k}^{c,accum} \leq \delta_{allow}^{accum} \quad (7)$$

보정층 간격 제약조건은 식 (8)과 같다.

$$N_{i,k} = n \times N_{gap}; \quad (n = \text{자연수}) \quad (8)$$

보정허용 시작층 제약조건은 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} \delta_{j,k}^{c,accum} &= 0; \quad (\text{for } j < n_{begin}) \\ \delta_{j,k}^{c,accum} &\geq 0; \quad (\text{for } j \geq n_{begin}) \end{aligned} \quad (9)$$

보정 기본두께 제약조건은 식 (10)과 같다.

$$\alpha_{j,k}^c = f \times \alpha_{basic}; \quad (f = 0 \text{ or } \text{자연수}) \quad (10)$$

층 보정량의 기본두께 제약조건은 식 (11)과 같다.

$$\alpha_{j,k}^c = 0 \text{ or } \alpha_{basic} \quad (11)$$

3.3 기둥축소량 최적보정 알고리즘

본 연구에서 제안하는 최적보정의 전체적인 알고리즘은 그림 3과 같다. 3개 이상의 기둥그룹에 적용하기 위해서는 보정을 위한 모든 제약조건을 수평부재로 연결된 기둥그룹간의 모든 수직부재들이 만족해야 한다.

가장 핵심이 되는 층그룹의 층 증가조건은, 대상 층그룹에서 층을 하나씩 증가시킬 때 주어진 제약조건을 만족하여야 하며, 이러한 경우에 시뮬레이티드 어닐링(Kirkpatrick, 1983)을 수행하여 식 (4)의 우변으로 나타낸 목적함수값이 감소하거나, 또는 목적함수값이 증가하지만 난수로 발생시킨 확률이 특정 확률 이하일 때 증가시킨다. 여기서 특정 확률은 수렴성 향상을 위해 해당 층그룹에 속한 층이 증가할수록 그리고 목적함수값의 증가율이 클수록 감소되는 값을 가지도록 설정된다. 층 증가조건이 만족되지 않는 경우에는 층그룹을 분리하며 이에 따라 보정개소는 하나씩 증가한다. 각 기둥 그룹의 최적 층그룹은 모든 층을 시작층으로 보정을 수행한 결과 중에서 층그룹의 개수가 가장 적은 경우이다. 제안된 알고리즘은 Fortran으로 구현하였다.

3.4 상대보정과 혼합보정의 예

본 연구에서 제안하는 알고리즘을 이용하여 간단한 예제에 대해 집중보정법으로 상대보정과 혼합보정을 수행하였다. 표 2와 표 3은 각각 세 개의 기둥그룹에 대한 상대보정과 혼합보정의 예이다. 각 기둥그룹은 하나의 기둥으로 이루어져 있고 기둥그룹 A, B간과 기둥그룹 B, C간에는 각각 수평부재로 연결되어 있다고 가정하였다. 연결된 기둥간의 거리는 각각 1,000mm이다. 보정 제약조건으로는 허용부등치집비는 1/240(0.417%), 보정 기본두께는 1mm이며, 혼합보정의 경우 허용절대축소량은 4mm로 제한을 두었다.

상대보정에서는 기둥그룹 B의 축소예측량이 가장 작으므로 이를 기준으로 기둥그룹 A와 C가 보정된다. 혼합보정에서는 축소량이 가장 작은 기둥그룹에 대해 절대보정이 먼저 수행되며, 여기에 인접 기둥그룹간의 부등치집비 조건이 만족되도록 상대보정이 이루어진다.

표 2의 상대보정에서는 기둥그룹 A 및 C는 각각 한 군데 및 두 군데에서 보정이 필요하였으며, 기둥그룹 B는 보정이 필요하지 않았다. 표 3의 혼합보정에서는 기둥그룹 A와 B는 각각 두 군데에서, 기둥그룹 C는 세 군데에서 보정이 필요하였다. 혼합보정에서는 상대보정과 달리 허용절대축소량 기

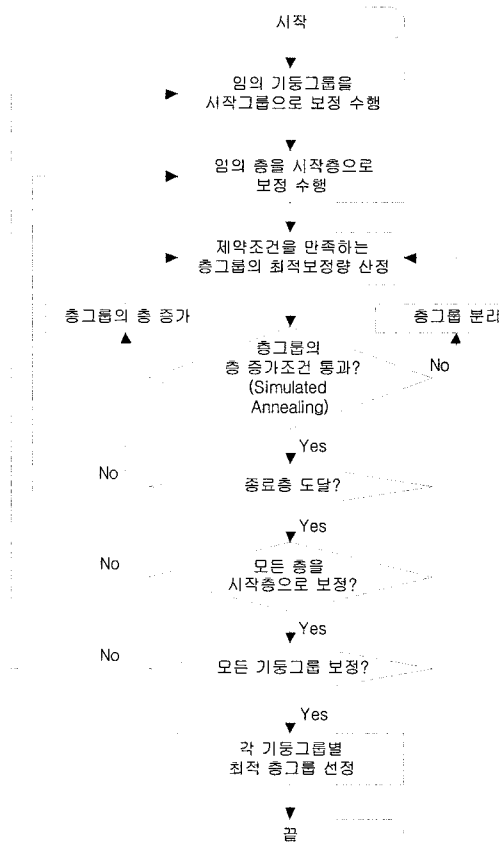


그림 3 기둥축소량 최적보정 알고리즘

표 2 세 개의 기둥그룹에 대한 상대보정의 예

(단위 : mm)

층	기둥그룹 A			기둥그룹 A, B 사이		기둥그룹 B (기준그룹)			기둥그룹 C			기둥그룹 B, C 사이				
	층 그룹	축소 예측량	실 보정량	절대 축소량	부등 축소량	부등 치집비(%)	층 그룹	축소 예측량	실 보정량	절대 축소량	층 그룹	축소 예측량	실 보정량	절대 축소량	부등 축소량	부등 치집비(%)
9	1	20	-	18	2	0.2	1	16	-	16	2	31	-	18	2	0.2
8		19	-	17	2	0.2		15	-	15		29	-	16	1	0.1
7		17	-	15	1	0.1		14	-	14		26	-	13	-1	0.1
6		16	-	14	1	0.1		13	-	13		24	8	11	-2	0.2
5		15	-	13	1	0.1		12	-	12		20	-	15	3	0.3
4		12	-	10	0	0.0		10	-	10		16	-	11	1	0.1
3		10	-	8	0	0.0		8	-	8		12	-	7	-1	0.1
2		6	-	4	-1	0.1		5	-	5		8	-	3	-2	0.2
1		3	2	1	-1	0.1		2	-	2		4	5	-1	-3	0.3

표 3 세 개의 기둥그룹에 대한 혼합보정의 예

(단위 : mm)

층	기둥그룹 A			기둥그룹 A, B 사이		기둥그룹 B (기준그룹)			기둥그룹 C			기둥그룹 B, C 사이				
	층 그룹	축소 예측량	실 보정량	절대 축소량	부등 축소량	부등 치집비(%)	층 그룹	축소 예측량	실 보정량	절대 축소량	층 그룹	축소 예측량	실 보정량	절대 축소량	부등 축소량	부등 치집비(%)
9	2	20	-	4	1	0.1	2	16	-	3	3	31	-	3	0	0.0
8		19	-	3	1	0.1		15	-	2		29	-	1	-1	0.1
7		17	-	1	0	0.0		14	-	1		26	8	-2	-3	0.3
6		16	-	0	0	0.0		13	-	0		24	-	4	4	0.4
5		15	-	-1	0	0.0		12	-	-1		20	-	0	1	0.1
4		12	10	-4	-1	0.1		10	8	-3		16	12	-4	-1	0.1
3		10	-	4	1	0.1		8	-	3		12	-	4	1	0.1
2		6	-	0	0	0.0		5	-	0		8	-	0	0	0.0
1		3	6	-3	0	0.0		2	5	-3		4	8	-4	-1	0.1

준을 만족시키기 위하여 축소량이 가장 작은 기둥그룹 B에서도 보정이 요구되었으며, 이로 인해 전반적으로 보정개소가 증가하였다.

4. 사례적용 및 적용성 평가

4.1 적용 건물 개요

제안된 알고리즘을 실제 건물에 적용하여 그 적용성을 평가하였다. 사례 건물은 2003년도에 착공하여 2007년도에 완공된 지하 3층, 지상 61층 건물이다. 기준층 평면은 그림 4와 같으며 입면은 높이에 따라 셋백된 형태로서 C1, C2, C3, C4, C5, C10, C14, C15, C16, C20 기둥은 54층, 나머지 기둥은 59층, 그리고 코어벽체는 61층까지 올라간다 (마이더스아이티, 2004).

축소량 해석결과 슬래브 타설후 축소량의 전체적인 경향은 내부기둥에서 가장 컸으며 코어벽체에서 가장 작게 나타났다. 이로 인해 부등축소량은 내부기둥과 코어벽체 사이에서 가장 컸으며, 모두 허용부등치짐비 1/240(0.417%)을 초과하였다. 외부기둥과 내부기둥 사이에서는 C14와 C16 기둥 사이에서 유일하게 허용부등치짐비를 초과하였다. 표 4는 기둥 간 허용부등치짐비 기준을 초과하는 경우 중 최대값을 정리한 것이다.

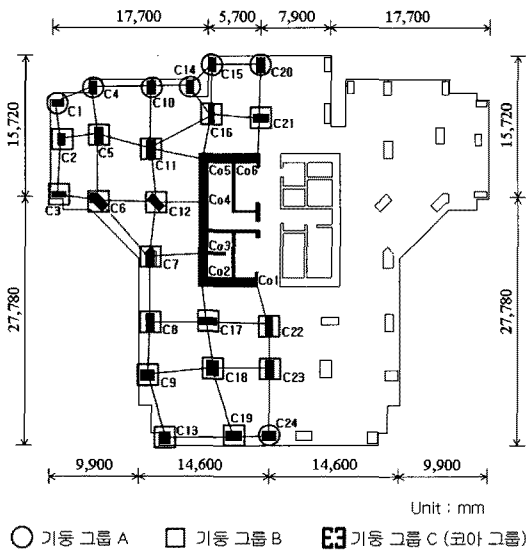


그림 4 사례 건물의 평면 및 기둥그룹의 구성

4.2 적용성 평가

사례 건물은 부등축소량이 허용부등축소량을 초과하는 경우가 많아 사용성에 문제가 있을 것으로 예상되었다. 따라서,

표 4 사례 건물에서의 허용부등치짐비 초과 사례

기둥 1	기둥 2	경간 (mm)	허용부등 축소량 (mm)	최대부등 축소량 (mm)	부등 치짐비 (%)	발생층
C7	Co3	6,196	25.82	36.79	0.594	40F
C11	Co5	5,935	24.73	34.23	0.577	39F
C12	Co4	5,299	22.08	41.44	0.782	40F
C14	C16	3,770	15.71	17.40	0.462	41F
C17	Co2	4,385	18.27	44.78	1.021	45F
C16	Co5	5,095	21.23	39.06	0.767	34F
C21	Co6	4,491	18.71	40.85	0.910	34F
C22	Co1	5,124	21.35	48.15	0.940	45F

표 5 기존 방법과 제안된 방법의 보정량 (단위 : mm)

No	보정층	기존 방법		제안된 방법	
		기둥그룹 A	기둥그룹 B	기둥그룹 A	기둥그룹 B
8	28F	-	5	-	-
7	25F	-	5	-	-
6	22F	-	5	5	5
5	19F	-	5	-	5
4	16F	5	5	5	5
3	13F	5	5	-	5
2	10F	5	5	5	5
1	7F	5	5	5	5

표 6 기존 방법과 제안된 방법의 상대보정 결과 비교

기둥 1	기둥 2	허용 부등 축소량 (mm)	기존 방법			제안된 방법		
			최대 부등 축소량 (mm)	부등 치짐비 (%)	발생층	최대 부등 축소량 (mm)	부등 치짐비 (%)	발생층
C7	Co3	25.82	18.86	0.304	59F	10.01	0.162	59F
C11	Co5	24.73	18.55	0.313	59F	13.12	0.221	59F
C12	Co4	22.08	16.21	0.306	59F	11.44	0.216	40F
C14	C16	15.71	8.47	0.225	12F	8.47	0.225	12F
C17	Co2	18.27	12.34	0.281	59F	14.78	0.337	45F
C16	Co5	21.23	15.11	0.297	54F	10.80	0.212	6F
C21	Co6	18.71	13.91	0.310	54F	12.40	0.276	6F
C22	Co1	21.35	12.78	0.249	6F	18.15	0.354	45F

슬래브타설 이후의 절대축소량을 기준으로 인접 기둥과의 상대축소량이 보정되었다. 기둥그룹은 하중 부담면적과 축소에 측량을 기준으로 그림 4에서 보는 바와 같이 3개로 나누어졌다. 각 기둥그룹별 최대 절대축소량은 기둥그룹 A의 경우 C24 기둥의 44층에서 59.6mm, 기둥그룹 B의 경우 C23 기둥의 44층에서 78.9mm, 기둥그룹 C의 경우 Co5 벽체의 43층에서 30.4mm로 예측되었다.

일선 구조설계 사무소에서의 기둥축소량 보정은 기존방법인 마이크로소프트 엑셀을 이용한 직관에 의존한 반복적인 방법으로 수행되었다. 이때 보정기본두께는 시공성을 고려하여 5mm로 제한되었으며, 좌우 대칭 건물이므로 대칭인 반

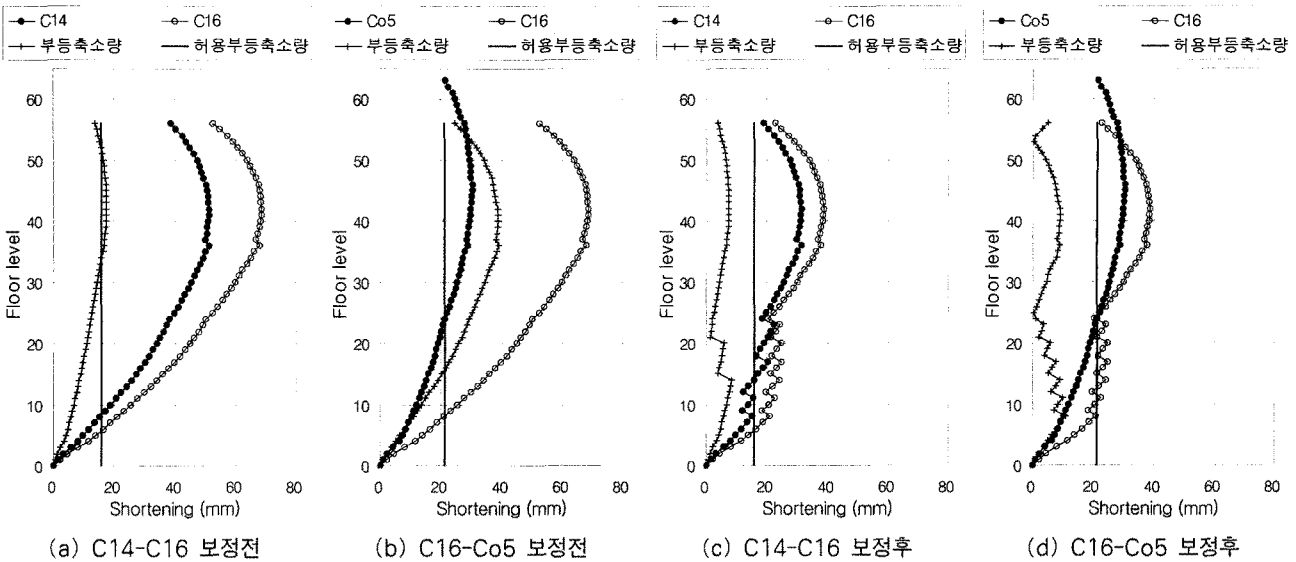


그림 5 제안된 방법에 의한 상대보정 전후의 부등축소량 비교

에 대해서만 축소량해석이 수행되었다. 보정 결과는 표 5의 좌측과 같다. 코아그룹인 기둥그룹 C는 축소량이 가장 작게 예측되어 보정이 수행되지 않았으며, 상대적으로 절대축소량이 작은 기둥그룹 A는 네 군데에서, 그리고 절대축소량이 가장 큰 기둥그룹 B는 여덟 군데에서 보정이 필요한 것으로 나타났다. 보정 후에는 모든 층에서 허용부등치집비 기준을 만족하였다.

제안된 알고리즘을 이용한 보정에서는 구조설계 사무소에서의 보정조건과 일치시키기 위하여 다음과 같은 제약조건을 설정하였다. 즉, 허용부등치집비는 1/240(0.417%), 보정 시작층은 7층, 보정층 간격은 3층, 보정기본두께는 5mm, 그리고 층보정량은 기본두께로 제한하였다. 이러한 제약조건을 적용한 보정 결과는 표 5의 우측과 같다. 보정결과 기둥그룹 A는 네 군데에서, 기둥그룹 B는 여섯 군데에서 보정이 필요한 것으로 나타났다.

기존 방법과 제안된 방법에 의한 상대보정 후의 기둥 간 최대부등축소량 및 부등치집비는 표 6과 같다. 제안된 방법의 경우 보정 개소를 더 적게 하면서도 허용부등치집비 조건을 만족하고 있음을 알 수 있다. 비록 보정 후의 최대 부등치집비가 제안된 방법의 경우 0.354로서 기존 방법의 0.313보다는 약간 크지만 전반적으로는 작게 나타났으며, 축소량 보정에서 가장 큰 비용이 들어가는 보정 개소를 줄일 수 있었다는 점에서 제안된 방법의 효과성을 확인할 수 있다.

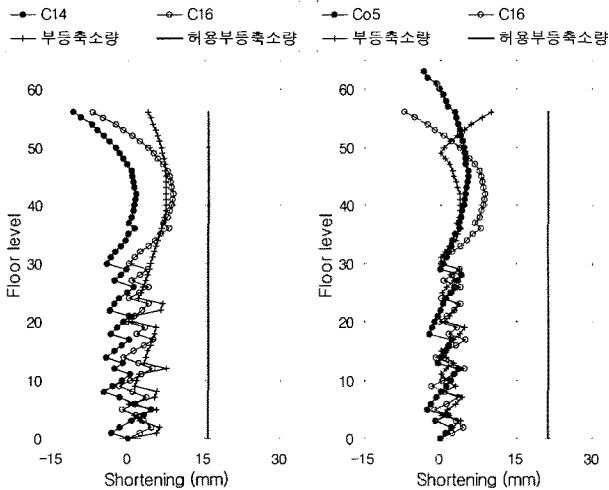
그림 5는 제안된 방법에 의한 인접 기둥간의 보정 전후의 부등축소량을 비교한 것이다. 보정전에는 일부층에서 부등축소량이 허용부등축소량을 초과하였지만, 보정후에는 모두 허용값 이내에 들고 있다. 제시된 기둥 C14, C16, Co5는 각

표 7 제안된 방법에 의한 혼합보정 결과 (단위 : mm)

No	보정층	기둥그룹 A	기둥그룹 B	기둥그룹 C
18	28F	5	5	-
17	27F	-	-	5
16	25F	5	5	-
15	22F	-	5	-
14	20F	5	-	-
13	18F	-	5	-
12	16F	5	5	5
11	12F	5	5	-
10	11F	-	5	5
9	10F	5	-	-
8	7F	-	5	-
7	6F	5	5	-
6	5F	5	-	-
5	4F	5	-	-
4	3F	-	5	5
3	2F	-	5	-
2	1F	-	5	5
1	B2	5	-	-
합계		50	60	25

각 기둥그룹 A, B, C에 속하며, 기둥 C14와 C16, 그리고 C16과 Co5는 각각 수평부재로 연결되어 있으므로 기둥그룹 간 보정 전후의 부등축소량을 살펴보기 적합하여 선정되었다. 한편, 그림 5에서 Floor level은 지하3층부터 시작된다.

표 7은 동일 사례에 대하여 제안된 방법에 의하여 혼합보정을 수행한 결과이다. 제약조건으로 허용부등치집비는 1/240(0.417%), 허용절대축소량은 20mm, 누적최대보정량은 60mm, 보정기본두께는 5mm, 그리고 기본두께로 층보정량을 제한하였다. 보정층 간격과 보정허용 시작층은 제한을 두지



(a) C14-C16 보정후 (b) C16-Co5 보정후
 그림 6 제안된 방법에 의한 혼합보정후의 부등축소량

않았다. 보정결과 기둥그룹 A, B, C는 각각 10, 12, 5 군데에서 보정이 필요한 것으로 나타났다.

그림 6에서는 대표적인 기둥 C14, C16, Co5에서 보정후의 절대축소량 및 서로 간의 부등축소량을 나타내었다. 전체 기둥과 전체층에 대한 부등치짐비는 기둥 C11과 Co5 사이의 59층에서 0.221로 최대값이 나타났다.

혼합보정의 경우 상대보정에 비해 계산이 복잡하여 실무에서는 쉽게 적용하기 어렵지만, 제안된 기법을 이용하면 쉽게 보정량을 산정할 수 있어 실무에서 효용성이 높을 것이라 기대된다.

6. 결 론

1) 지금까지 기둥축소량의 최적보정에 대한 연구는 2개의 기둥그룹에 대해서만 수행되었지만, 본 연구에서는 3개 이상의 기둥그룹에 대해서도 일반적으로 적용 가능한 기둥축소량의 최적보정기법을 제안하였다. 최적보정에는 시뮬레이티드 어닐링을 주요 알고리즘으로 사용하였다.

2) 제안된 최적보정기법은 다양한 성능 및 시공상의 제약 조건을 만족하면서 보정개소를 최소한으로 할 수 있는 최적의 층그룹 및 이때의 보정량을 산정할 수 있다.

3) 제안된 기법을 실제 축소량 해석이 수행된 건물에 적용하여 효용성을 검증하였다. 검증결과 실무방식보다 보정개소를 줄일 수 있어 적용성이 뛰어난을 확인할 수 있었다.

4) 실무에서는 보정량 산정의 현실적 어려움으로 인해 상대보정만 주로 수행하지만, 제안된 기법은 절대보정을 고려한 혼합보정도 쉽게 수행 할 수 있어 향후 실무에서의 기둥 축소량 최적보정 기술에 크게 기여할 것이라 기대된다.

기호 정리

i : 층그룹의 수 ($i=1, 2, \dots, nsG_k$)

j : 층수 ($j=1, 2, \dots, ns$)

k : 기둥의 수 ($k=1, 2, \dots, nc$)

ns : 전체 층 수

nc : 전체 기둥 수

nsG_k : k 기둥의 층그룹의 개수

$N_{i,k}$: k 기둥의 층그룹 i 에 속한 층수

$\delta_{j,k}^d$: k 기둥의 j 층에서의 축소예측량

$\delta_{j,k}^c$: k 기둥의 j 층에서의 소요보정량

$\delta_{i,k}^c$: k 기둥의 층그룹 i 에서의 소요보정량

$\alpha_{j,k}^c$: k 기둥의 j 층에서의 실보정량

$\Delta_{j,k}$: k 기둥의 j 층에서의 보정 후 절대축소량

$\delta_{j,k}^{c,accum}$: k 기둥의 j 층에서의 누적보정량

β : 부등치짐비

β_{allow} : 허용부등치짐비

δ_{allow}^{accum} : 허용누적최대보정량

Δ_{allow} : 허용절대축소량

$L_{m,n}$: 기둥 m 과 n 사이의 거리

N_{gap} : 보정 기본 층간격

n_{begin} : 보정허용 시작층

α_{basic} : 보정 기본두께

참 고 문 헌

- 김영민, 김태진, 김치경 (2007) 강성등가하중을 이용한 새로운 비선형해석 알고리즘, 한국전산구조공학회 논문집, 20(6), pp.731~742.
- 김치경, 이재철 (2007) 연쇄붕괴의 동적거동을 고려한 새로운 등가정적해석 기법, 한국전산구조공학회 논문집, 20(3), pp.239~246.
- 김한수 (2005) 수분확산을 고려한 고층건물 SRC 합성기둥의 축소량 해석, 대한건축학회 논문집 구조계, 21(9), pp.79~86.
- 마이더스아이티 (2004) 더 샵 스타시티 기둥축소량 계측 및 보정 본해석 보고서, (주)마이더스아이티, p.420.
- 소광호, 양극영 (2003) 시공성 향상을 위한 초고층 건물의 기둥축소량 보정법에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 구조계, 19(11), pp.157~164.
- 송화철 (2004) 초고층 건물 기둥축소량 보정 및 현장계측, 대

- 한건축학회지, 48(10), pp.52~56.
- 윤경조, 민경원, 이상현** (2007) 분산제어식 응답의존형 MR 감쇠기를 이용한 구조물의 지진응답제어, 한국전산구조공학회 논문집, 20(6), pp.761~767.
- 정종현** (2007) 초고층건물의 초기 구조설계를 위한 횡강성 증가율 예측, 한국전산구조공학회 논문집, 20(4), pp.453~462.
- 조강표, 신성우, 정승환, 조수연** (2007) 고층 건축물의 수평진동에 대한 거주자의 지각임계가속도, 한국전산구조공학회 논문집, 20(3), pp.371~377.
- Fintel M., Khan F.R.** (1969) Effects of column creep and shrinkage in tall structures-prediction of inelastic column shortening, *ACI Journal*, 66(12), pp.957~967.
- Fintel M., Ghosh S.K., Iyengar H.** (1987) Column shortening in tall buildings-Prediction and compensation, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA.
- Kim H.S., Cho S.H.** (2005) Column shortening of concrete cores and composite columns in tall buildings, *The structural design of tall and special buildings*, 14(2), pp.175~190.
- Kirkpatrick C.D., Gelatt, Vecchi M.P.** (1983) Optimization by simulated annealing. *Science*, 220, pp.671~680.
- Park H.S.** (2003) Optimal compensation of differential column shortening in high-rise buildings, *The structural design of tall and special buildings*, 12(1), pp.49~66.
- Taranath B.S.** (1997) Steel concrete and composite design of tall buildings, *McGraw-Hill*, NY.