현장 적용성을 고려한 기둥축소량의 최적보정시스템 개발

Development of Field-friendly Optimal Compensation System for Differential Column Shortening

김 영 민†
Kim, Yeong-Min

요 지

본 연구에서는 현장 적용성을 고려한 기둥축소량의 최적보정시스템을 그래픽-사용자 인터페이스의 컴퓨터 프로그램으로 개발하였다. 구현된 시스템은 성능 및 시공상의 다양한 제약조건을 만족하면서 상대보정과 혼합보정이 모두 가능하다. 제안된 시스템에서는 기둥축소량 보정전과 보정후의 구조물 형상을 그래픽으로 확인가능하며, 각 층의 보정결과는 기둥축소량 보고서로 바로 활용 가능한 도면으로 출력된다. 제안된 시스템을 실제 축소량 보정이 수행된 61, 42, 49, 53층의 네 건물에 적용한 결과, 제약조건을 쉽게 변경하면서 축소량 보정을 수행할 수 있고, 기존의 방법으로는 해를 구하지 못하는 경우에도 손쉽게 해를 구할 수 있어 현장 적용성이 뛰어남을 확인하였다.

핵심용어 : 기둥축소량, 최적보정, 현장 적용성, 그래픽-사용자 인터페이스

Abstract

This study presents graphic-user interface computer program for optimal compensation of differential column shortening with high field applicability. The implemented system can perform both relative and mixed compensation while satisfying both performance and construction constraints. In the proposed system the shape of the structure before and after compensation can be checked graphically, and the results of compensation of each stories can be printed in drawings which can be directly used as the report of column shortening. The field-applicability of the implemented system was verified by applying it to the four reinforced concrete residental buildings of 61, 42, 49 and 53 stories where compensation of differential column shortening had already been performed. Using the implemented system, compensation can be performed easily with the various constraint conditions and was able to acquire rational compensation results for the cases where conventional method was not successful.

Keywords : *column shortening, optimal compensation, field-applicability, graphic-user interface*

1. 서 론

기둥축소량은 기둥의 강성과 하중영향면적에 의한 탄성축소량과 크리프 및 건조수축에 의한 비탄성축소량 등 다양한 원인에 의해 발생하며, 초고층 건물에서는 진동에 의한 가속도의 영향(조강표 등, 2007)과 이의 제어기법(윤경조 등, 2007; 이상현, 2007) 등의 사용성 확보 기술과 더불어 구조해석 및 시공시 주요한 고려 대상중의 하나이다.

해석 및 실험을 통하여 기둥축소량을 예측하는 연구는 철근콘크리트 기둥에 대한 연구(Fintel 등, 1969; 1987; Pan 등, 1993; Zhi 등, 1993; Jayasinghe 등, 2005)로부터 최근의 SRC 합성기둥에 대한 연구(김한수, 2005; Kim 등, 2005)에 이르기까지 다양하게 수행되었다. 이와 더불어 확률론적으로 축소량을 예측하는 연구(조용수 등, 2002)와 신경망 기법을 이용하여 축소량을 예측하는 연구(양원직 등, 2007)도 수행되었으며, 기둥축소량 산정을 위한 그래픽-사용자 인터페이스의 컴퓨터 프로그램 개발에 관한 연구(정은호 등, 1997; 현대건설(주) 기술연구소, 1998)도 수행된 바 있다.

이에 반해 기둥축소량의 해석결과를 바탕으로 축소량을 보정하는 최적보정기법에 대한 연구는 두 개의 기둥그룹에 관한 Park의 연구(Park, 2003)와 세 개 이상의 기둥그룹에

† 책임저자, 정회원 · 명지대학교 건축학부 조교수
Tel: 031-330-6490 ; Fax: 031-330-6487
E-mail: ymkim@mju.ac.kr

• 이 논문에 대한 토론을 2010년 6월 30일까지 본 학회에 보내주시면 2010년 8월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

도 일반적으로 적용 가능한 연구(김영민, 2008) 이외에는 활발하지 못하였다. 실무에서는 최근까지도 기둥축소량 보정은 마이크로소프트 Excel을 이용하여 반자동적인 방법으로 시행착오를 거쳐서 수행하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 현장 적용성을 고려한 실무에서 쉽게 적용 가능한 기둥축소량의 최적보정량 산정을 위한 그래픽-사용자 인터페이스의 컴퓨터 프로그램을 개발하고, 이를 실제 시공된 건물에 적용하여 그 적용성을 평가하는 것을 목적으로 하였다.

2. 기둥축소량 종류, 보정시 제약조건 및 보정방법

기둥축소량은 기하적인 측면에서 절대축소량과 부등축소량이 있고, 재료적인 측면에서 탄성축소와 비탄성축소가 있으며, 시공적인 측면에서 슬래브 타설전 축소량과 슬래브 타설 후 축소량이 있다. 이 중 부등축소량은 수평부재로 연결된 수직부재간의 축소량 차이로서 사용 및 구조상의 문제를 야기한다. 슬래브 타설후 축소량은 슬래브 타설 이후의 추가하중과 콘크리트의 비탄성축소에 의해 발생하는 것으로, 수평부재에 부가하중을 유발하므로 해석을 통해 미리 그 값을 예측하여 보정을 수행할 필요가 있다.

기둥축소량은 예측값을 해석적으로 먼저 구하고 사용성 및 구조성능과 관련된 성능에 따른 제약조건과 시공성 및 경제성과 관련된 시공에 따른 제약조건을 만족하는 최적의 보정량을 산정해야 한다. 성능에 따른 제약조건에는 허용부등처짐비, 허용절대축소량, 누적최대보정량이 있으며, 시공에 따른 제약조건에는 보정 층간격, 보정허용 시작층, 보정 기본두께, 기본두께로 층 보정량을 제한하는 것이 있다.

기둥축소량의 보정법은 보정목적에 따라 절대보정법, 상대보정법, 혼합보정법으로, 보정위치에 따라 기둥하부보정법과 기둥상부보정법으로, 그리고 보정개소에 따라 집중보정법과 분산보정법으로 나누어진다. 실무에서는 현실적인 제약조건으로 인해 대부분 상대보정과 기둥하부보정, 그리고 집중보정을 실시한다.

3. 기둥축소량 최적보정시스템의 구현

3.1 기둥축소량 최적보정시스템의 개요

본 논문에서는 유사한 축소경향을 보이는 기둥들로 구성된 기둥그룹에 대해, 다양한 성능 및 시공상의 제약조건을 만족하면서 보정개소를 최소화할 수 있는 최적의 층그룹 및 이때의 보정량을 산정하는 최적보정시스템을 Visual C++을 이용한 그래픽-사용자 인터페이스의 컴퓨터 프로그램으로 구현하였다. 여기서, 기둥축소량의 최적보정 알고리즘은 Fortran으로 개발된 저자의 선행 연구 결과(김영민, 2008)를 이용하였으며, 이 알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

기둥축소량의 최적보정 알고리즘은 기존의 두 개의 기둥그룹에 대한 최적보정기법(Park, 2003)을 바탕으로 이를 3개 이상의 기둥그룹에도 적용가능하며 동시에 다양한 성능 및 시공상의 제약조건을 만족하도록 확장한 것이다. 여기서의 설계변수는 각 기둥그룹의 보정위치와 이때의 보정량이다.

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

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

동일한 보정을 수행하는 층 구간을 층그룹이라 정의하면, 동일 층그룹에 대해 기둥축소 예측량의 평균값으로 집중보정을 수행하면 식 (1)은 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$\sum_{i=1}^{nsg_k}N_{i,k}\delta_{i,k}^{c}-\sum_{j=1}^{ns}\delta_{j,k}^{p}=0 \tag{2}$$

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

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

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

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

집중보정을 실시하는 경우 동일 층그룹에 속한 모든 층의 누적보정량은 동일하다. 이로 인해, 보정 후에도 각 층에서 축소예측량과 누적보정량의 불일치로 절대축소가 발생한다. 그리고 하나의 기둥그룹에 속한 기둥이 여러 개인 경우에는

각 기둥마다 절대축소량이 다르므로 인접한 기둥간의 절대축소량 차이에 의한 부등축소가 여전히 남아 있다. 따라서, 보정량은 부등축소의 허용기준을 비롯한 2장에서 언급한 여러 성능 및 시공상의 제약조건을 만족해야 한다. 허용부등처짐비, 허용절대축소량, 누적최대보정량, 보정 층간격, 보정허용시작층, 보정 기본두께, 층보정량의 기본두께 제약조건을 정식화하면 각각 식 (5)부터 식 (11)과 같다.

$$\beta = \frac{|\Delta_{j,m} - \Delta_{j,n}|}{L_{m,n}} \le \beta_{allow} \tag{5}$$

$$\Delta_{j,k} = |\delta^{p}_{j,k} - \delta^{c,accum}_{j,k}| \le \Delta_{allow} \tag{6}$$

$$\delta^{c,accum}_{j,k} \le \delta^{accum}_{allow} \tag{7}$$

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

$$\begin{aligned} &\delta^{c,accum}_{j,k} = 0 \ ; (\text{for } j < n_{begin}) \\ &\delta^{c,accum}_{j,k} \ge 0 \ ; (\text{for } j \ge n_{begin}) \end{aligned} \tag{9}$$

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

$$\alpha^{c}_{j,k} = 0 \text{ or } \alpha_{basic} \tag{11}$$

3개 이상의 기둥그룹에 대해서 최적보정량을 산정하기 위해서는 보정을 위한 모든 제약조건을 수평부재로 연결된 기둥그룹간의 모든 수직부재들이 만족해야 한다. 층그룹의 층 증가조건은, 대상 층그룹에서 층을 하나씩 증가시킬 때마다

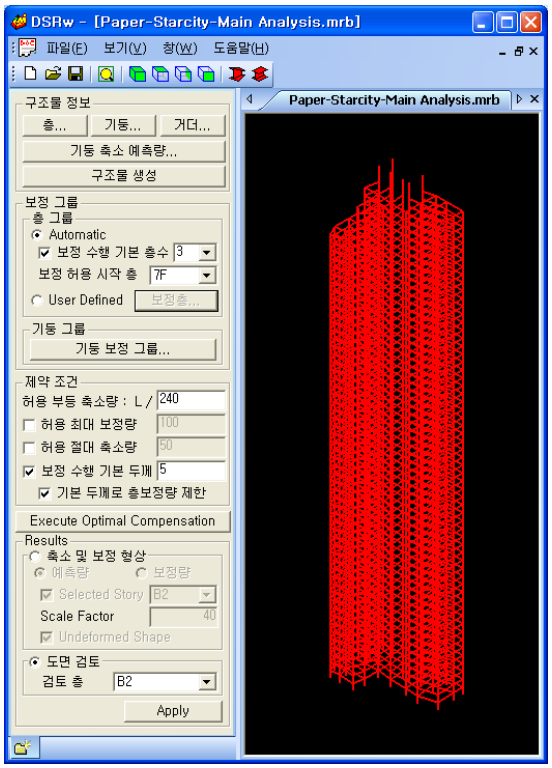


그림 1 기둥축소량 최적보정시스템

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. 층 증가조건이 만족되지 않는 경우에는 층그룹을 분리하며 이에 따라 보정개소는 하나씩 증가하게 된다. 각 기둥 그룹의 최적 층그룹은 모든 층을 시작층으로 보정을 수행한 결과 중에서 층그룹의 개수가 가장 적은 경우로 선정하였다.

구현된 기둥축소량 최적보정시스템의 전체적인 모습은 그림 1과 같다. 구현된 시스템은 실무적용성을 고려하여 여러 층의 누적 축소량을 특정층에서 보정하는 집중보정과 보정기구를 기둥하부에 설치하는 기둥하부보정을 수행한다. 그리고 기둥그룹간의 부등축소량을 보정하는 상대보정과 계획시의 층고를 유지하면서 부등축소량을 보정하는 혼합보정을 모두 지원한다. 또한 2장에서 언급한 성능 및 시공상의 제약조건을 모두 고려할 수 있다.

3.2 기둥축소량 최적보정시스템의 적용 과정

그림 2는 기둥축소량 최적보정시스템의 적용과정이다. 먼저 구조물 정보를 입력한다. 구조물 정보는 층정보와 기둥정보 그리고 거더정보로 구성되며, 이의 입력과정은 그림 3과 같다. 층정보는 층의 이름과 각 층의 층고로 구성되고, 기둥정보는 각 기둥의 좌표로 구성되며, 거더정보는 거더 양단의 기둥으로 구성된다. 다음으로 구조해석으로 구한 기둥의 축소예측량을 입력한다. 그림 4는 각 기둥의 층별 축소예측량 입력 과정이다. 이상의 층정보, 기둥정보, 거더정보를 바탕으로 구조물 형상을 생성한다.

다음으로 기둥그룹과 층그룹을 지정한다. 기둥그룹은 일반적으로 기둥의 강성 및 하중 영향면적을 기준으로 분류되며, 이의 지정과정은 그림 5와 같다. 대체로 코어벽체, 외부기둥, 내부기둥, 코너기둥이 각각 비슷한 축소량 경향을 보이며 각각 동일 기둥그룹으로 분류된다.

층그룹은 자동지정과 수동지정방법이 있다. 자동지정방법은 보정층 간격과 보정 허용시작층을 고려할 수 있다. 보정층 간격은 시공상의 편의를 위한 것으로 이를 고려하지 않으면 층간격과 상관없이 최적의 보정층이 산출된다. 수동지정방법은 보정을 수행할 후보층을 미리 지정하고 해당 후보층 내에서만 보정을 수행하는 방법이다.

다음으로 보정 제약조건을 설정한다. 이에는 허용부등축소량, 허용최대보정량, 허용절대축소량, 보정수행 기본두께, 기본두께로 층보정량을 제한하는 다섯 가지가 있다. 이중 허용

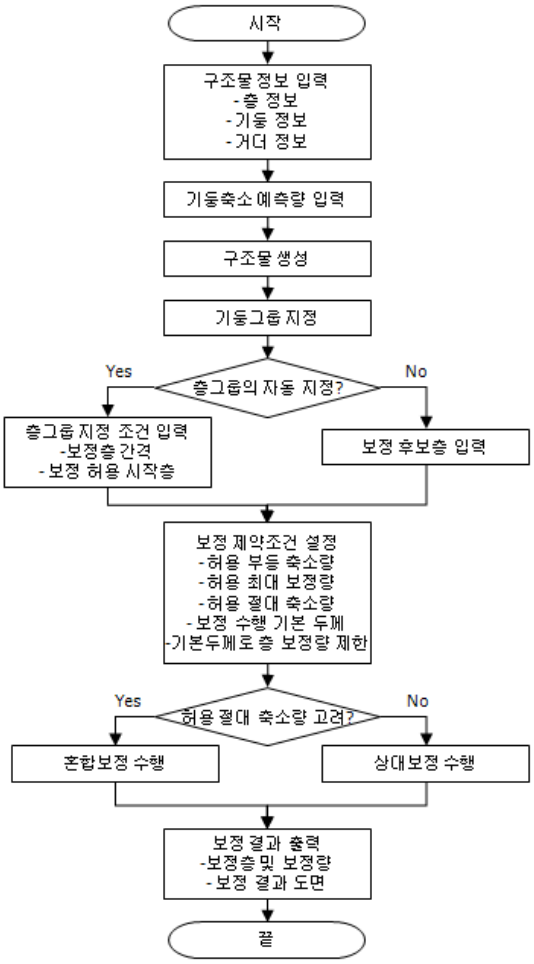
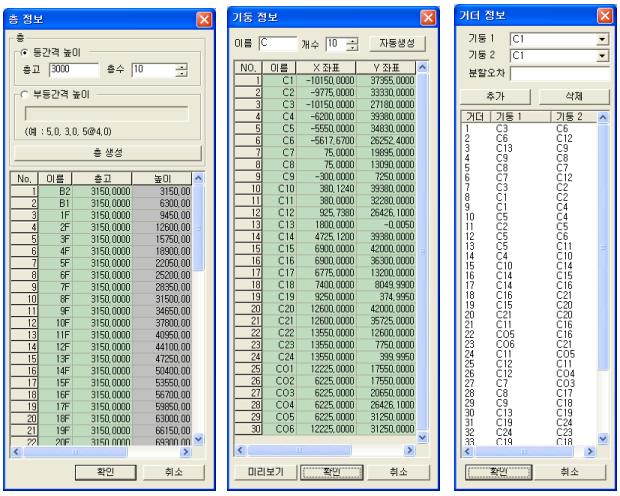


그림 2 최적보정시스템의 적용 과정



(a) 층 정보 (b) 기둥 정보 (c) 거더 정보

그림 3 구조물 정보 입력

절대축소량을 고려하지 않으면 부등축소량만 보정하는 상대보정이 수행되고, 이를 고려하면 절대축소량까지 보정하는 혼합보정이 수행된다. 그림 6은 최적보정 출력 결과물로서, 각 기둥그룹별 보정층과 그 층에서의 보정량이 산출된다.

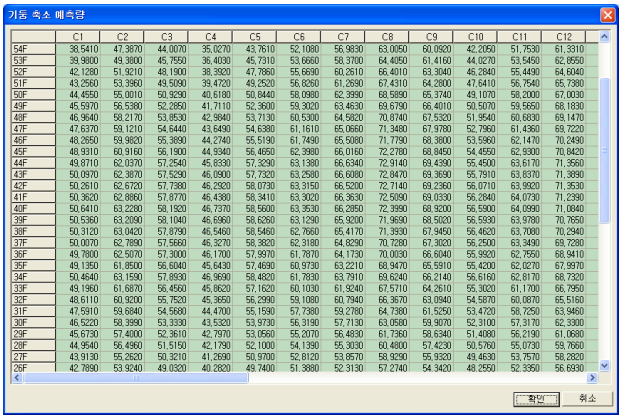


그림 4 기둥축소 예측량 입력

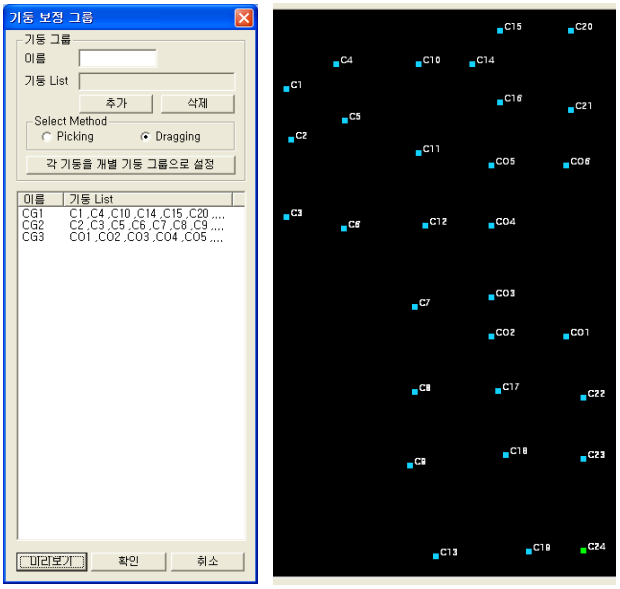


그림 5 기둥그룹의 입력

최적 층그룹 및 보정량

COLUMN GROUP : CG1

STORY GROUP	START STORY (보정층)	END STORY	LUMPED CORRECTION	ACCUMULATED CORRECTION
5	22F	ROOF	5.000	20.000
4	16F	21F	5.000	15.000
3	10F	15F	5.000	10.000
2	7F	9F	5.000	5.000
1	B2	6F	0.000	0.000

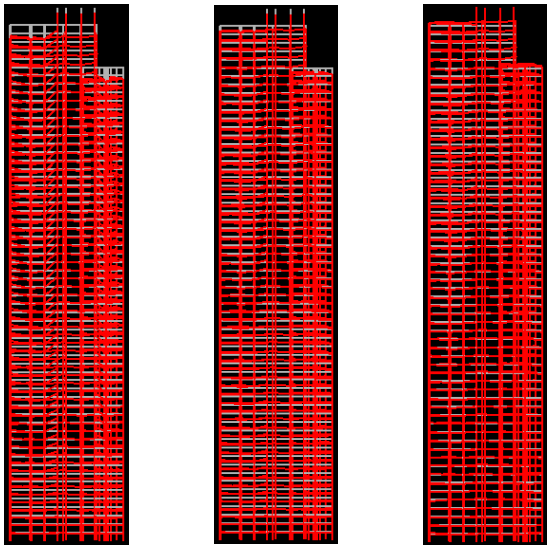
COLUMN GROUP : CG2

STORY GROUP	START STORY (보정층)	END STORY	LUMPED CORRECTION	ACCUMULATED CORRECTION
7	22F	ROOF	5.000	30.000
6	19F	21F	5.000	25.000
5	16F	18F	5.000	20.000
4	13F	15F	5.000	15.000
3	10F	12F	5.000	10.000
2	7F	9F	5.000	5.000
1	B2	6F	0.000	0.000

COLUMN GROUP : CG3

STORY GROUP	START STORY (보정층)	END STORY	LUMPED CORRECTION	ACCUMULATED CORRECTION
1	B2	PHRF	0.000	0.000

그림 6 최적보정결과(보정층 및 보정량)의 출력



(a) 보정전 (b) 상대보정 후 (c) 혼합보정 후

그림 7 보정결과의 그래픽 확인

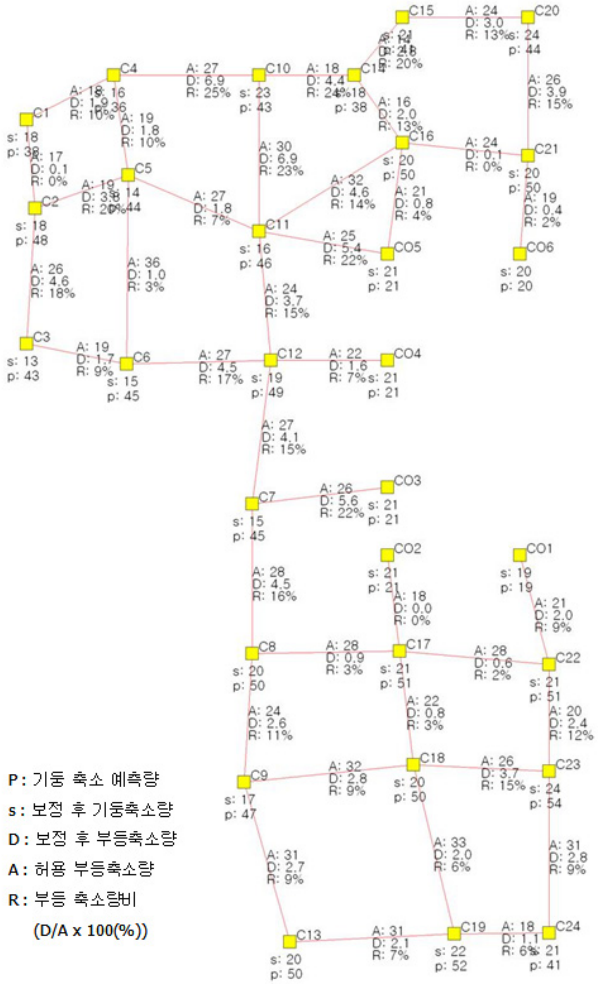


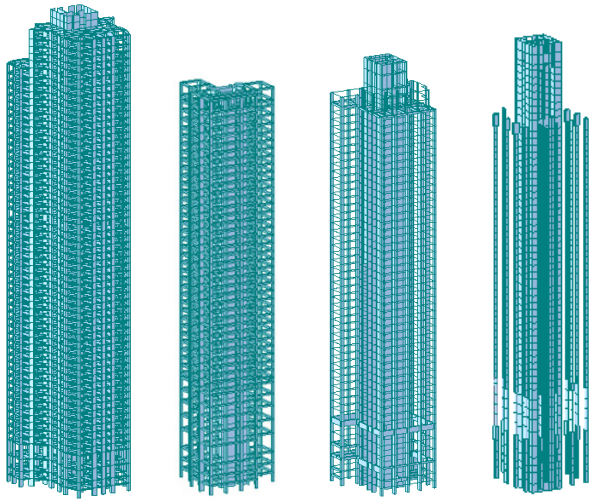
그림 8 기둥축소량 보정결과의 도면 출력(22층)

보정결과는 그래픽으로 확인할 수 있다. 그림 7은 기둥축소량 보정전과 상대보정 및 혼합보정 후의 구조물 형상을 그래픽으로 출력한 것이다. 보정전에는 절대축소량과 부등축소량이 크게 발생하고 있으나, 상대보정후에는 부등축소량이 보정되어 있고, 혼합보정후에는 부등축소량 뿐만 아니라 절대축소량도 보정되어 있는 것을 확인할 수 있다.

특정층에서의 보정결과는 그림 8과 같이 도면으로 확인할 수 있다. 도면에는 기둥축소예측량, 보정후의 기둥축소량, 보정후의 부등축소량, 허용부등축소량, 그리고 허용부등축소량에 대한 보정후 부등축소량의 비인 부등축소량비가 각 기둥과 거더별로 출력된다. 이를 통해 각 층별 기둥축소량 해석 및 보정결과를 일목요연하게 확인할 수 있다.

4. 사례적용 및 적용성 평가

개발된 최적보정시스템을 실제 건물에 적용하여 그 적용성을 평가하였다. 대상 건물은 그림 9에서 보는 네 개의 건물이다. 이 중 첫 번째 건물은 이전의 연구(김영민, 2008)에서 수행된 사례로서 적용결과는 이를 발췌하여 정리하였다. 사례 건물들은 모두 부등축소량이 허용부등축소량을 초과하는 경우가 많아 사용성에 문제가 예상되었다. 따라서, 축소량 해석을 수행하고 시공과정 중 슬래브타설 이후의 절대축소량을 기준으로 인접 기둥과의 상대축소량이 보정되었다.



(a) 사례 A (b) 사례 B (c) 사례 C (d) 사례 D

그림 9 기둥축소량 최적보정 사례 건물의 형상

4.1 사례 A : 61층 철근콘크리트조 주거건물

4.1.1 사례 건물 개요

본 건물은 2003년도에 착공하여 2007년도에 준공된 지하 3층, 지상 61층 건물로서, 기준층 평면은 그림 10과 같다(마이다스아이티(1), 2004). 코어벽체를 포함한 30개 기둥

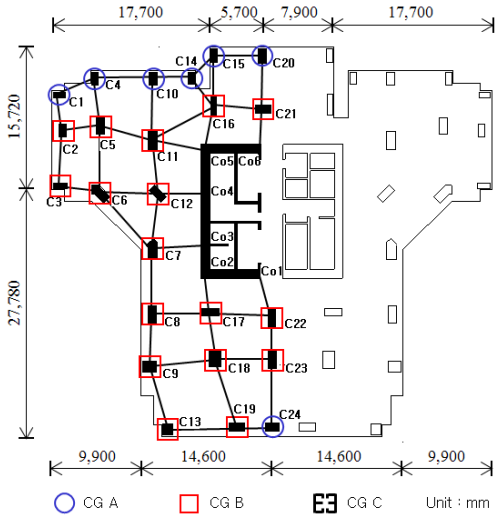


그림 10 사례 A의 평면 및 기둥그룹의 구성

표 1 사례 건물에서의 허용부등축소량 초과 사례

기둥 1	기둥 2	경간 (mm)	허용부등 축소량 (mm)	최대부등 축소량 (mm)	부등 축소량비 (%)	발생층
Co1	C22	5,124	21.35	48.15	225.53	45F
Co2	C17	4,385	18.27	44.78	245.10	45F
Co3	C7	6,196	25.82	36.79	142.49	40F
Co4	C12	5,299	22.08	41.44	187.68	40F
Co5	C11	5,935	24.73	34.23	138.41	39F
Co5	C16	5,095	21.23	39.06	183.98	34F
Co6	C21	4,491	18.71	40.85	218.33	34F
C14	C16	3,770	15.71	17.40	110.76	41F

에 대해서 축소량해석을 하였다. 해석결과 슬래브 타설후 축소량의 전체적인 경향은 코어벽체에서 가장 작고 내부기둥에서 가장 크게 나타났다. 최대축소량은 외부기둥은 C23 기둥의 44층에서 78.9mm, 코어벽체는 Co5 벽체의 43층에서 30.4mm로 예측되었다. 부등축소량은 내부기둥과 코어벽체 사이에서 가장 컸으며, 모두 허용부등축소량 L/240(L: 기둥 중심간 길이)을 초과하였다. 표 1은 허용부등축소량 기준을 초과하는 경우 중 최대값을 정리한 것이다.

4.1.2 적용성 평가

본 건물의 기둥그룹은 하중 부담면적과 축소예측량을 기준으로 그림 10과 같이 3개로 나누어졌다. 일선 구조설계사무소에서의 Excel 시트를 이용한 기둥축소량의 상대보정 결과는 표 2의 좌측과 같다. 본 건물은 좌우 대칭이므로 대칭인 반에 대해서만 축소량해석이 수행되었다. 보정기본두께는 시공성을 고려하여 5mm로 제한되었다. 축소량이 가장 작게 예측된 기둥그룹 C는 보정이 필요하지 않았으며, 상대적으로 축소량이 작은 기둥그룹 A는 네 군데에서, 그리고 축소량이 가장 큰 기둥그룹 B는 여덟 군데에서 보정이 필요한 것으로

표 2 기존방법과 제안된시스템의 상대보정결과(단위 :mm)

No	보정층	기존 방법			제안된 시스템		
		CG A	CG B	CG C	CG A	CG B	CG C
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	-
합계		20	40	0	20	30	0

표 3 기존 방법과 제안된 시스템의 상대보정 결과 비교

기둥 1	기둥 2	허용 부등 축소량 (mm)	기존 방법			제안된 시스템		
			최대 부등 축소량 (mm)	부등 축소량 비 (%)	발생층	최대 부등 축소량 (mm)	부등 축소량 비 (%)	발생층
Co1	C22	21.35	12.78	59.86	6F	18.15	85.01	45F
Co2	C17	18.27	12.34	67.54	59F	14.78	80.90	45F
Co3	C7	25.82	18.86	73.04	59F	10.01	38.77	59F
Co4	C12	22.08	16.21	73.41	59F	11.44	51.81	40F
Co5	C11	24.73	18.55	75.01	59F	13.12	53.05	59F
Co5	C16	21.23	15.11	71.17	54F	10.80	50.87	6F
Co6	C21	18.71	13.91	74.35	54F	12.40	66.27	6F
C14	C16	15.71	8.47	53.91	12F	8.47	53.91	12F

나타났다. 보정 후에는 모든 층에서 허용부등축소량 기준을 만족하였다.

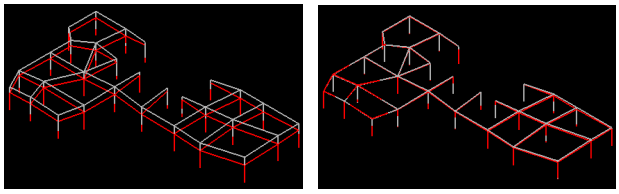
제안된 시스템을 이용한 보정에서는 허용부등축소량은 L/240, 보정 시작층은 7층, 보정층 간격은 3층, 보정기본두께는 5mm, 그리고 층보정량은 기본두께로 제한하였다. 이러한 제약조건에 따른 보정결과는 표 2의 우측과 같다. 기둥그룹 A, B는 각각 4, 6 군데에서, 그리고 기둥그룹 C는 보정이 필요하지 않은 것으로 나타났다.

기존방법과 제안된 시스템에 의한 상대보정 후의 최대부등축소량 및 부등축소량비는 표 3과 같다. 제안된 시스템은 축소량 보정에서 가장 큰 비용이 소요되는 보정개소를 더 적게 하면서도 전 층에서 허용부등축소량 기준을 만족하고 있다. 이로부터 제안된 시스템의 효과성을 확인할 수 있다.

표 4는 제안된 시스템으로 혼합보정한 결과이다. 제약조건으로 허용부등축소량은 L/240, 허용절대축소량은 20mm, 누적최대보정량은 60mm, 보정기본두께는 5mm, 그리고 기본두께로 층보정량을 제한하였다. 보정층 간격과 보정허용 시작층은 제한하지 않았다. 보정결과 기둥그룹 A, B, C는 각각 10, 12, 5군데에서 보정이 필요한 것으로 나타났다. 전체기둥과 전체층에 대한 최대부등축소량비는 기둥 C11과

표 4 제안된 시스템에 의한 혼합보정 결과 (단위 : mm)

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



(a) 보정전 (b) 보정 후

그림 11 혼합보정후 부등축소량의 그래픽 확인(45층)

Co5 사이의 59층에서 73.28%로 나타났다. 그림 11에서는 혼합보정 전후에 특정층(45층)에서 축소량이 보정되는 모습을 3차원 그래픽으로 확인하였다.

혼합보정은 보정량 산정이 어려워 실무 적용이 어려운 실정이다. 그러나 제안된 시스템은 다양한 조건으로 보정량을 쉽게 산정할 수 있어 실무 효용성이 높을 것이라 기대된다.

그림 15의 (a1)과 (a2)에서는 C16과 Co5 기둥에 대하여 제안된 시스템에 의한 상대보정 전후의 부등축소량을 비교하였다. 보정전에는 일부층에서 부등축소량이 허용부등축소량을 초과하였지만, 보정후에는 모두 허용값 이내에 들고 있음을 확인할 수 있다. 그림 15(a3)에서는 혼합보정후의 절대축소량과 부등축소량을 나타내었다. 여기서, Floor level은 지하 3층부터 시작된다.

4.2 사례 B : 42층 철근콘크리트조 주거건물

4.2.1 사례 건물 개요

본 건물은 2004년도에 착공하여 2007년도에 준공된 지하 3층 지상 42층의 건물로서 기준층 평면은 그림 12와 같다(마이다스아이티, 2005). 코어벽체를 포함한 21개 기둥에 대해서 축소량해석을 하였다. 슬래브 타설후 축소량의 전체적인 경향은 외부기둥에서 크게, 코어벽체에서 작게 나타났다. 최대축소량은 외부기둥은 C15 기둥의 27층에서 94.56mm, 코어벽체는 Co2 벽체의 27층에서 50.47mm로 예측되었다.

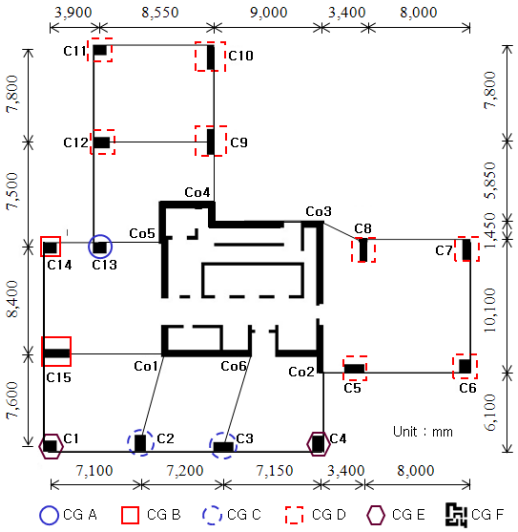


그림 12 사례 B의 평면 및 기둥그룹의 구성

표 5 사례 건물에서의 허용부등축소량 초과 사례

기둥 1	기둥 2	경간 (mm)	허용부등 축소량 (mm)	최대부등 축소량 (mm)	부등 축소량비 (%)	발생층
Co1	C15	9,150	38.13	50.79	133.20	27F
Co1	C2	7,872	32.80	45.60	139.02	27F
Co2	C5	3,400	14.17	20.48	144.53	25F
Co3	C8	3,695	15.40	20.28	131.69	24F
Co4	C9	4,200	17.50	26.91	153.77	26F
Co5	C13	5,250	21.88	51.15	233.78	27F
Co6	C3	7,757	32.32	38.16	118.07	25F

부등축소량은 외부기둥과 코어벽체 사이에서 가장 컸으며, 이 중 Co2와 C4를 제외한 모든 경우에서 허용부등축소량 기준인 L/240을 초과하였다. 표 5는 허용부등축소량 기준을 초과하는 경우 중 최대값을 정리한 것이다.

4.2.2 적용성 평가

본 건물의 기둥그룹은 하중 부담면적과 축소예측량을 기준으로 그림 12와 같이 6개로 나누어졌다. 일선 구조설계사무소에서의 Excel 시트를 이용한 기둥축소량의 상대보정 결과는 표 6과 같다. 이때 보정기본두께는 시공성을 고려하여 5mm로 제한되었다. 기둥그룹 A, B, C, D는 각각 5, 4, 3, 2 군데에서 보정이 필요하고, 기둥그룹 E와 F는 보정이 필요하지 않은 것으로 나타났다. 보정 후에는 대부분 허용부등축소량 기준을 만족하였으나, Co5와 C13 사이의 3층에서 부등축소량비가 102.38%로서 미소하게 기준을 만족하지 못하였다. 실무에서는 본 해석 단계에서 보정후 부등축소량이 기준을 만족하지 못하여도 그 값이 작은 경우에 이후의 시공중의 재해석 단계에서 보정 스케쥴을 변경하여 진행하기도 한다. 본 경우에도 재해석에서 재검토하는 것으로 하였다.

표 6 기존 방법에 의한 상대보정 결과 (단위 : mm)

No	보정층	CG A	CG B	CG C	CG D	CG E	CG F
5	17F	5	-	-	-	-	-
4	14F	5	5	-	-	-	-
3	11F	5	5	5	-	-	-
2	8F	5	5	5	5	-	-
1	6F	5	5	5	5	-	-
합계		25	20	15	10	0	0

표 7 제안된 시스템에 의한 상대보정 결과 (단위 : mm)

No	보정층	CG A	CG B	CG C	CG D	CG E	CG F
9	37F	-	5	5	-	-	-
8	31F	-	-	-	5	5	-
7	21F	-	5	5	-	-	-
6	19F	5	-	-	-	-	-
5	15F	5	5	5	5	5	-
4	12F	5	-	-	-	-	-
3	9F	5	-	-	-	-	-
2	6F	5	-	-	-	-	-
1	B2	5	5	5	5	5	-
합계		30	20	20	15	15	0

표 8 기존 방법과 제안된 시스템의 상대보정 결과 비교

기둥 1	기둥 2	허용 부등 축소량 (mm)	기존 방법			제안된 시스템		
			최대 부등 축소량 (mm)	부등 축소량 비(%)	발생층	최대 부등 축소량 (mm)	부등 축소량 비(%)	발생층
Co1	C15	38.13	30.79	80.75	27F	37.22	97.63	20F
Co1	C2	32.80	30.60	93.29	27F	32.77	99.91	20F
Co2	C5	14.17	10.95	77.28	27F	12.76	90.07	14F
Co3	C8	15.40	12.43	80.71	27F	13.40	87.01	14F
Co4	C9	17.50	16.91	96.63	27F	16.91	96.63	26F
Co5	C13	21.88	22.40	102.38	3F	21.61	98.79	11F
Co6	C3	32.32	23.16	71.66	27F	26.96	83.42	14F

제안된 시스템을 이용한 보정에서는 허용부등축소량은 L/240, 보정기본두께는 5mm, 그리고 층보정량은 기본두께로 제한하였다. 보정 결과는 표 7과 같다. 기둥그룹 A, B, C, D, E는 각각 6, 4, 4, 3, 3군데에서, 보정그룹 F는 보정이 필요하지 않은 것으로 나타났다.

기존방법과 제안된 시스템에 의한 상대보정 후의 기둥 간 최대부등축소량 및 부등축소량비는 표 8과 같다. 제안된 시스템에서는 기존방법보다 보정개소가 다소 많고 분산되어 있다. 그러나 기존방법으로는 일부 층에서 허용부등축소량 기준을 만족하지 못하였으나, 제안된 시스템에서는 전층에서 이를 만족하고 있다. 제안된 시스템의 보정결과로부터 기둥그룹 B와 C, 기둥그룹 D와 E는 보정결과가 동일하여 각각 동일 기둥그룹으로 통합할 여지가 있음을 확인할 수 있다.

표 9 제안된 시스템에 의한 혼합보정 결과 (mm)

No	보정층	CG A	CG B	CG C	CG D	CG E	CG F
19	20F	6	-	-	-	-	-
18	19F	6	-	-	-	-	-
17	17F	-	-	-	-	-	6
16	15F	6	6	-	6	-	-
15	14F	6	6	-	-	-	-
14	13F	-	-	-	-	6	6
13	12F	6	6	6	6	-	-
12	11F	6	-	6	-	6	-
11	10F	-	6	-	6	-	6
10	9F	-	-	-	-	6	-
9	8F	-	6	-	6	-	-
8	7F	6	-	6	-	6	-
7	6F	6	6	6	-	-	-
6	5F	6	6	6	6	6	6
5	4F	6	6	6	6	6	-
4	3F	6	6	6	6	6	6
3	2F	6	6	6	6	6	-
2	1F	6	6	6	6	6	-
1	B2	6	6	6	6	6	6
합계		84	72	60	60	60	36

표 9는 제안된 시스템으로 혼합보정한 결과이다. 제약조건으로 허용부등축소량은 L/240, 허용절대축소량은 30mm, 누적최대보정량은 85mm, 보정기본두께는 6mm, 그리고 기본두께로 층보정량을 제한하였다. 보정층 간격은 1층으로 하였으며 보정허용 시작층은 제한하지 않았다. 보정결과 기둥그룹 A, B, C, D, E는 각각 14, 12, 10, 10, 10, 6군데에서 보정이 필요한 것으로 나타났다. 본 사례는 초기 기둥그룹이 적절하지 않아서 보정기본두께를 6mm로 하고 허용절대축소량을 30mm로 하는 등 최적 보정을 위한 제한 조건을 다른 사례에 비해 다소 완화하였다. 전체기둥과 전체층에 대한 최대부등축소량비는 기둥 C5와 Co2 사이의 지붕층에서 99.74%로 나타났다.

그림 15의 (b1)과 (b2)에서는 C13과 Co5기둥에 대하여 제안된 시스템에 의한 상대보정 전후의 부등축소량을 비교하였다. 그림 15(b3)에서는 혼합보정후의 절대축소량과 부등축소량을 나타내었다. 여기서, Floor level은 지하 3층부터 시작된다.

4.3 사례 C : 49층 철근콘크리트조 주거건물

4.3.1 사례 건물 개요

본 건물은 2003년도에 착공하여 2006년도에 준공된 지하 3층 지상 49층의 건물로서 기준층 평면은 그림 13와 같다(마이다스아이티(2), 2004). 코어벽체를 포함한 32개 기둥

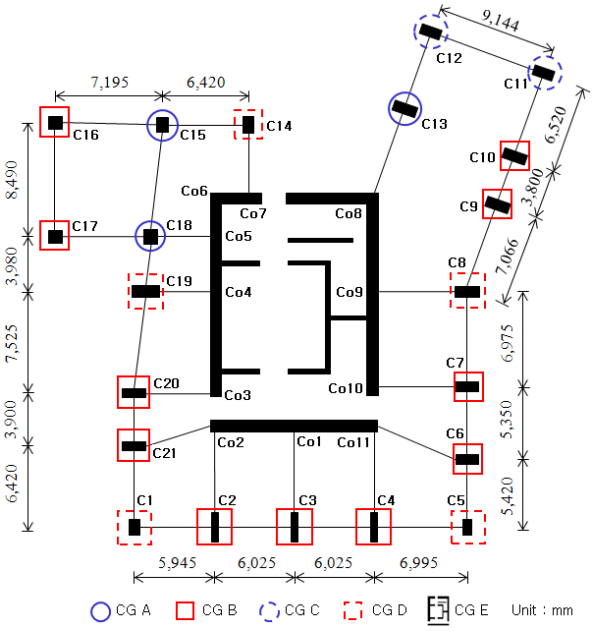


그림 13 사례 C의 평면 및 기둥그룹의 구성

표 10 사례 건물에서의 허용부등축소량 초과 사례

기둥 1	기둥 2	경간 (mm)	허용부등 축소량 (mm)	최대부등 축소량 (mm)	부등 축소량비 (%)	발생층
C1	C2	5,945	24.77	27.52	111.10	34F
C2	Co2	7,847	32.70	35.38	108.20	34F
C3	Co1	7,846	32.69	32.76	100.21	36F
C4	Co11	7,847	32.70	36.09	110.37	34F
C6	Co11	7,522	31.34	37.17	118.60	32F
C20	Co3	6,070	25.29	31.97	126.41	37F
C7	Co10	7,120	29.67	46.04	155.17	36F
C19	C20	7,765	32.35	35.00	108.19	39F
C7	C8	6,975	29.06	45.91	157.98	36F
C18	C19	3,988	16.61	53.43	321.67	36F
C8	C9	7,066	29.44	39.69	134.82	36F
C18	Co5	4,825	20.11	45.92	228.34	32F
C13	Co8	7,059	29.41	53.49	181.88	32F
C14	C15	6,420	26.75	37.47	140.07	34F

에 대해서 축소량해석을 하였다. 슬래브 타설후 축소량의 전체적인 경향은 외부기둥에서 크게, 코어벽체에서 작게 나타났다. 최대축소량은 외부기둥은 C15 기둥의 32층에서 83.13mm, 코어벽체는 Co11 벽체의 34층에서 34.40mm로 예측되었다. 부등축소량은 외부기둥과 코어벽체 사이에서 가장 컸으며, 전체 33개 기둥간 연결 중 14개의 경우에서 허용부등축소량 기준인 L/240을 초과하였다. 표 10은 허용부등축소량 기준을 초과하는 경우 중 최대값을 정리한 것이다.

4.3.2 적용성 평가

본 건물의 기둥그룹은 하중 부담면적과 축소예측량을 기준으로 그림 13과 같이 5개로 나누어졌다. 일선 구조설계사무소에서의 Excel 시트를 이용한 기둥축소량의 상대보정 결과는 표 11과 같다. 이때 보정기본두께는 시공성을 고려하여 5mm로 제한되었다. 기둥그룹 A, B, C, D는 각각 7, 5, 3, 1군데에서 보정이 필요하고, 기둥그룹 E는 보정이 필요

표 11 기존 방법에 의한 상대보정 결과 (단위 : mm)

No	보정층	CG A	CG B	CG C	CG D	CG E
7	23F	5	5	5	5	-
6	20F	5	5	5	-	-
5	17F	5	5	5	-	-
4	14F	5	5	-	-	-
3	11F	5	5	-	-	-
2	9F	5	-	-	-	-
1	7F	5	-	-	-	-
합계		35	25	15	5	0

표 12 제안된 시스템에 의한 상대보정 결과 (단위 : mm)

No	보정층	CG A	CG B	CG C	CG D	CG E
10	43F	-	-	5	-	-
9	31F	5	5	-	-	-
8	27F	5	-	-	-	-
7	24F	5	-	-	-	-
6	21F	-	5	-	-	-
5	19F	5	-	-	-	-
4	15F	5	-	-	-	-
3	11F	5	5	-	-	-
2	8F	5	-	-	-	-
1	1F	5	5	-	-	-
합계		40	20	5	0	0

표 13 기존 방법과 제안된 시스템의 상대보정 결과 비교

기둥 1	기둥 2	허용 부등 축소량 (mm)	기존 방법			제안된 시스템		
			최대 부등 축소량 (mm)	부등 축소량 비 (%)	발생층	최대 부등 축소량 (mm)	부등 축소량 비 (%)	발생층
C1	C2	24.77	13.37	53.98	10F	11.80	47.64	30F
C2	Co2	32.70	18.12	55.41	10F	19.50	59.64	30F
C3	Co1	32.69	18.13	55.46	10F	16.66	50.96	30F
C4	Co11	32.70	21.11	64.56	10F	20.67	63.22	30F
C6	Co11	31.34	21.74	69.37	10F	21.81	69.59	30F
C20	Co3	25.29	14.62	57.81	10F	15.35	60.69	30F
C7	Co10	29.67	21.04	70.91	36F	29.17	98.33	30F
C19	C20	32.35	13.68	42.29	10F	16.21	50.10	30F
C7	C8	29.06	21.71	74.71	10F	28.46	97.93	30F
C18	C19	16.61	18.83	113.37	6F	16.46	99.07	30F
C8	C9	29.44	19.99	67.90	10F	22.62	76.83	30F
C18	Co5	20.11	18.92	94.08	6F	15.79	78.54	14F
C13	Co8	29.41	22.62	76.91	6F	21.50	73.10	23F
C14	C15	26.75	10.22	38.21	6F	14.25	53.27	47F

하지 않은 것으로 나타났다. 보정 후에는 대부분의 경우에 허용부등축소량 기준을 만족하였으나, C18과 C19 사이의 6층에서 부등축소량비가 113.37%로서 기준을 만족하지 못하였다. 이는 이후의 시공중의 재해석 단계에서 재검토하는 것으로 진행하였다.

제안된 시스템을 이용한 보정에서는 허용부등축소량은 L/240, 보정기본두께는 5mm, 그리고 층보정량은 기본두께로 제한하였다. 보정결과는 표 12와 같다. 기둥그룹 A, B, C는 각각 8, 4, 1군데에서, 보정그룹 D와 E는 보정이 필요하지 않은 것으로 나타났다.

기존방법과 제안된 시스템에 의한 상대보정 후의 기둥 간 최대부등축소량 및 부등축소량비는 표 13과 같다. 제안된 시스템은 기존방법보다 보정위치가 다소 분산되어 있으나 보정개소가 16군데에서 13군데로 줄어들었으며, 또한 기존방법으로는 일부 층에서 허용부등축소량 기준을 만족하지 못하였으나, 제안된 시스템에서는 전층에서 이를 만족하고 있다. 한편, 기둥그룹 D와 E는 보정결과가 동일하여 동일 기둥그룹으로 통합할 여지가 있음을 확인할 수 있다.

표 14는 제안된 시스템으로 혼합보정한 결과이다. 이때, 기둥그룹 D와 E는 통합하여 보정하였다. 제약조건으로 허용부등축소량은 L/240, 허용절대축소량은 25mm, 누적최대보정량은 75mm, 보정기본두께는 5mm, 그리고 기본두께로 층보정량을 제한하였다. 보정층 간격과 보정허용 시작층은

표 14 제안된 시스템에 의한 혼합보정 결과 (단위 : mm)

No	보정층	CG A	CG B	CG C	CG D	CG E
21	37F	-	-	5	-	-
20	31F	5	5	-	5	5
19	27F	5	5	5	-	-
18	25F	5	-	-	-	-
17	24F	-	5	-	5	5
16	23F	5	-	5	-	-
15	22F	-	5	-	-	-
14	21F	5	-	-	-	-
13	19F	-	5	5	5	5
12	17F	5	-	-	-	-
11	16F	-	5	-	-	-
10	15F	5	-	5	-	-
9	14F	-	-	-	5	5
8	13F	5	5	-	-	-
7	11F	5	5	5	5	5
6	9F	5	5	5	-	-
5	7F	5	5	-	-	-
4	6F	5	-	-	-	-
3	4F	5	-	-	-	-
2	3F	5	-	-	-	-
1	B2	5	5	5	5	5
합계		75	55	40	30	30

제한하지 않았다. 보정결과 기둥그룹 A, B, C, D, E는 각각 15, 11, 8, 6, 6군데에서 보정이 필요한 것으로 나타났다. 전체기둥과 전체층에 대한 최대부등축소량비는 기둥 C12와 C13 사이의 47층에서 80.77%로 나타났다.

그림 15의 (c1)과 (c2)에서는 C18과 Co5 기둥에 대하여 제안된 시스템에 의한 상대보정 전후의 부등축소량을 비교하였다. 그림 15(c3)에서는 혼합보정후의 절대축소량과 부등축소량을 나타내었다. 여기서, Floor level은 지하 3층부터 시작된다.

4.4 사례 D : 53층 철근콘크리트조 주거건물

4.4.1 사례 건물 개요

본 건물은 2003년도에 착공하여 2006년도에 준공된 지하 5층 지상 53층의 건물로서 기준층 평면은 그림 14와 같다 (마이다스아이티(3), 2004). 코어벽체를 포함한 26개 기둥에 대해서 축소량해석을 하였다. 슬래브 타설후 축소량의 전체적인 경향은 외부기둥에서 크게, 코어벽체에서 작게 나타났다. 최대축소량은 외부기둥은 C6 기둥의 37층에서 92.09mm, 코어벽체는 Co7 벽체의 33층에서 36.44mm로 예측되었다. 부등축소량은 외부기둥과 코어벽체 사이에서 가장 컸으며 전체 30개 기둥간 연결 중 코어벽체와 외부기둥 사이의 12군데에서, 외부기둥간의 2군데에서 허용부등축소량 기준인 L/240을 초과하였다. 표 15는 허용부등축소량 기준을 초과하는 경우 중 최대값을 정리한 것이다.

4.4.2 적용성 평가

본 건물의 기둥그룹은 하중 부담면적과 축소예측량을 기준으로 그림 14와 같이 3개로 나누어졌다. 이 때, 코너에 있는 외부기둥과 코어벽체가 동일한 기둥그룹으로 구성되는 특징이 있다.

일선 구조설계사무소에서의 Excel 시트를 이용한 기둥축소량의 상대보정 결과는 표 16의 좌측과 같다. 이 때 보정기본두께는 시공성을 고려하여 5mm로 제한되었다. 기둥그룹 C는 축소량이 가장 작게 예측되어 보정이 필요하지 않았으며, 상대적으로 축소량이 작은 기둥그룹 B는 세 군데에서, 그리고 축소량이 가장 큰 기둥그룹 A는 다섯 군데에서 보정이 필요한 것으로 나타났다. 보정 후에는 모든 층에서 허용부등축소량 기준을 만족하였다.

제안된 시스템을 이용한 보정에서는 허용부등축소량은 L/240, 보정기본두께는 5mm, 그리고 층보정량은 기본두께로 제한하였다. 보정결과는 표 16의 우측과 같다. 기둥그룹 A와 B는 각각 5, 3군데에서, 기둥그룹 C는 보정이 필요하지 않은 것으로 나타났다. 보정 후에는 전층에서 허용부등축

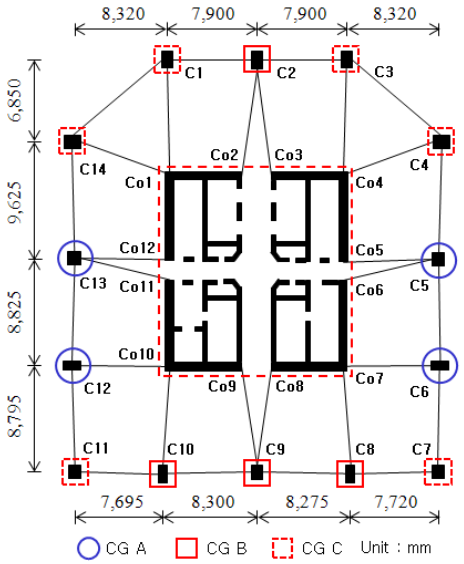


그림 14 사례 D의 평면 및 기둥그룹의 구성

표 15 사례 건물에서의 허용부등축소량 초과 사례

기둥 1	기둥 2	경간 (mm)	허용부등 축소량 (mm)	최대부등 축소량 (mm)	부등 축소량비 (%)	발생층
C11	C12	8,798	36.66	39.23	107.02	41F
C9	Co9	8,878	36.99	40.15	108.54	37F
C10	Co10	8,997	37.49	44.77	119.43	33f
C12	Co10	8,620	35.92	56.16	156.36	37F
C13	Co11	8,640	36.00	53.49	148.58	37F
C13	Co12	8,400	35.00	51.97	148.49	37F
C2	Co2	9,815	40.90	47.12	115.22	37F
C6	C7	8,798	36.66	39.75	108.43	41F
C9	Co8	8,878	36.99	39.41	106.54	37F
C8	Co7	8,995	37.48	43.39	115.77	33F
C6	Co7	8,620	35.92	55.88	155.58	37F
C5	Co6	8,640	36.00	52.20	145.00	37F
C5	Co5	8,400	35.00	51.58	147.37	37F
C2	Co3	9,815	40.90	42.27	103.36	37F

표 16 기존방법과 제안된시스템의 상대보정결과(단위 :mm)

No	기존 방법				제안된 시스템			
	보정층	CG A	CG B	CG C	보정층	CG A	CG B	CG C
5	27F	5	5	-	36F	5	5	-
4	23F	5	5	-	27F	5	5	-
3	19F	5	5	-	18F	5	5	-
2	15F	5	-	-	9F	5	-	-
1	11F	5	-	-	B1	5	-	-
합계		25	15	0	합계	25	15	0

소량 기준을 만족하였다. 기존방법과 제안된 시스템에 의한 상대보정 후의 기둥 간 최대부등축소량 및 부등축소량비는 표 17과 같다. 본 사례에서는 기존방법과 제안된 시스템의 보정결과가 보정개소와 위치 등 그 성능에 있어서 유사하게

표 17 기존 방법과 제안된 시스템의 상대보정 결과 비교

기둥 1	기둥 2	허용 부등 축소량 (mm)	기존 방법			제안된 시스템		
			최대 부등 축소량 (mm)	부등 축소량 비 (%)	발생층	최대 부등 축소량 (mm)	부등 축소량 비 (%)	발생층
C11	C12	36.66	14.23	38.82	41F	17.45	47.60	35F
C9	Co9	36.99	27.86	75.31	18F	30.48	82.40	26F
C10	Co10	37.49	32.85	87.63	18F	35.79	95.47	26F
C12	Co10	35.92	31.16	86.76	37F	35.50	98.83	35F
C13	Co11	36.00	28.49	79.14	37F	32.14	89.27	35F
C13	Co12	35.00	26.97	77.06	37F	30.67	87.62	35F
C2	Co2	40.90	32.12	78.54	37F	36.44	89.10	35F
C6	C7	36.66	14.75	40.24	41F	18.00	49.10	35F
C9	Co8	36.99	27.10	73.26	18F	29.66	80.18	26F
C8	Co7	37.48	31.73	84.66	18F	34.43	91.86	26F
C6	Co7	35.92	30.88	85.98	37F	35.20	98.00	35F
C5	Co6	36.00	27.20	75.56	37F	30.82	85.61	35F
C5	Co5	35.00	26.58	75.94	37F	30.30	86.56	35F
C2	Co3	40.90	32.27	78.91	37F	36.59	89.47	35F

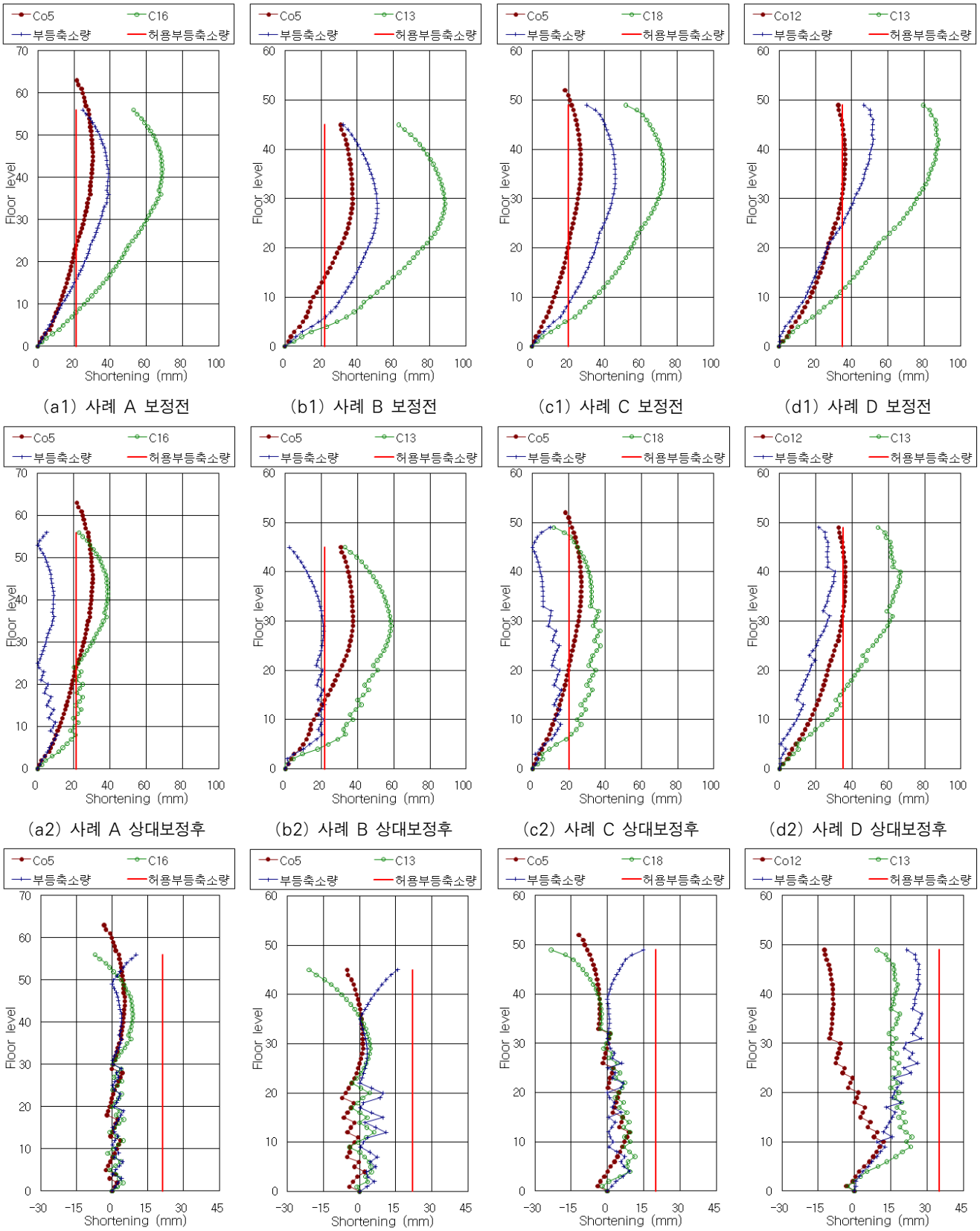
표 18 제안된 시스템에 의한 혼합보정 결과 (단위 : mm)

No	보정층	CG A	CG B	CG C	No	보정층	CG A	CG B	CG C
11	14F	5	-	-	22	32F	5	5	-
10	13F	-	5	5	21	27F	5	5	-
9	12F	5	-	-	20	26F	-	-	5
8	11F	-	5	-	19	24F	5	-	-
7	10F	5	-	5	18	23F	-	5	-
6	9F	-	5	-	17	22F	5	-	-
5	8F	5	-	5	16	21F	-	-	5
4	7F	5	5	-	15	20F	5	5	-
3	6F	-	-	5	14	19F	-	-	5
2	5F	5	5	-	13	18F	5	5	-
1	B5	5	5	-	12	16F	5	5	5
					합계		70	60	45

나타났다.

표 18은 제안된 시스템으로 혼합보정한 결과이다. 제약조건으로 허용부등축소량은 L/240, 허용절대축소량은 25mm, 누적최대보정량은 75mm, 보정기본두께는 5mm, 그리고 기본두께로 층보정량을 제한하였다. 보정층 간격과 보정허용 시작층은 제한하지 않았다. 보정결과 기둥그룹 A, B, C는 각각 14, 12, 9군데에서 보정이 필요한 것으로 나타났다. 전체기둥과 전체층에 대한 최대부등축소량비는 기둥 C10과 Co10 사이의 26층에서 95.47%로 나타났다.

그림 15의 (d1)과 (d2)에서는 C13과 Co12기둥에 대하여 제안된 시스템에 의한 상대보정 전후의 부등축소량을 비교하였다. 그림 15(d3)에서는 혼합보정후의 절대축소량과 부등축소량을 나타내었다. 여기서, Floor level은 지하 5층부터 시작된다.



(a1) 사례 A 보정전 (b1) 사례 B 보정전 (c1) 사례 C 보정전 (d1) 사례 D 보정전

(a2) 사례 A 상대보정후 (b2) 사례 B 상대보정후 (c2) 사례 C 상대보정후 (d2) 사례 D 상대보정후

(a3) 사례 A 혼합보정후 (b3) 사례 B 혼합보정후 (c3) 사례 C 혼합보정후 (d3) 사례 D 혼합보정후

(a) 사례 A의 C16-Co5 기둥 (b) 사례 B의 C13-Co5 기둥 (c) 사례 C의 C18-Co5 기둥 (d) 사례 D의 C13-Co12 기둥

그림 15 제안된 시스템에 의한 상대보정 및 혼합보정 전후의 부등축소량 비교

5. 결 론

1) 본 연구에서는 기둥축소량의 최적보정시스템을 실무에서 현장 적용성을 고려하여 쉽게 적용 가능하도록 그래픽-사용자 인터페이스의 컴퓨터 프로그램으로 개발하고, 이를 실제 시공된 건물에 적용하여 그 적용성을 평가하였다.
2) 제안된 시스템은 기둥그룹간의 상대적인 축소량인 부등축소량을 보정하는 상대보정뿐만 아니라 계획시의 층고를 유지하면서 기둥그룹간의 부등축소량을 보정하는 혼합보정도 가능하다.
3) 제안된 시스템에서는 기둥축소량 보정전과 보정후의 구조물 형상을 그래픽으로 확인가능하며, 특정층에서의 보정결과는 도면으로 확인할 수 있다. 도면에는 기둥축소예측량, 보정후의 기둥축소량, 보정후의 부등축소량, 허용부등축소량, 그리고 부등축소량비가 각 기둥과 거더별로 출력되어 기둥축소량 보고서에 바로 활용할 수 있다.
4) 제안된 시스템의 실무적용 결과, 제약조건을 쉽게 변경하면서 축소량 보정을 수행할 수 있어 기존의 방법에 비해 업무효율이 증가됨을 확인하였다. 또한, 기존의 방법으로는 다양한 조건으로 보정을 수행하기 어려워 제약조건을 만족하는 보정결과를 얻지 못하는 경우도 있었으나, 제안된 시스템에서는 제약조건을 만족하는 보정결과를 손쉽게 얻을 수 있어 그 효과성을 확인하였다.
5) 실제 사례에 대한 기둥축소량 보정에서 기존의 방법으로는 전체 4개 중 2개의 사례에서 기둥그룹이 적절하지 못하여 제약조건을 만족하는 보정량을 끝내 산정하지 못하였다. 제안된 시스템에서는 제약조건을 만족하는 보정량은 쉽게 산정할 수 있었지만, 보정개소가 많고 보정위치가 분산되는 등 보정의 효율성이 다소 떨어졌다. 이를 통해, 축소량 보정을 효과적으로 수행하기 위해서는 초기 기둥그룹의 적절한 산정이 필요함을 확인하였다. 이에, 추후 연구에서는 축소량 보정의 효율을 높이기 위한 초기 기둥그룹의 효과적인 산정방법에 대한 연구를 수행하고자 한다.

기호 정리

i : 층그룹의 수 $(i=1,2,\cdots,nsg_k)$
j : 층수 $(j=1,2,\cdots,ns)$
k : 기둥의 수 $(k=1,2,\cdots,nc)$
ns : 전체 층 수
nc : 전체 기둥 수
nsg_k : k 기둥의 층그룹의 개수
$N_{i,k}$: k 기둥의 층그룹 i에 속한 층수
$\delta^{p}_{j,k}$: k 기둥의 j 층에서의 축소예측량
$\delta^{c}_{j,k}$: k 기둥의 j 층에서의 소요보정량
$\delta^{c}_{i,k}$: k 기둥의 층그룹 i에서의 소요보정량
$\alpha^{c}_{j,k}$: k 기둥의 j 층에서의 실보정량
$\Delta_{j,k}$: k 기둥의 j 층에서의 보정 후 절대축소량
$\delta^{c,accum}_{j,k}$: k 기둥의 j 층에서의 누적보정량
β : 부등처짐비
β_{allow} : 허용부등처짐비
δ^{accum}_{allow} : 허용누적최대보정량
Δ_{allow} : 허용절대축소량
$L_{m,n}$: 기둥 m과 n 사이의 거리
N_{gap} : 보정 기본 층간격
n_{begin} : 보정허용 시작층
α_{basic} : 보정 기본두께

감사의 글

이 논문은 2009년도 명지대학교 교내연구비 지원사업에 의하여 연구되었음. (주)마이다스아이티의 실무 데이터 제공에도 감사드립니다.

참 고 문 헌

김영민 (2008) 고층건물의 멀티 기둥그룹에 대한 부등기둥축소량의 최적보정기법, 한국전산구조공학회 논문집, 21(2), pp.189~197.

마이다스아이티 (2005) 영등포 SK Leader's View 기둥축소량 계측 및 보정 본해석 보고서, (주)마이다스아이티, p.200.

마이다스아이티(1) (2004) 더 샵 스타시티 기둥축소량 계측 및 보정 본해석 보고서, (주)마이다스아이티, p.420.

마이다스아이티(2) (2004) 해운대 더 샵 아델리스 기둥축소량 계측 및 보정 본해석 보고서, (주)마이다스아이티, p.310.

마이다스아이티(3) (2004) 온천동 SK Hub Sky 기둥축소량 계측 및 보정 본해석 보고서, (주)마이다스아이티, p.325.

양원직, 이원호 (2007) 초고층 건축물의 부등축소량 예측을 위한 새로운 알고리즘, 대한건축학회 논문집, 23(4), pp.35~42.

윤경조, 민경원, 이상현 (2007) 분산제어식 응답의존형 MR 감쇠기를 이용한 구조물의 지진응답제어, 한국전산구조공학회 논문집, 20(6), pp.761~767.

이상현 (2007) 비선형 구조물에 대한 수정 슬라이딩모드 제어 알고리즘 성능 평가, 한국전산구조공학회 논문집, 20(2), pp.147~155.

정은호, 김희철 (1997) 고층건물 기둥축소량 계산을 위한 프로그램 개발에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 13(11), pp.311~322.

조강표, 신성우, 정승환, 조수연 (2007) 고층 건축물의 수평진동에 대한 거주자의 지각임계가속도, 한국전산구조공학회 논문집, 20(3), pp.371~377.

조용수, 송화철 (2002) 초고층건물 기둥축소량의 확률론적 해석법, 대한건축학회 논문집, 18(1), pp.53~60.

현대건설(주) 기술연구소 (1998) 고층건물 기둥의 부등축소량 예측 및 모니터링 시스템 구축에 관한 연구, p.212.

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.

Jayasinghe M.T.R., Jayasena W.M.V.P.K. (2005) Effect of Relative Humidity on Absolute and Differential Shortening of Columns and Walls in Multistory Reinforced Concrete Buildings, *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 10(2), pp.88~97.

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.

Pan L.B., Liu P.C., Bakoss S.L. (1993) Long-Term Shortening of Concrete Columns in Tall Buildings, *Journal of Structural Engineering*, 119(7), pp.2258~2262.

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.

Zhi G.I., Mark A.B. (1993) Time-Dependent Shortening of Slender RC Columns, *Journal of Engineering Mechanics*, 119(10), pp.2036~2051.

● 논문접수일 2009년11월 5일
● 논문심사일
1차 2009년11월18일
2차 2010년 1월19일
● 게재확정일 2010년 1월25일