

부재력 특성을 고려한 설계변수를 사용한 고층건물 변위조절설계법 개발

Development of Drift Design Method for High-rise Buildings Considering Characteristics of Member Forces

박 호 선† 서 지 현*

Park, Hyo-Seon Seo, Ji-Hyun

(논문접수일 : 2004년 2월 2일 ; 심사종료일 : 2004년 5월 25일)

요 지

재분배기법을 이용한 변위조절설계법이 고층건물의 실용적인 변위제어 기법으로 제안되고 있다. 현재까지 대부분의 재분배기법을 이용한 변위조절설계법은 일률적으로 단면적을 설계변수로 사용하고 있으나, 부재 특성에 따라 지배적인 부재력이 다르므로 부재력 특성을 고려하여 설계변수를 선택할 필요가 있다. 그러므로 본 연구에서는 부재별로 부재력 특성을 고려한 설계변수를 사용한 변위조절설계법을 제안하고 이를 20층 강접골조-전단벽 구조물의 변위조절설계에 적용하여 기존의 단면적을 설계변수로 사용한 변위조절설계법과 비교 평가하였다. 적용 결과, 부재 특성을 고려한 변위조절설계법이 부재별로 지배적인 부재력에 해당하는 부재 단면성능을 설계변수로하여 부재별 변위기여도를 직접 조절하므로 물량 및 변위 예측의 정확도 측면에서 비슷하거나 더 우수함을 알 수 있었다.

핵심용어 : 고층건물, 변위설계, 최적화, 재분배기법, 변위기여도

Abstract

Drift design methods using resizing techniques have been presented as a practical drift control methods of high-rise buildings. Most drift design methods using the resizing techniques have adopted the cross-sectional area as the design variables for all structural members in a structure. However, the cross-sectional area is not always governing sectional property for the structural members, but the governing sectional property of each member is dependent on the characteristics of member forces. In this paper, a drift design method using the sectional property related to the governing displacement participation factor as the design variable of each member is presented and applied to the drift design of 20-story steel frame-shear wall system. It can be noted from example test that drift design method considering member characteristics shows similar or somewhat better results in the view point of structural weights and the accuracy of displacement estimation.

keywords : high-rise buildings, drift design, optimization, resizing technique, design participation factor

1. 서 론

특정 부재의 단면 성능을 직접 조절하여 부재별 강도조건을 만족시키는 강도설계와는 달리 고층건물의 횡변위 제어에는 고층구조물의 횡하중 지지시스템을 구성하는 모든

부재들이 연관되어 있으므로 특정 부재의 단면 성능만을 변화시켜 횡변위 제한 조건을 만족시키기는 어렵다. 최근 최적화 기법을 이용한 고층건물 변위조절 설계법이 개발되고 있으나 과도한 계산량과 해석시간으로 인해 실무적용에는 아직 많은 한계를 가지고 있다.

† 정희원 · 연세대학교 건축 · 도시공학부 부교수
전화: 02-2123-2794 ; Fax: 02-365-4668
E-mail: hspark@yonsei.ac.kr

* 연세대학교 건축 · 도시공학부 박사과정

• 이 논문에 대한 토론을 2004년 9월 30일까지 본 학회에 보내주
시면 2004년 12월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

이러한 고층건물 변위조절설계의 과도한 계산량을 극복하기 위한 방법으로 1990년대 초 에너지법을 이용한 재분배기법이 제안되었다.^{1)~3)} 재분배 기법을 이용한 변위조절설계법은 구조해석 결과를 이용하여 간단한 계산만으로 제어하고자 하는 지점의 변위에 대한 각 부재들의 변위기여도(Displacement Participation Factors)를 계산할 수 있으며, 이를 최적화 문제로 정식화하여 물량을 분배함으로써 변위를 제어하는 실용적인 변위제어기법이다.^{6),7),14)}

Park과 Ahn은 재분배기법을 이용한 변위조절설계법을 먼저 강 구조물을 대상으로 개발하였으며⁷⁾ 그 후 Park과 Seo는 탄성계수 비를 이용하여 강접골조-전단벽 구조물에 적용 가능한 재분배 기법을 제안하였다.^{9),14)} 또한 Park과 Seo는 실제 구조물이 횡하중과 연직하중을 동시에 받으므로 횡하중과 연직하중이 동시에 작용하는 경우를 고려한 변위조절 설계법을 제안하였다.^{10),12)} 여기서, 횡하중과 연직하중이 동시에 작용하는 경우, 각 부재에 축적되는 변형에너지가 달라지므로 횡하중과 연직하중이 고려된 변위기여도를 이용하여 물량을 재분배함으로써 변위조절설계시 연직하중의 영향을 동시에 고려해 주었다. 또한, 설계 및 시공의 효율성을 높이기 위해 설계 변수의 그룹핑(Design Variable Linking Strategy)을 적용하였다. Park과 Ahn은 부재 단면적과 단면2차모멘트를 설계 변수로 하는 재분배기법을 제안하여 두 방법을 절괄 고층건물의 변위조절 설계에 적용한 결과, 두 방법은 거의 비슷한 결과를 보이는 것으로 결론을 내렸다.⁸⁾

이제까지 재분배기법을 이용한 변위조절설계법이 단면적이거나 단면2차모멘트를 설계변수로 모든 부재에 일률적으로 적용하였으나,^{6)~12)} 부재 특성에 따라 지배적인 부재 성능이 다르므로 부재특성을 고려하여 설계변수를 선택할 필요가 있다. 그러므로 본 연구에서는 부재특성을 고려하여 부재별로 설계변수를 사용한 변위조절설계법을 제안하고자 한다. 제안된 부재특성을 고려한 변위조절설계법을 20층 강접골조-전단벽 구조물의 변위조절설계에 적용하였으며, 기존의 일률적으로 단면적을 설계변수로 사용한 변위조절설계법과 변위, 층간 변위, 물량 측면에서 비교 분석해 보았다.

2. 변위기여도

고층건물의 변위제어는 구조물량과 구조 시스템을 결정 짓는 중요한 요소로 인식되고 있지만 구조해석 결과에서 변위제어에 대한 직접적인 정보를 얻을 수가 없으므로 설계자의 경험과 직관에 의존하여 부재 성능을 반복적으로 조절하여 변위를 제어하거나, 구조민감도 해석을 통해 변위에 영향이 큰 부재를 선택하여 단면 성능을 변경하여 변

위를 제어하는 방법이 이용될 수 있다. 전자는 이론적 근거 없는 반복 부재 선택과 구조 해석으로 인해 구조 설계의 경제성 및 효율성을 보장할 수 가 없으며, 후자는 고층건물의 부재 수 및 자유도 수를 감안하면 과도한 계산량의 요구로 인해 실용적인 방법이 되지 못한다.^{4),5),13)} 이에 반하여 재분배기법을 이용한 변위조절설계법은 구조해석 결과에서 얻어진 부재력을 이용하여 제어하고자 하는 변위에 대한 각 부재들의 변위기여도를 비교적 간단한 계산으로 구할 수 있으며, 이는 민감도 해석에서 민감도 계수와 같은 의미를 가지게 된다.⁶⁾

변위기여도는 제어하고자 하는 변위에 대한 각 부재들의 기여도를 나타내는 것으로 구조해석 결과인 부재력을 이용하여 부재특성 고려의 여부에 상관없이 식 (1)과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} \delta_i &= \sum_{i=1}^m \delta_i = \sum_{i=1}^k (\delta_i^N + \delta_i^M + \delta_i^V) \\ &= \sum_{i=1}^k \left\{ \int_0^l \frac{N_i^L N_i^U}{EA_i} dx + \int_0^l \frac{M_i^L M_i^U}{EI_i} dx \right. \\ &\quad \left. + \alpha \int_0^l \frac{V_i^L V_i^U}{GA_i} dx \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, δ_i , δ_i 는 각각 제어하고자 하는 건물 최상층 변위, i 번째 부재의 변위기여도를 나타내며, δ_i^N , δ_i^M , δ_i^V 은 각각 i 번째 부재의 축력, 모멘트, 전단력에 의한 변위기여도를 나타낸다. N , M , V 는 각각 축력, 모멘트, 전단력을 나타내며, 상첨자 L 과 U 는 각각 실제하중과 단위하중을 나타내며, m 은 전체 부재수를 나타낸다.

제어하고자 하는 변위(δ_i)는 모든 부재의 부재 변위기여도(δ_i)의 합으로 표현이 되며, 부재별 변위기여도는 그 부재에 발생하는 축력, 모멘트, 전단력에 의한 변위기여도의 합으로 표현된다. 구조물의 형상과 재료물성이 결정되었다면, 식 (1)과 같이 각 부재력별 변위기여도는 그와 관련된 부재 성능에 반비례한다.

3. 변위 설계법의 정식화

기존 연구^{6)~12),14)}에서 목적함수는 제어하고자 하는 구조물 최상층의 변위(δ_i)를 최소화하는 것으로서, 부재 변위기여도는 물량에 반비례하는 것으로 가정하여 식 (2)와 같이 나타냈다. 부재 변위기여도는 물량에 반비례하므로 물량 수정계수와 반비례하는 것으로 표현될 수 있다. 제약함수는 재분배전후에 전체 물량의 변화가 없는 것으로 식 (3)과 같이 표현하였다.

$$\text{Minimize } \delta_i = \sum_{i=1}^m \frac{\delta_i}{\beta_i} \quad (2)$$

$$\text{Subject to } \sum_{i=1}^m W_i = \sum_{i=1}^m \beta_i W_i \quad (3)$$

여기서 β_i, W_i 는 각각 i 번째 부재의 물량 수정계수와 물량을 나타내며, m 은 전체 부재수를 나타낸다. 기존 연구^{(6)~(14)}에서 단면적을 설계 변수로 사용하였으므로 변위기여도는 단면적과 직접 관련된 물량에 반비례하는 것으로 가정하였으나, 실제로 변위기여도는 식 (1)과 같이 부재별 단면 성능(단면적, 단면2차모멘트)에 반비례한다. 즉, 축력과 전단력에 의한 변위기여도는 단면적에 반비례하며, 모멘트에 의한 변위기여도는 단면2차모멘트에 반비례한다. 그러므로 본 연구에서는 부재별로 가장 지배적인 부재력별 변위기여도와 관련된 부재 성능을 설계 변수로 선정하여 이를 수정함으로써 변위를 최소화하는 변위조절설계법을 제안하고자 한다. 본 연구에서 부재특성을 고려하여 부재별로 설계 변수를 사용하는 변위조절설계법 개발을 위해 목적함수는 식 (4)와 같이 표현될 수 있다.

$$\text{Minimize } \delta_i = \sum_{i=1}^m \frac{\delta_i}{\beta_i^{(N,M,V)}} \quad (4)$$

여기서, $\beta_i^{(N,M,V)}$ 는 i 번째 부재의 축력, 모멘트, 전단력에 의한 변위기여도 중 가장 지배적인 변위기여도와 관련된 단면 성능을 변경시키는 수정계수이다. $\beta_i^{(N,M,V)}$ 는 식(2), (3)의 β_i 와 같은 값을 가지며 표현만 다를 뿐이다. 위와 같은 제약 최소화 문제는 라그랑지 승수(Lagrange multiplier)를 이용하여 무제약 최소화 문제로 치환될 수 있으며 K-T 조건(Kuhn-Tucker Conditions)을 이용하면 수정 계수 $\beta_i^{(N,M,V)}$ 는 식 (5)와 같이 구해진다.

$$\beta_i^{(N,M,V)} = \sqrt{\frac{\delta_i}{W_i} \frac{\sum_{i=1}^m W_i}{\sum_{i=1}^m \sqrt{\delta_i W_i}}} \quad i = 1, \dots, m \quad (5)$$

부재별로 가장 지배적인 부재력별 변위기여도(δ_i^{\max})는 식 (6)과 같이 표현되어지며, 식 (7), (8), (9)와 같이 부재특성을 고려하여 설계변수로 선택된 부재성능이 수정되어진다.

$$\delta_i^{\max} = \max\{\delta_i^N, \delta_i^M, \delta_i^V\} \quad (6)$$

$$A_i^{\text{new}} = A_i^{\text{ini}} \times \beta_i^{(N,M,V)} \quad \text{when } \delta_i^{\max} = \delta_i^N \quad (7)$$

$$I_i^{\text{new}} = I_i^{\text{ini}} \times \beta_i^{(N,M,V)} \quad \text{when } \delta_i^{\max} = \delta_i^M \quad (8)$$

$$A_i^{\text{new}} = A_i^{\text{ini}} \times \beta_i^{(N,M,V)} \quad \text{when } \delta_i^{\max} = \delta_i^V \quad (9)$$

여기서, A, I 는 각각 단면적, 단면 2차모멘트를 나타내며, ini, new는 각각 초기설계와 재분배 후를 나타낸다. 일단, 부재별로 설계변수로 사용된 단면 성능이 수정되면 그 외의 단면 성능은 설계변수로 사용된 단면성능과의 관계에 의해서 구해진다. 제안된 부재 특성을 고려한 변위제 어기법은 강도설계 모듈과 결합되어 그림 1과 같은 고층건물 변위설계 모델로 표현될 수 있다. 재분배 기법을 이용한 변위조절설계법은 크게 다음과 같은 의미를 가지고 있습니다. 첫째, 초기 설계가 허용 변위를 만족하지 못하는 경우 변위를 효과적으로 제어할 수 있는 방법으로 사용될 수 있으며, 둘째, 재분배 후에도 변위를 만족하지 못하는 경우 변위제어를 위한 추가적인 물량의 예측할 수 있는 방법을 사용될 수 있다. 셋째, 초기 예측 변위가 허용변위를 만족하는 경우 재분배기법을 적용하여 추가적인 변위제어를 통해 사용성 측면에서 보다 효율적인 강성설계가 될 수 있도록 하는 것이며, 넷째, 초기 설계 모델이 허용변위를 만족하는 경우 구조물의 물량을 조절하여 허용 변위를 만족시키기 위한 적정한 물량에 대한 지표로 활용될 수도 있다.⁽¹⁵⁾

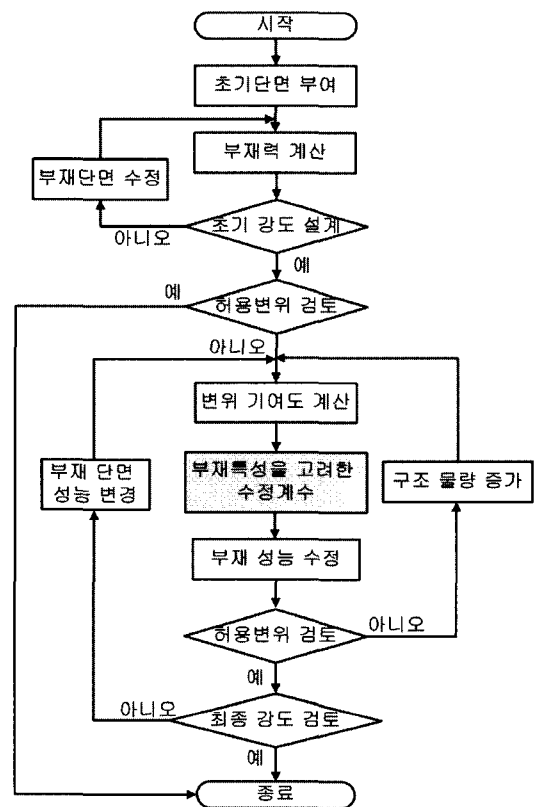


그림 1 고층 구조물의 변위설계 모델

4. 예제적용

예제로 사용된 20층 강접골조-전단벽 구조물은 높이 80m, 밑면 길이 36m이며 160개의 철골 부재와 철근 콘크리트 전단벽으로 구성되어 있다. 초기 설계된 철골 부재의 종류와 전단벽의 두께는 표 1과 같으며 구조물 형상은 그림 2와 같다. 철골 부재의 항복강도 및 탄성계수는 각각 2800kgf/cm^2 , $2.1 \times 10^6\text{kgf/cm}^2$ 이며, 철근의 항복강도는 4000kgf/cm^2 이다. 전단벽의 콘크리트 강도와 탄성계수는 각각 240kgf/cm^2 , $2.3 \times 10^5\text{kgf/cm}^2$ 이다. 풍하중은 대한건축학회 「건축물 하중기준 및 해설」에 따라 분담면적을 8m로 가정하여 산정하였다. 사하중과 활하중은 각각 보에 작용하는 4000kgf/m , 1600kgf/m 의 등분포 하중으로 가정하였다. 본 예제의 초기 부재는 AIK-ASD 83의 하중 조합에 대한 강도조건을 만족하도록 선택되었으며, 제어하고자하는 건물 최상층 변위는 건물 높이의 1/500 (16cm)로 가정하였다.

표 1 20층 구조물의 초기 설계 부재종류

부재구분	층수	부재종류
기둥	16-20	H-350x350x11x19
	11-15	H-406x403x16x24
	6-10	H-428x407x20x35
	1-5	H-458x417x30x50
보	1-20	H-488x300x11x18
전단벽 두께 (cm)	16-20	20
	11-15	30
	6-10	40
	1-5	50

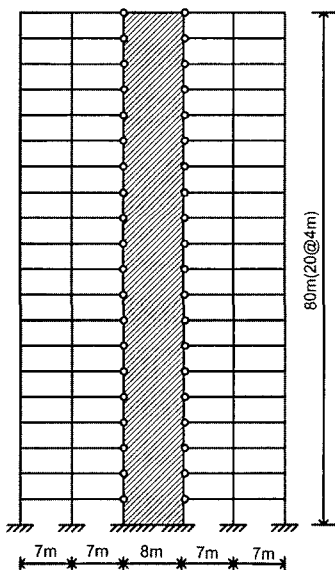


그림 2 20층 예제 구조물

단면적을 설계변수로 한 변위조절설계법을 CASE I 이라 하고, 부재특성을 고려하여 설계변수를 선택한 변위조절설계법을 CASE II로 하여, 두 변위조절설계법을 20층 강접골조-전단벽 구조물의 변위조절설계에 적용하여 변위, 층간 변위, 물량 측면에서 비교 분석하였다. 본 예제는 강접골조-전단벽 구조물이므로 강접골조-전단벽 구조물의 변위조절설계를 위한 정식화에 대해서는 참고문헌에 나타나 있다.^{9),11),14)}

4.1 단면적을 설계변수로 한 변위조절설계법 (CASE I)

초기 설계된 모델에 대해 구조해석으로 얻은 부재력을 이용하여 최상층 변위를 예측하면, 예측된 최상층 변위는 11.73cm이며, 이는 상용 구조해석 소프트웨어인 MIDAS에서 얻어진 11.60cm와 거의 일치한다. 초기모델에 대한 예측변위 11.73cm는 허용변위를 만족하므로 그림 1의 변위설계 모델에 의하면 변위 설계가 필요없으나 본 논문에서는 설계 변수를 단면적으로 하는 방법과 부재특성을 고려하여 설계변수를 선택하는 방법을 비교하는데 주안점을 두고 있으므로, 본 연구에서는 초기 변위의 허용변위 만족 여부에 상관없이 변위조절설계를 실시하였다. 변위설계 모델에 따라 단면적을 설계 변수로 하여 전체 물량의 증감 없이 물량을 수정하면, 예측 변위는 8.54cm로 초기 변위의 73%로 감소한다. 보의 변위기여도는 보 물량이 증가함에 따라 감소하였으며, 기둥과 전단벽의 변위기여도는 기둥과 전단벽 물량의 감소에도 불구하고 감소하였다. 물량 재분배후 예측 변위가 허용변위를 만족하므로 변위를 만족시키기 위한 추가 물량은 필요치 않다. 그림 1의 변위설계 모델에 나타나 있듯이, 변위제어 후에는 최종 강도 체크 단계를 거치는데 CASE I에서는 최종 강도 체크단계에서 물량이 2.4%증가하며, 이에 따라 변위는 8.39cm로 감소한다.

예측된 변위를 검증하기 위해 변경된 구조물을 MIDAS를 이용하여 재해석하였다. MIDAS를 이용하여 구한 변위는 7.16cm로서 예측 변위 8.39cm와는 17%의 오차를 보인다. 이러한 오차의 발생은 부정정 구조물에서 부재 강성이 달라지면서 응력 재분배가 일어났기 때문이다. MIDAS를 통해 얻어진 부재력과 부재성능을 이용하여 변위를 예측하면 7.28cm의 최상층 변위를 얻을 수 있으며 이는 MIDAS의 해석 변위 7.16cm와 근사한 값이다. 초기 모델에서 최대 층간변위는 0.75cm로 16층에서 발생하였으나, 변위설계 후 최대 층간변위는 0.49cm로 감소하며, 14층에서 발생하였다. 표 2는 설계변수를 단면적으로 했을 경우, 변위조절설계 적용에 따른 물량과 변위기여도

의 변화를 나타낸다. 그림 3, 그림 4는 단면적을 설계변수로 사용하였을 경우 변위설계 단계별 변위기여도와 물량의 변화를 나타낸다.

표 2 물량과 변위기여도의 변화 (CASE I)

물량 (단위: tonf)		초기	재분배후	강도체크후	재해석
	기둥		82.78	67.98	75.32
보		71.87	89.57	91.35	91.35
전단벽		219.80	216.90	216.90	216.90
전체		374.45	374.45	383.57	383.57
변위기여도 (단위: cm)	기둥	1.71	1.65	1.55	1.89
	보	3.08	1.33	1.28	1.96
	전단벽	6.94	5.56	5.56	3.42
	전체	11.73	8.54	8.39	7.28
최상층 변위 (단위: cm)	MIDAS	11.60	-	-	7.16

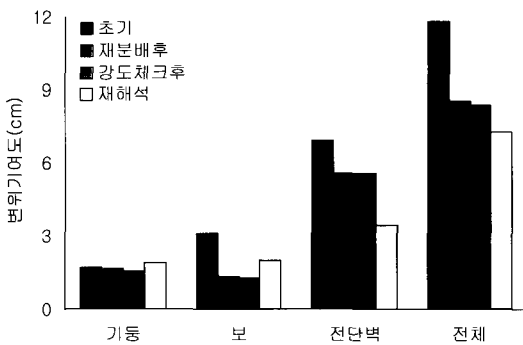


그림 3 변위기여도(CASE I)

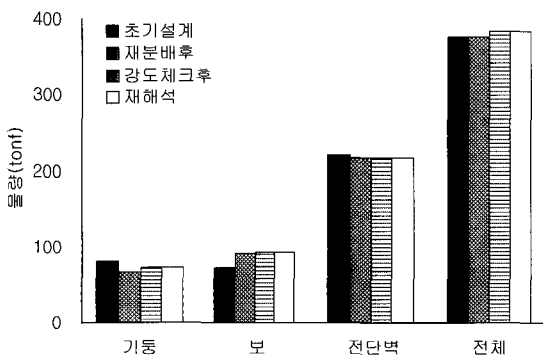


그림 4 물량(CASE I)

4.2 부재 특성이 고려된 설계 변수를 사용한 변위조절 설계법 (CASE II)

초기 모델에 대한 해석 변위는 CASE I과 동일하다. CASE II에서는 재분배시 부재력 특성을 고려하여 부재별로 다른 설계변수를 사용한다. 즉, 각 부재별로 가장 지배

적인 부재력별 변위기여도를 구하고, 이와 관련된 부재 성능을 설계변수로 하여 부재성능을 수정함으로써 변위를 최소화시키는 방법이다. 부재 특성이 고려된 설계변수를 이용하여 부재 성능을 수정하면, 예측변위는 9.43cm로 초기 변위의 80.4%로 감소한다. 표 3은 부재 특성을 고려하여 설계 변수를 사용한 변위조절설계법의 단계별 변위기여도와 물량의 변화를 나타낸다. 재분배후 물량은 6.2% 감소하는데, 이는 부재 물량과 직접적인 관련이 있는 단면적을 설계변수로 하여 물량을 재분배한 CASE I 과는 달리, CASE II에서는 지배적인 부재력별 변위기여도와 관련된 단면성능을 설계변수로 사용하여, 단면성능을 수정한 후 단면적과 단면성능과의 관계를 이용하여 물량이 계산되었기 때문이다. 즉, 단면2차모멘트가 설계변수로 사용된 부재가 있을 경우 재분배후 전체 물량은 초기 물량과 달라지게 된다. 총 80개의 기둥 부재 중 50개 부재는 단면2차모멘트를 설계 변수로 가지며, 외부 기둥열의 26개 부재와 내부 기둥열의 4개 부재는 단면적을 설계변수로 갖는다. 보 부재는 모멘트에 의한 변위기여도가 지배적이므로 단면2차모멘트가 설계변수로 사용되었다. 전단벽 부재는 전체 20개의 부재 중 18개의 부재는 단면2차모멘트를 설계변수로 사용되었으며 2 부재(16, 20층)는 전단력이 지배됨에 따라 단면적이 설계변수로 사용되었다. 이와 같이 부재력 특성을 고려하여 부재별로 다른 설계변수를 수정하기 때문에 전체 물량 뿐 아니라 부재 종류별 물량도 CASE I 과는 다르다. 하지만 전단벽 부재의 물량은 CASE 1과 동일한데, 이는 구조물의 형상이 결정된 상태에서 전단벽의 단면적과 단면2차모멘트는 선형적인 관계를 가지기 때문이다.

그림 1에서 나타나 있듯이, 변위제어 후에는 최종 강도 체크 단계를 거치는데 CASE III에서는 강도체크 단계에서 물량이 1.7%증가하나 여전히 전체 물량은 초기물량보다 4.5% 감소한 상태이며, 변위는 9.34cm로 초기 변위의 79.6%로 감소한다. 예측된 변위를 검증하기 위해 변경된 구조물을 MIDAS를 이용하여 재해석하였다. MIDAS를 이용하여 구한 변위는 8.79cm로서 예측 변위 9.35cm와는 5.9%의 오차를 보인다.

MIDAS의 해석으로 얻어진 부재력과 부재성능을 이용하여 변위설계 모델로 변위를 예측하면 8.91cm의 변위를 얻을 수 있으며 이는 MIDAS의 해석 변위인 8.79cm와 근사한 값이다. 초기 모델에서 최대 층간변위는 0.75cm로 16층에서 발생하였으나, 변위설계 후 최대층간변위는 0.61cm로 감소하며 14층에서 발생하였다. 그림 5, 그림 6은 부재특성을 고려하여 설계변수를 사용한 변위조절설계법 적용에 따른 변위기여도와 물량의 변화를 나타낸다.

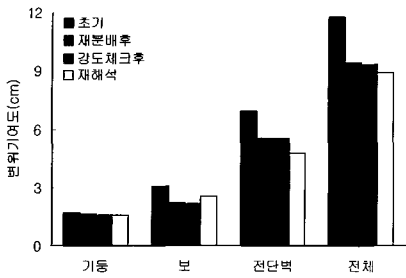


그림 5 변위기여도(CASE II)

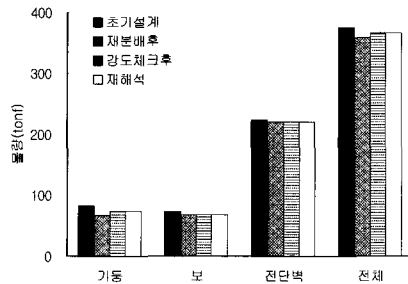


그림 6 물량(CASE II)

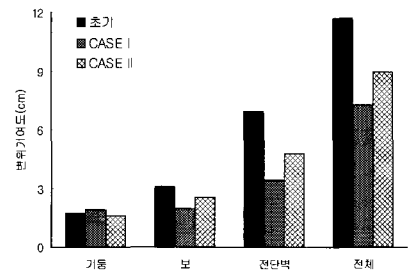


그림 7 최종 변위기여도

4.3 비교 분석

그림 7은 변위조절설계 후 최종 모델을 MIDAS로 재해석하여 얻은 부재력을 이용하여 구한 CASE I, II의 부재종류별 변위기여도이다. 변위조절설계 후 CASE II의 보와 전단벽의 변위기여도가 CASE I에 비해 상대적으로 큰 것을 알 수 있는데, 이는 CASE I에 비해 CASE II의 보 물량이 감소함에 따라 철골 프레임의 강성이 약해짐으로서 전단벽이 분담해야 할 횡하중 분담률이 커졌기 때문이다. 변위조절설계에 따라 전체 변위는 CASE I, II에서 각각 38%, 24% 감소하였으며, 최대 층간변위는 CASE I, II에서 각각 35%, 19% 감소하였으며, 전체 물량은 CASE I, II에서 각각 2.4% 증가, 4.5% 감소하였다. 변위조절설계 후 예측 변위와 MIDAS로 얻어진 실제 변위와의 오차는 CASE I, II에서 각각 17%, 5.9%로 나타난다.

그림 8, 9, 10은 변위조절설계 적용에 따른 철골 프레임, 전단벽, 전체 물량의 변화를 구조물 높이에 따라 표현하였다. CASE I, II의 최종 모델에서 철골 프레임 물량은 상부층에서 증가하고 하부층에서는 감소하는 경향을 보이며, 전단벽의 물량은 상부층에서 감소하고 하부층에서는 증가하는 경향을 보인다. 이러한 결과는 강접골조-전단벽 시스템의 횡하중 저항 메커니즘인 구조물 하부에서는 전단벽이, 상부에서는 강접골조가 횡하중을 저항하는 상호작용의 효과가 더 잘 나타날 수 있도록 물량이 재분배된 것으로 분석된다. 그림 8, 그림 9, 그림 10의 변위조절설계 후 전체 물량의 변화를 통해 초기 예측 모델은 상부의 철골 물량은 증가시키고 하부의 전단벽 물량은 증가시키는 것이 변위제어에 효과적인 것을 간접적으로 알 수 있다. 그림 11, 12는 변위조절설계법 적용에 따른 변위와 층간변위를 나타낸다.

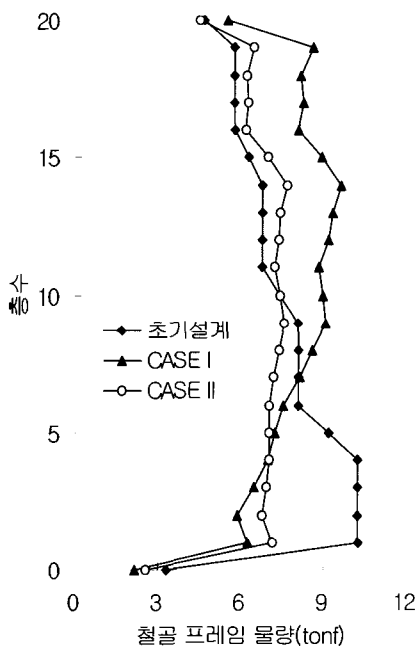


그림 8 철골 프레임 물량

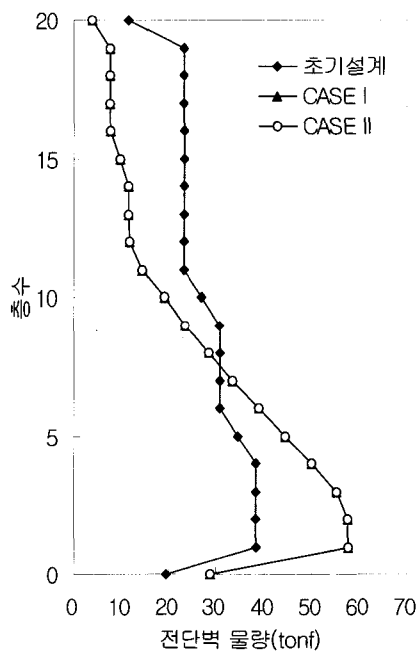


그림 9 전단벽 물량

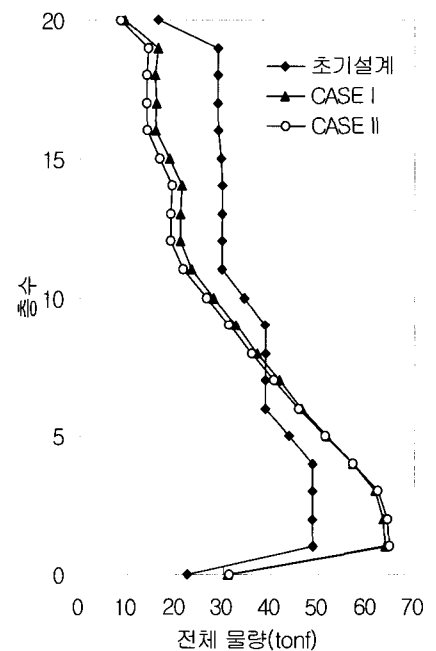


그림 10 전체 물량

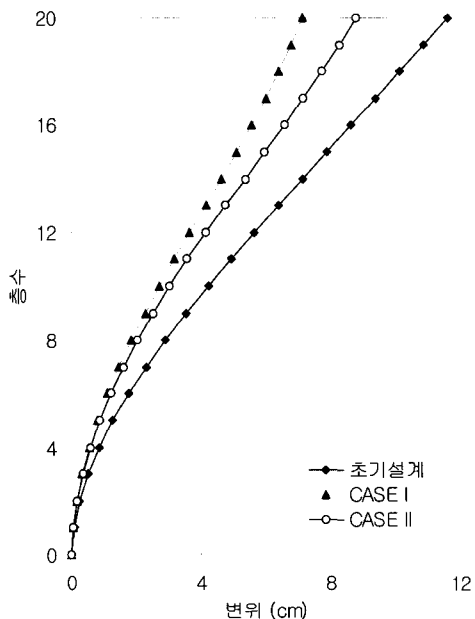


그림 11 변위

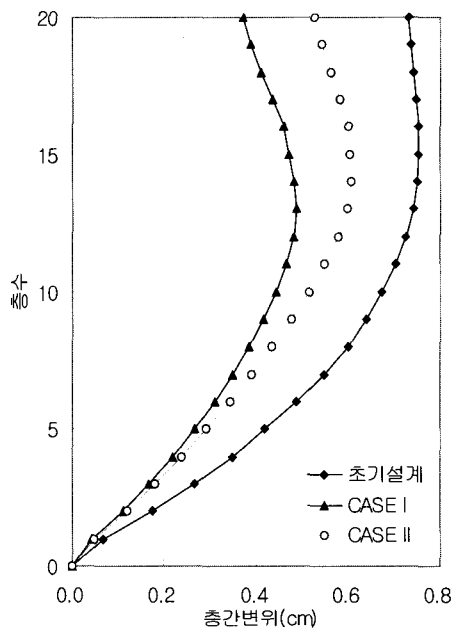


그림 12 중간변위

5. 결 론

재분배기법을 이용한 변위조절설계법은 민감도 해석이 다 반복적인 구조해석 없이 고층건물의 변위를 감소시킬 수 있는 실용적인 방법으로 인식되고 있다. 재분배기법을 이용한 변위조절설계법은 단면적을 설계변수로 하고 변위 제어도는 단면적과 직접 관련이 있는 물량에 반비례하는 것으로 가정하여 개발되었다. 하지만 실제로 변위제어도는 다양한 부재 성능(단면적, 단면2차모멘트)에 반비례하므로 본 논문에서는 일률적으로 단면적을 설계변수로 하는 것이 아니라 부재특성을 고려하여 부재별로 다른 설계 변수를 사용한 변위조절설계법을 제안하였다. 본 논문에서는 개발된 단면적을 설계변수로 사용한 변위조절설계법과 부재 특성을 고려한 변위조절설계법을 20층 강접골조-전단벽 구조물의 변위조절설계에 적용하여 변위, 층간변위 및 물량 등을 비교 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 단면적을 설계 변수로 사용한 변위조절설계법과 부재 특성을 고려하여 부재별로 지배적인 부재성능을 설계 변수로 사용한 변위조절설계법은 20층 강접골조-전단벽 구조물의 변위조절설계에 효과적으로 적용될 수 있었다.
- 2) 부재 특성을 고려한 변위조절설계법은 단면적을 일률적으로 설계변수로 사용한 방법에 비해 물량의 증가가 작으므로 변위, 층간 변위의 감소율은 작았지만, CASE I,

CASE II 모두 재분배에 따라 변위가 충분히 제어된 상태이므로, 변위가 충분히 제어된 상태에서는 물량의 증가량이 작은 CASE II가 더 효과적이라고 할 수 있다. 하지만 변위제어 측면에서는 CASE I이 우수한 성능을 나타내고 있다.

- 3) 부재 특성을 고려한 변위조절설계법은 단면적을 일률적으로 설계변수로 사용한 방법에 비해 변위조절설계 후 예측 변위와 실제 재해석 변위와의 오차가 더 작음을 알 수 있는데, 이는 단면적을 통한 간접적인 부재 성능 조절이 아닌 지배적인 부재 성능을 직접적으로 조절했기 때문이다.

이상과 같은 예제 적용 결과를 통해서 단면적을 설계변수로 사용한 CASE I이 변위제어 측면에서는 보다 우수한 성능을 나타내나, 부재 특성을 고려한 CASE II는 지배적인 부재성능을 직접 조절하여 변위를 제어하므로 물량 측면에서도 비슷하거나 보다 효과적이고, 변위 예측에서도 더 높은 정확성을 가짐을 알 수 있었다. 하지만 위의 결과는 특정 예제에 대한 결과이므로 좀 더 많은 예제 적용을 통해서 결과의 신뢰성을 확보할 필요가 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 산·학·연 공동연구개발사업

(과제번호: C102A1000004-03A0200-00410)의 일부로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Baker, W. F., "Sizing techniques for lateral systems in multi-story steel buildings", *4th World Congress on Tall Buildings: 2000 and Beyond*, CTBUH, Hong Kong, 1990, pp. 857~868
2. Charney, F.A. 1991. "The use of displacement participation factors in the optimization of drift controlled buildings", *Proceedings of 2nd conference on Tall Buildings in Seismic Regions, 55th Regional Conference*, Los Angeles, CA
3. Wada, A. 1991. "Drift control method for structural design of tall buildings", *Proceedings of 2nd Conference on Tall buildings in Seismic Regions, 55th Regional Conference*, Los Angeles, CA
4. Chan, C. M., and Grierson, D. E., "An efficient resizing techniques for the design of tall buildings subject to multiple drift constraints", *The Structural Design of Tall Buildings*, Vol. 2, No. 1, 1993, pp. 17~32
5. Chan, C. M., Grierson D.E., Sherbourne A. N. 1995. "Automatic optimal design of tall steel building frameworks", *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol.121, No.5, pp. 838~847
6. Park, H. S., and Park, C. L., "Drift control of high-rise buildings with unit load method", *The Structural Design of Tall Buildings*, Vol. 6, No. 1, 1997, pp. 23~35
7. 박효선, 안선아, "재분배기법을 이용한 강구조물의 강성 설계법", 한국강구조학회논문집, 제 10권 1호, 1998.
8. Park, H. S. and Ahn, S. A. "Resizing Methods for Drift Control of Tall Steel Structures", *Structural Steel PSSC' 98*, Vol 2, pp. 1017~1022
9. 서지현, 박효선 "강접골조-전단벽구조의 수평변위 제어를 위한 재분배기법의 정식화", 대한건축학회 학술발표회, 제19권 제1호, 1999, pp. 277~282
10. 서지현, 박효선 "횡하중과 수직하중을 받는 고층 구조물의 변위조절 설계법", 대한건축학회 학술발표회, 제 20권 제1호, 2000, pp. 87~90
11. 서지현, 박효선 "재분배기법을 이용한 고층 구조물의 수평 변위 설계법", 대한건축학회 논문집, 제17권 제 9호, 2001, pp. 73~80
12. 서지현, 박효선 "하중 종류와 부재 그룹핑을 고려한 횡 변위제어기법", 한국강구조학회 발표 논문집, 2002, pp. 452~457
13. Chan, C. M. *Optimal lateral stiffness design of tall buildings of mixed steel and concrete construction*. The Structural Design of Tall Buildings, 10: pp. 155~177
14. Park, H. S., Hong, K. P., and Seo, J. H., "Drift Design of Steel-Frame Shear-Wall Systems for Tall Buildings", *The Structural Design of Tall Buildings*, Vol. 11, 2002, pp. 35~49
15. 서지현, 박효선, "중량 수정계수를 고려한 변위조절설계법 개발", 한국전산구조공학회 가을 학술발표회 논문집, 제16권 제2집, 2003, pp. 161~168