

고층건물의 수평변형형상에 대한 평가 Assessment of Lateral Deformation Shape for High-rise Building Structures

서현주*
Suh, Hyun-Joo

이동근**
Lee, Dong-Guen

김용부***
Kim, Yong-Boo

Abstract

The purpose of this study is to propose numerical assessment methods of lateral deformation shape under lateral loads for regular high-rise buildings. The normalized 1st mode shape is used to assess lateral deformation shape. The assessment methods are mass participation factor, representative value by RMS, the mean value, median of the normalized 1st mode shape. These methods are able to know a fundamental lateral deformation shape of the building and effects of interactive systems numerically. Generally the characteristics of normalized 1st mode shape for various models coincide with numerical assessment results.

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건물이 고층화 되면서 수직 하중에 비해 수평하중은 구조체의 거동에 더 큰 영향을 미치게 되며 건물 높이가 높아질수록 그 영향은 큰 폭으로 증가하게 된다. 기본적인 수평저항 구조시스템은 크게 골조구조, 가새구조, outrigger구조, 튜브구조, megastructure구조 등이며 수평하중에 구조체가 효과적으로 저항할 수 있도록 시스템이 서로 조합되어 사용되기도 한다. 최적의 구조시스템을 적용시키기 위해서는 기본적인 각 구조시스템의 거동에 대한 평가와 조합된 구조시스템에서의 효과 평가방법이 필요하다. 지금까지 고층건물의 구조시스템의 거동에 대한 연구는 대부분 각 개별 시스템에 대한 정성적인 연구로 정형구조물에 적용되었으며, 조합시스템인 경우도 각 시스템의 거동효과에 대한 평가가 수치분석으로 이루어진 것은 아니고 전체 변형형상의 변화에 대한 연구였다. 그러므로 본 논문에서는 고층건물의 수평변형형상 및 구조시스템의 거동을 수치로 평가할 수 있는 분석방법을 제안하여 수평저항 구조시스템의 변형형상을 정량적으로 분석 평가하고자 한다.

1.2 연구 방법

본 논문에서는 정형구조물의 1차 모드형상과 전체 모드에 의한 변형형상을 비교하였으며 그 오차가 거의 없으므로 1차 모드형상으로 수평변형형상을 분석하였다. 1차 모드형상을 이용하여 수평

* 창,민우구조컨설턴트, 이사
** 성균관대학교 건축공학과, 교수, 정회원
*** 성균관대학교 건축공학과, 교수, 정회원

변형형상을 수치로 분석할 수 있는 4가지 평가 방법을 제안하였으며 이 평가방법으로 여러 분석 모델의 변형형상을 정량적으로 분석하고 정규화된 1차 모드형상과 비교하였다. 본 논문에서 제안한 평가방법으로 조합시스템의 상호거동효과도 수치적으로 분석할 수 있으며 여러 가지 구조변수에 따른 거동변화에 대해서도 수평변형형상 및 수평변위 감소효과를 수치로 평가할 수 있다.

2. 지진하중에 대한 동적해석

2.1 지진하중에 의한 운동방정식

수평방향의 지반운동만의 영향을 고려할 때 구조물의 지반에 대한 운동방정식은 다음과 같다.

$$M \ddot{X}'(t) + C \dot{X}(t) + KX(t) = 0 \quad (1)$$

여기에서 M 은 질량행렬이며 C 는 감쇠행렬, K 는 강성행렬이며 $\ddot{X}'(t)$ 는 구조물의 절대가속도이고 $\dot{X}(t)$ 는 구조물의 지반에 대한 상대속도이며 $X(t)$ 는 구조물의 지반에 대한 상대변위이다.

$\ddot{X}'(t)$ 는 지반운동의 영향을 포함한 구조물의 절대가속도이며 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$\ddot{X}'(t) = \ddot{X}(t) + 1\ddot{\chi}_g(t) \quad (2)$$

식 (2)에서 $\ddot{X}(t)$ 는 지반에 대한 구조물의 상대가속도이며 $\ddot{\chi}_g$ 는 지반가속도이다. 1 은 지진이 가해지는 수평방향의 자유도에 대하여는 1이고 그 이외에 대하여는 0인 상수 벡터이다. 식(1)을 다시 정리해 보면 다음과 같다.

$$M \ddot{X}(t) + C \dot{X}(t) + KX(t) = -M1\ddot{\chi}_g(t) \quad (3)$$

편의상 감쇠에 대한 영향을 무시하여 비감쇠 운동방정식을 쓰면 다음과 같다.

$$M \ddot{X}(t) + KX(t) = -M1\ddot{\chi}_g(t) \quad (4)$$

자유진동모드행렬 Φ 의 질량행렬 M 과 강성행렬 K 에 대한 직교성을 이용하여 모드질량행렬과 모드강성행렬의 대각행렬을 만들기 위해 다음식을 만든다.

$$\Phi^T M \Phi \Phi^{-1} \ddot{X}(t) + \Phi^T K \Phi \Phi^{-1} X(t) = -\Phi^T M 1 \ddot{\chi}_g(t) \quad (5)$$

$\Phi^T M \Phi = M_p$, $\Phi^T K \Phi = K_p$ 가 되고 $\Phi^{-1} X(t) = X_p$ 라 하면 식(5)는 다음과 같다.

$$M_p \ddot{X}_p(t) + K_p X_p(t) = -M_p^* \ddot{\chi}_g(t) \quad (6)$$

여기에서 M_p 와 K_p 는 각각 대각행렬이며 $M_p^* = \Phi^T M$ 이다.

구조물의 운동방정식을 j번째 모드에 대하여 전개된 항으로 다시 써 보면 다음과 같다.

$$\sum_{i=1}^n M_i \Phi_{ij}^2 \ddot{X}_{pj} + \sum_{i=1}^n K_i \Phi_{ij}^2 X_{pj} = -\sum_{i=1}^n M_i \Phi_{ij} \ddot{\chi}_g \quad (7)$$

2.2 모드참여계수와 유효질량

단일자유도의 운동방정식 $M\ddot{X} + KX = -M\ddot{\chi}_g$ 에서 각 항을 M 으로 나누면 다음과 같다.

$$\ddot{X} + \frac{K}{M} X = -\ddot{\chi}_g \quad (8)$$

$$\ddot{X} + \omega^2 X = -\ddot{\chi}_g \quad (9)$$

다자유도 운동방정식을 식(9)와 같은 방법으로 표현해 보면 다음과 같다.

$$\ddot{X}_{pj} + \omega_j^2 X_{pj} = -\frac{\sum M_i \Phi_{ij}}{\sum M_i \Phi_{ij}^2} \ddot{\chi}_g \quad (10)$$

여기서 $\sum M_i \Phi_{ij} = \zeta_j$, $\sum M_i \Phi_{ij}^2 = \mu_j$ 라고 하면

$$\ddot{X}_{mj} + \omega_j^2 X_{mj} = -\frac{\zeta_j}{\mu_j} \ddot{x}_g \quad (11)$$

여기서 $\frac{\zeta_j}{\mu_j}$ 를 modal participation factor라 한다.

자유진동모드 Φ 는 그 형상만 정해지는 것이고 그 크기는 임의의 값이므로 modal participation factor만 가지고는 정확한 변위를 추정할 수 없다. 진동주기가 가장 긴 첫 번째 진동모드가 동적 거동에 가장 큰 영향을 미치게 되며 진동주기가 짧은 고차 모드일수록 그 영향이 점차 줄어들게 된다. 그러므로 각 진동 모드의 영향을 정확히 분석하기 위해서는 모드별 유효질량(effective mass)을 구해 모드별 진동 영향을 유추해 내야 한다. j번째 모드의 유효질량(EM)은 다음과 같다.

$$EM(j) = \frac{(\sum M_i \Phi_{ij})^2}{\sum M_i \Phi_{ij}^2} = \frac{\zeta_j^2}{\mu_j} \quad (12)$$

모드별 유효질량을 전체모드에 대해 합하면 다음과 같이 구조계의 전체 질량이 됨을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \frac{\zeta_j^2}{\mu_j} &= (\Phi^T M \mathbf{1})^T (\Phi^T M \Phi)^{-1} (\Phi^T M \mathbf{1}) \\ &= \mathbf{1}^T M^T \Phi \Phi^{-1} M^{-1} \Phi^{-T} \Phi^T M \mathbf{1} \\ &= \mathbf{1}^T M \mathbf{1} \\ &= \sum_{j=1}^n M_j = \text{total mass} \end{aligned} \quad (13)$$

각 모드의 유효질량 EM을 전체 질량으로 나누면 각 모드의 질량참여율(mass participation factor)이 된다.

3. Mode Shape에 의한 정형구조물의 거동분석

3.1 분석모델

본 연구의 분석모델은 정형적인 사무소 건물 평면으로 분석모델 시스템 분류는 표1과 같다. 컴퓨터 프로그램은 ETABS PLUS(V.6.0)를 사용하여 2차원으로 해석하였다. 고정 하중 및 적재 하중은 모든 분석모델에 동일하게 사무소 하중으로 적용하였으며, 지진하중은 국내규준에 따라 적용하였으며 모드해석법으로 동적해석 하였다.

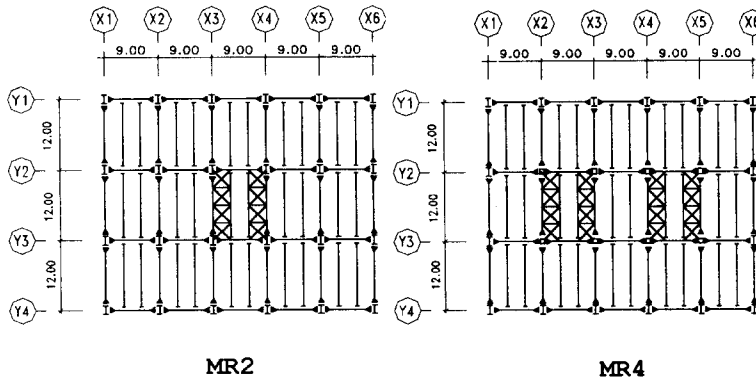


그림 1. 분석 모델

MR2와 BR2, MR4와 BR4가 조합된 형태이며 OR4는 BR4의 40층에

MR2와 MR4의 분석모델은 그림1과 같으며 BR2와 BR4는 코어 주변으로만 가새가 있으며 나머지 기둥-보 접합은 pin으로 되어 있는 것으로 가정한다. 가새의 형상은 K형상의 중심가새로 되어 있으며 Y2열과 Y3열의 가새는 중심에서 3.0m 편심이 있는 편심가새로도 해석하였다. 편심가새와 중심가새는 각각 E와 C로 구분하였다.

MR2-BR과 MR4-BR은 각각 가새와 외부기둥을 연결하는

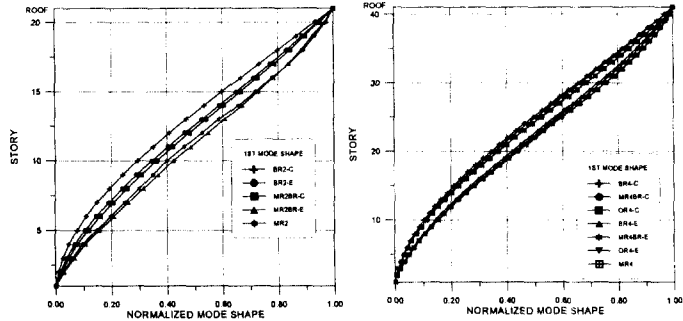
outrigger 및 외부기둥을 연결하는 belt truss가 설치된 분석모델이다.

표 1 정형구조물 분석모델의 시스템 분류

층별규모 \ 시스템	Moment Frame	Brace	M.F. + Brace	Outrigger
20층	MR2	BR2	MR2-BR	
40층	MR4	BR4	MR4-BR	OR4

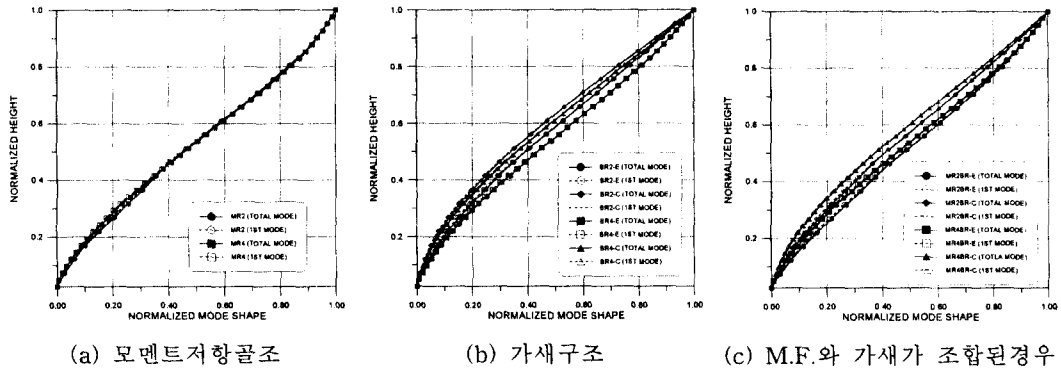
3.2 정규화된 1차 모드형상

그림 2,3에서 보는 바와 같이 일반적으로 가새구조는 캔틸레버 변위거동형상을, 모멘트저항골조는 역S자 형상을 나타낸다. 특히 40층 모델에서는 중심가새와 편심가새를 가지는 각 구조시스템의 1차 모드형상이 확연히 차이가 나며 편심가새를 가지는 여러 구조시스템의 거동형상은 모멘트저항골조와 유사하게 나타나고 있어 층수가 높아질수록 편심가새의 거동형상은 모멘트저항골조 거동과 유사해진다는 것을 알 수 있다. 가새구조인 경우는 중심가새가 훨씬 캔틸레버 변위거동형상을 나타내며 BR4-C와 BR2-C의 거동형상에서 알 수 있듯이 중심가새인 경우도 층수가 높아질수록 캔틸레버 변위거동형상에서 약간 모멘트저항골조 거동형상으로 바뀌는 것을 알 수 있다.



(a) 20층 모델의 1차 모드 (b) 40층 모델의 1차 모드

그림 2. 정규화된 1차 모드형상



(a) 모멘트저항골조 (b) 가새구조 (c) M.F.와 가새가 조합된경우

그림 3. 변형형상과 1차 모드형상의 비교

1차 모드형상은 각 구조시스템의 수평변위형상과 유사한 곡선형태를 나타내고 보편적으로 2차 모드형상은 중·하부층에서는 1차 모드형상과 반대 방향의 곡선을 그리다가 중간층 상부부터는 1차 모드형상과 유사한 곡선형태를 나타낸다. 이러한 모드형상의 차이로 그림 3에서 보는 바와 같이 하부층에서는 1차 모드형상과 전체 모드에 의한 변형형상이 약간의 차이가 남을 알 수 있으며 상부층에서는 거의 일치함을 알 수 있다. 2차 모드 이상의 고차 모드 영향으로 하부층에서 약

간의 오차는 발생하나 그 영향이 아주 미미하므로 전체 모드를 조합한 변형형상 대신 1차 모드형상으로 구조시스템의 거동을 분석하는 방법을 모색하여도 큰 오차는 없을 것으로 판단된다. 그러므로 본 논문에서는 1차 모드형상으로 수평변형형상에 대한 수치 분석 방법을 찾아 내고 각 분석 방법에 대한 특성을 이용하여 구조시스템의 보완효과를 평가하고자 한다.

4. 형상분석을 위한 1차 모드형상의 이용

각 구조시스템의 수평변형특성을 수치로 분석할 수 있는 다음 4가지 분석 방법을 제안한다.

- 1차 모드의 질량참여율 $(\sum M \phi_i)^2 / \sum M \phi_i^2 / \sum M$
- RMS에 의한 모드형상곡선 대표값 $\sqrt{\frac{\sum \phi_i^2}{N}}$
- 모드형상곡선의 평균값 $\sum \phi_i / N$
- 모드형상곡선의 중앙치(median) $\phi_{N/2}$

이 방법들로 1차 모드형상에 대한 특성을 분석하고 분석 결과를 그림2, 3과 비교하여 수치분석 방법에 대한 타당성을 검토하기로 한다. 위의 분석방법은 모두 1차 모드형상의 최대값을 1로 정규화시킨 모드형상곡선에 적용하였으며 4가지 방법 모두 수치의 절대값은 서로 다르더라도 수치순으로 구조시스템을 배열해 보면 변위형상곡선에서 나타나는 배열 순서와 비슷한 순서로 나열되는 것을 알 수 있다.

4.1 질량참여율에 의한 형상 분석

각 분석모델의 1차 모드의 질량참여율은 1차 모드의 유효질량 $(\sum M \phi_i)^2 / \sum M \phi_i^2$ 을 전체 질량으로 나누어 구한다. 1차 모드의 질량참여율은 0.673~0.777의 분포로 나타나며 가새구조에서 모멘트저항골조와 가새구조가 조합된 구조로, 모멘트저항골조순으로 그 값이 커지며 편심가새구조보다는 중심가새구조의 질량참여율이 작은 것을 알 수 있다. 우선 20층 분석모델에서 가장 큰 질량참여율을 가지는 시스템은 MR2로 0.777의 수치를 나타내지만 MR2BR-E의 0.776과 거의 차이가 나지 않으며 그림 2에서 나타나듯이 두 시스템 모두 아래로 가장 많이 처지는 곡선형상을 나타내고 있다. 단지 상부층과 하부층의 곡선형태가 미미하게 뒤바뀌는 형상을 나타낸다. 가장 작은 질량참여율을 가지는 시스템은 BR2-C로 0.673이며 그림 2에서 보듯이 가장 위로 치켜올라가는 캔틸레버 변위곡선 형태를 나타내고 있다. 40층 분석모델에서 가장 낮은 질량참여율을 보이는 BR4-C의 수치는 0.693으로 BR2-C의 0.673보다 약간 큰 값을 나타내며 이는 층수가 높은 중심가새일수록 캔틸레버 거동효과가 떨어지는 것을 나타내는 것이다. MR4BR-E, OR4-E, BR4-E는 모두 편심가새가 포함된 구조시스템으로 모멘트저항골조 MR4와 그 값이 거의 차이 나지 않는다. 이는 그림 2,3에서 보는 바와 같이 층수가 높아질수록 편심가새의 변형형상은 모멘트저항골조의 변형형상과 유사해진다는 것을 수치로 잘 나타내고 있다. 그림3에 나타난 1차 모드형상과 전체모드에 대한 변위형상의 형상오차를 표 2,3의 수치로 나타내면 그 오차값이 1%도 안됨을 알 수 있다.

표2. 20층 분석모델의 1차 모드 질량참여율

모드형상	분석모델				
	BR2-C	BR2-E	MR2BR-C	MR2	MR2BR-E
1차모드형상	0.673	0.721	0.728	0.776	0.777
전체모드에 대한 변형형상	0.680	0.727	0.736	0.782	0.783
전체모드에 대한 1차모드형상 비	0.990	0.992	0.989	0.992	0.991

표 3. 40층 분석모델의 1차 모드 질량참여율

모드형상	분석모델						
	BR4-C	MR4BR-C	OR4-C	BR4-E	MR4BR-E	OR4-E	MR4
1차모드형상	0.693	0.701	0.705	0.747	0.755	0.755	0.762
전체모드에 대한변위형상	0.699	0.707	0.711	0.753	0.761	0.761	0.768
전체모드에 대한 1차모드 형상 비	0.991	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992

4.2 RMS(Root Mean Square)의 1차 모드형상 대표값에 의한 형상분석

1차 모드형상의 대표값은 각 층의 1차 모드를 제공하여 합한 후 전체 층수로 나눈 뒤 제곱근으로 값을 구하는 RMS방법을 사용하여 구하였다. 각 구조시스템의 모드형상 대표값은 다음과 같다.

표 4. 20층 분석모델의 1차 모드형상 대표값

분석모델	BR2-C	BR2-E	MR2BR-C	MR2	MR2BR-E
$\sqrt{\frac{\sum \phi_i^2}{N}}$	0.517	0.546	0.554	0.587	0.591

표 5 40층 분석모델의 1차 모드형상 대표값

분석모델	BR4-C	MR4BR-C	OR4-C	BR4-E	MR4BR-E	MR4	OR4-E
$\sqrt{\frac{\sum \phi_i^2}{N}}$	0.525	0.531	0.543	0.569	0.577	0.585	0.586

$\sqrt{\frac{\sum \phi_i^2}{N}}$ 에 의한 대표값은 평균값에 의한 분석값보다 상부층의 변형형상이 강조된 것이다.

질량참여율과 같이 RMS에 의한 대표값도 가새구조에서 모멘트저항골조로 그 값이 증가하며 가새 구조중에서도 편심가새가 중심가새보다 그 값이 크며 같은 중심가새라도 층수가 높을수록 대표값이 커지는 것을 알 수 있다. 20층 분석모델에서 질량참여율과 RMS에 의한 수치배열을 비교해 보면 모두 동일하나 MR2와 MR2BR-E만 서로 뒤바뀐 것을 알 수 있다. 그림 2를 보면 중간층 부근은 MR2가 MR2BR-E보다 위로 치켜 올라간 형태를 보이며 상부층에서는 반대형상의 형상곡선형태를 보이므로 형상곡선을 대표하는 수치값 하나로 곡선 전체를 대표하기는 부족한 점이 있으나 곡선형상의 차이가 아주 미미하고 수치의 차이도 극히 미소하므로 개략적인 변형형상은 충분히 파악할 수 있을 것이다. 40층 분석모델에서도 OR4-E의 경우는 outrigger의 효과로 최상부층의 변위가 작아지므로 변형형상곡선은 최상부층에서 아래로 치지는 형상을 나타낸다. 이러한 현상이 RMS로 구한 수치에 잘 반영되어 분석수치값이 질량참여율로 분석한 수치보다 약간 크게 나타나고 있다. 그러나 그 수치의 차이가 미미하고 또 곡선 전체의 형상을 파악하는 대표값이라는 점에서 보면 어떤 방법이 더 정확한가는 판단하기 어렵다.

4.3 정규화된 1차 모드형상곡선의 평균값에 의한 형상분석

변형형상 분석에 대한 또다른 방법으로 정규화된 1차 모드형상곡선의 평균값을 구한 뒤 선형직선의 평균값 0.5와 비교하면 형상곡선의 형태를 대략 파악할 수 있다. 모멘트저항골조에서 선형직선의 평균값 0.5와의 차가 음의 값이면 변곡점의 위치가 중앙보다 상부에 위치한다는 것을 알 수 있으며 반대로 양의 값이면 변곡점의 위치는 중앙보다 하부에 위치할 것이다. 또한 가새구조인 경우는 음의 값이 클수록 캔틸레버 변위거동 형상이 나타나게 될 것이다. 다만 캔틸레버 변위거동을 하는 구조시스템에서 상부에 나타나는 변곡점의 위치는 파악할 수 없다는 단점이 있다. 표 6에서 보는 바와 같이 분석모델은 모두 0.5보다 작은 값을 가지며 BR2-C가 가장 작은 값으로 0.405이

다. 모멘트저항골조도 모두 0.5보다 작은 값으로 변곡점의 위치는 모두 중앙부보다 위쪽에 위치하고 있다는 것을 알 수 있다. 1차 모드형상의 평균값에 의한 수치분석결과도 질량참여율이나 RMS에 의한 대표값의 수치분석 결과와 유사하며 거의 동일한 구조시스템의 배열을 나타내고 있다.

표 6. 20층 분석모델의 정규화된 1차 모드형상의 평균값

분석모델	BR2-C	BR2-E	MR2BR-C	MR2	MR2BR-E
$\sum \phi_i / \text{층수}$	0.405	0.439	0.451	0.486	0.494
0.5와의 차	-0.095	-0.061	-0.049	-0.014	-0.006

표 7. 40층 분석모델의 정규화된 1차 모드형상의 평균값

분석모델	BR4-C	MR4BR-C	OR4-C	BR4-E	MR4BR-E	MR4	OR4-E
$\sum \phi_i / \text{층수}$	0.418	0.425	0.437	0.467	0.476	0.483	0.485
0.5와의 차	-0.082	-0.075	-0.063	-0.033	-0.024	-0.017	-0.015

4.4 모드형상곡선의 중앙치(median)에 의한 형상분석

1차 모드의 최대값을 1로 정규화시킨 모드형상곡선에서 중간층의 모드형상값을 각 구조시스템별로 비교해 보면 표 8,9와 같다.

표 8. 20층 분석모델의 정규화된 1차 모드형상의 중앙치

분석모델	BR2-C	BR2-E	MR2BR-C	MR2	MR2BR-E
$\phi_{N/2}$	0.350	0.404	0.421	0.463	0.486

표 9. 40층 분석모델의 정규화된 1차 모드형상의 중앙치

분석모델	BR4-C	MR4BR-C	OR4-C	BR4-E	MR4BR-E	MR4	OR4-E
$\phi_{N/2}$	0.374	0.385	0.400	0.450	0.462	0.470	0.474

정규화된 1차 모드형상의 중앙치로 각 구조시스템의 변형특성을 수치로 분석하더라도 앞서 했던 3가지 방법과 거의 동일한 구조시스템의 배열순서를 나타낸다. 1차 모드의 평균값에서도 알 수 있듯이 분석모델의 중앙치는 모두 0.5보다 작은 값으로 중하부는 모두 캔틸레버 변위형상과 같이 위로 치켜 올라가는 형상을 나타내고 상부층에서는 구조시스템에 따라 그 형상이 바뀌는 것을 알 수 있다. 이 방법의 장점은 여러 변형곡선을 비교할 때 중간층에서 변형곡선간의 차로 가장 쉽게 대략적인 변형 형상을 파악할 수 있다는 것이다. 또한 기준변형형상곡선의 기준치에 대한 비로 변수에 따른 거동의 효과를 개략적으로 판단할 수 있을 것이다. 그러나 이 방법은 전체적인 변형곡선의 형상은 파악할 수 없다는 단점은 있다.

4.5 수치분석방법에 대한 평가

위에서 제안한 4가지 수치분석 방법을 여러 가지 분석모델에 적용하여 수평변형에 대한 정량적인 분석을 행하였다. 4가지 방법 모두 전체적인 수평변형형상을 파악하는데 비슷한 결과가 나왔으나 평가방법에 따라 특성을 분석할 수 있는 요소가 다르다는 것을 알 수 있다. 4가지 방법의 이러한 특성을 적절히 이용하면 주요 변수에 따른 수평변형형상의 변화를 수치적으로 쉽게 파악할 수 있고 조합된 구조시스템의 효과도 평가할 수 있을 것이다. 4가지 평가방법의 특성은 다음과 같다.

질량참여율에 의한 분석에서는 수평변형형상의 최대치의 크기에 상관없이 구조시스템의 종류에 따라 그 값이 정해진다. 캔틸레버 변위형상을 하는 가새구조는 질량참여율이 낮으며 모멘트저항골조일수록 그 값이 커진다. 그러므로 질량참여율로 구조시스템에 따른 수평변형곡선의 형상을 알 수 있다.

- RMS에 의한 1차 모드형상곡선 대표값으로는 변수에 따라 변하는 변형곡선의 최대치에 대한 변화를 수치로 나타낼 수 있고 기준변형곡선의 기준치에 대한 비로 구조성능 효과를 수치적으로 비교 분석할 수 있다.
- 정규화된 1차 모드형상곡선의 평균값으로는 선형 직선의 평균값 0.5와의 차에 의해 변곡점의 위치를 쉽게 알 수 있고 구조시스템의 변형형상곡선도 쉽게 파악할 수 있다.
- 정규화된 1차 모드형상곡선의 중앙치로는 여러 구조시스템의 수평변형곡선을 비교할 때 중간층에서 변형곡선간의 차로 가장 쉽게 대략적인 변형형상을 파악할 수 있다.

5. 결론 및 추후 연구과제

본 논문에서는 1차 모드형상을 가지고 구조시스템의 수평변형특성을 평가할 수 있는 수치분석 방법을 제안하여 여러 분석모델에 적용하였다. 1차 모드형상과 수치분석에서 나타난 구조시스템의 수평변형형상의 특성은 다음과 같다.

- 1) 정형구조물에서 1차 모드형상과 수평변위형상비는 1% 내외의 오차 밖에 발생하지 않으므로 전체수평변위 대신 1차 모드형상으로 수평변형형상을 분석할 수 있다.
- 2) 1차 모드형상을 이용한 4가지 수치분석방법에 의한 결과는 1차 모드형상곡선에서 나타난 특성과 잘 일치하였으며 구조시스템의 수평변형형상의 특성을 수치로 잘 나타내고 있다.
- 3) 구조시스템의 수평변형형상을 살펴보면 가새구조는 캔틸레버 변위거동형상을, 모멘트골조는 역S자형상을, 조합시스템은 영향을 많이 받는 시스템의 형상과 유사한 형태를 나타낸다.
- 4) 모멘트저항골조는 층수에 따라 수평변형형상이 거의 변하지 않으나 가새구조는 층수가 높아질수록 캔틸레버 변위거동 효과가 떨어지며 편심가새의 변형형상은 층수가 높아질수록 보의 전단변형 영향으로 모멘트저항골조의 거동과 유사해진다.
- 5) 앞으로 정형구조물의 여러 가지 구조변수에 따른 횡저항구조시스템의 구조적 성능을 본 논문의 평가방법으로 분석하여 실제 구조물설계에 이용할 수 있는 자료를 제공할 수 있을 것이다.
- 6) 또한 정형구조물의 수치분석 결과를 이용하여 비정형구조물에서 비틀림으로 인한 추가 수평변형을 보완할 수 있는 방법을 찾을 수 있으며 보완 효과에 대해서도 연구할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 초대형구조시스템연구센터(STRESS)의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) W. Weaver, Jr., S. P. Timoshenko, D. H. Young, VIBRATION PROBLEMS IN ENGINEERING, JOHN WILEY & SONS, FIFTH EDITION, 1989.
- 2) 윤정방, 이한선, 조규남, 방명석, "구조동력학의 이론 및 응용", 한국전산구조공학회 기술강습회 교재11-1, 1995.2.
- 3) Charles H. Wong, Nabih F. G. Youssef, Ling K. Kung, "Seismic Considerations for Tall Buildings", High-Rise Buildings; Recent Progress, Lehigh University Bethlehem, Pennsylvania, 1986.
- 4) P. Jayachandran, "Dynamic Response of Eccentrically Braced Tall Buildings to Earthquakes", Advances in Tall Buildings, VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY, 1985.
- 5) Ashraf Habibullah, "ETABS USER'S MANUAL (Version 6.0)", COMPUTERS & STRUCTURES INC., 1995