

3차원 비정형 Setback 구조물의 동적 특성

Dynamic Characteristics of a 3-dimensional Irregular Setback Structure

문 성 권*
Moon, Seong-Kwon

요 지

입면의 형태가 임의의 층에서 큰 차이를 보이는 3차원 비정형 setback 구조물의 동적 거동 특성과 이들 구조물의 동적 거동에 미치는 바닥 슬래브의 면내 변형 효과를 분석하였다. 비정형 setback 구조물의 전반적인 동적 거동 특성을 분석하기 위하여 베이스 부분의 평면적과 타워 부분의 평면적 비(R), setback 발생 위치(L) 등을 매개 변수로 사용하였다. 48개의 비정형 setback 구조물들에 대한 해석 수행 결과 setback 구조물은 정형 구조물에 비해 횡방향 1차 모드의 유효 모드 중량(effective modal weight)이 작게 나타나는 경향을 보이기 때문에 setback 구조물의 동적 거동을 파악하기 위해서는 등가 정적 해석법 대신에 동적 해석을 수행할 필요가 있음을 알 수 있었다. 바닥슬래브의 면내 변형은 보다 긴 구조물의 고유 진동 주기값을 가져오며 모드 순서 및 모드 형상에도 변화를 준다. 이러한 사실은 바닥슬래브의 면내 변형으로 인하여 횡방향 저항 요소들간의 전단력 분포와 층 변위가 영향을 받을 수 있다는 것을 의미한다. 이러한 현상은 횡방향 저항 요소들간의 강성 차가 심한 프레임-전단벽 시스템에서 두드러지게 나타난다.

핵심용어 : 동적 특성, 비정형 setback 구조물, 바닥슬래브, 면내 변형, 유효 모드 중량

Abstract

Dynamic characteristics of 3-dimensional setback structures showing abrupt reductions of the floor size within the structure height and the effect of in-plane deformations of floor slabs on dynamic behavior of those structures are investigated. To find out dynamic characteristics of 3-dimensional setback structures two parameters, level of setback(Ls) and degree of setback(Rs) are used. Analysis results show that the effective modal weight of the fundamental translational mode of setback structures is less than that of regular structures, so that the dynamic analysis is needed to find out the dynamic behavior of setback structures instead of the equivalent static force method. The in-plane deformations of floor slabs result in period elongation, mode shifts and a change in mode shapes, which may affect the distribution of shear forces among the lateral-load resisting elements and story displacements. This phenomenon is more pronounced when the difference in stiffness among the lateral-load resisting elements is large.

Keywords : dynamic characteristics, irregular setback structures, in-plane deformation, floor slab, effective modal weight

1. 서 론

일반적으로 구조물의 내진 계획시 가능한 한

단순하며 연속성을 지닌 구조물을 선정하도록 하고 있는데 이는 단순한 외형과 구조적으로 대칭인 구조물이 지진에 대해 거동이 좋은 것으로 알

* 정회원·경남대학교 건축학부 토목공학전공, 선임강사

• 이 논문에 대한 토론을 1999년 3월 31일까지 본 학회에 보내주시면 1999년 6월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

려져 있기 때문이다. 하지만 많은 경우에 채광 문제와 구조물의 미적인 면을 고려하다 보면 외형 및 구조적인 측면에서 비대칭을 이루는 비정형 구조물(irregular structures)을 자주 접하게 된다. 본 연구에서는 비정형 구조물 중에서도 현재 도심 내에서 널리 건설되고 있는 임의 층간에서 평면적에 큰 변화를 보이는 setback 구조물에 연구의 초점을 맞추었다.

정형 구조물과는 거동 특성이 상이한 setback 구조물에 횡하중이 작용할 때의 횡하중 전달 경로를 살펴보면, setback 위 부분(타워 부분)과 아래 부분(베이스 부분)의 구조적 특성(강성, 질량 등) 차이로 인하여 타워 부분의 맨 아래에 큰 전단력이 발생하고 이 전단력은 바닥슬래브의 막 작용(diaphragm action)에 의하여 베이스 부분의 횡방향 저항 요소(프레임, 전단벽)로 전달된다. 여기서 바닥슬래브의 막 작용에 의해 베이스 부분의 횡방향 저항 요소에 전달되는 전단력의 분배 양상은 상대적인 강성의 비(바닥슬래브의 면내 강성과 횡방향 저항 요소의 강성)에 의해서 결정되어지는 것으로 알려져 있다¹⁾. 즉, 바닥슬래브의 면내 강성이 횡방향 저항 요소의 강성보다 월등히 큰 것으로 간주할 경우(강막, rigid diaphragm)에는 횡방향 저항 요소의 강성 비에 따라 전단력이 횡방향 저항 요소들에 분배되지만, 바닥슬래브의 면내 강성이 횡방향 저항 요소의 강성과 큰 차이를 보이지 않을 경우(반강막, semirigid diaphragm)에는 횡방향 저항 요소의 강성과 바닥슬래브 면내 강성의 함수로서 분배 전단력 크기가 결정되어진다.

비정형 setback 구조물의 동적 거동에 관한 연구로서 Penzien, Chopra²⁾는 경량 타워를 가지는 setback 구조물의 seismic 거동을 계산하는 방법을 제안하였고 이후 다자유도를 가지는 경량 타워 구조물에 대한 근사적인 방법도 제시하였다. 그러나 이들 연구에서 제시한 해석의 근사적인 방법은 타워의 중량이 매우 적어 베이스와 타워를 포함한 전체 구조물의 기본 주기와 베이스 자체만의 기본 주기가 별로 차이가 나지 않는 경우에만 적용할 수 있다는 문제점을 안고 있다.

Jhaveri, D. P.³⁾는 "shear building" 모델을 이용하여 setback 구조물의 동적 특성을 연구한 바 있지만 사용된 shear building 모델은 절점의 회전과 기둥의 축방향 변형이 무시되기 때문에 실제 거동과는 많은 차이(매우 짧은 고유진동 주기를 가져옴)를 보인다. Jain, S. K.⁴⁾는 연속 모델(continuum model)을 이용하여 일정한 간격을 가진 동일 프레임들과 바닥슬래브로 구성된 setback 구조물에 대한 연구를 통하여 구조물의 거동에 미치는 바닥슬래브의 면내 변형 효과를 조사하여 setback 바로 위의 타워 기둥에 대한 설계의 중요성을 강조한 바 있다.

본 연구에서는 48개의 비정형 setback 구조물의 해석을 통해 전반적인 동적 특성을 분석하였다. 또한 setback 구조물의 거동이 베이스 부분과 타워 부분의 상대적인 비와 평면 크기에 좌우되기 때문에 setback 발생 위치($L_s=0.1, 0.3, 0.5, 0.7$)와 타워 부분과 베이스 부분의 평면적의 비($R_s=0.111, 0.333, 0.556, 0.778$) 등을 두 가지 매개 변수로 사용하였으며 두 가지 구조 방식(프레임 시스템, 프레임-전단벽 시스템)의 세 가지 평면 형태를 고려하였다. 구조물의 동적 특성 분석을 위하여 구조물의 고유 진동 주기와 모드 형상에 대해 검토하였으며 특히 정형 구조물의 동적 거동과의 비교를 위하여 유효 모드 중량 개념을 고려하였다. 바닥슬래브의 면내 변형이 구조물의 동적 거동에 미치는 영향을 파악하기 위해서 바닥슬래브를 강막, 반강막 가정에서 구한 해석 결과들을 서로 비교하였다.

2. 해석 모델

본 연구에서는 3차원 setback 프레임 구조물의 동적 특성을 효과적으로 파악하기 위하여 3차원 유한 요소 모델 대신에 저자에 의해 이미 개발된 단순화된 해석모델⁵⁾을 이용하였다. 사용된 해석 모델에서는 효과적인 해석 수행을 위하여 그림 1과 같이 3층에서 setback을 가지는 3차원 프레임 구조물을 그림 2와 같이 각 방향의 프레임들과 각 층에서 인근 프레임을 서로 연결시켜 주는 바

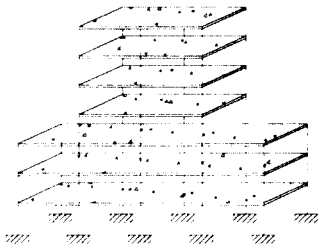


그림 1 전형적인 3차원 setback 구조물

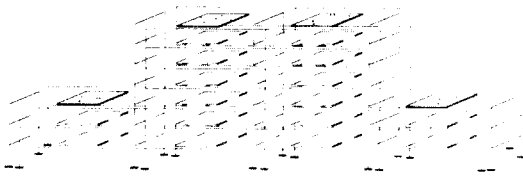


그림 2 3차원 setback 구조물의 이상화

다들래브들의 조합으로 이상화하였다. 이런 모형화 개념은 복잡한 형태의 3차원 setback 프레임 구조물에도 쉽게 적용될 수 있으며, 해석에 사용되는 총 자유도 수(degrees of freedom)가 3차원 유한 요소 모델에 비해 매우 감소되기 때문에 해석상 큰 이점을 가지며, 3차원 유한 요소 해석 결과들(고유 진동 주기, 모드 형상, 변위 시간 이력)과의 비교로부터 신뢰성이 검증된 바 있다.⁵⁾ 특히 사용 해석모델에서는 바닥스래브의 면내 변형이 각 프레임에 전달되는 전달력 크기에 영향을 미칠수 있는 점을 감안하여 해석 과정에서 자주 무시된 바닥스래브의 면내 변형을 고려하였다.

2.1 해석모델에 사용된 가정들

3차원 setback 구조물의 해석모델에 사용된 가정들을 살펴보면 다음과 같다.

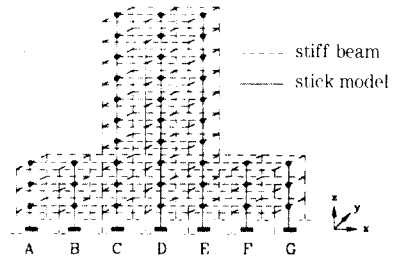
- 1) 구조물은 선형, 탄성 거동을 한다.
- 2) 횡력은 각 층에서 작용한다.
- 3) 구조물의 질량은 각 층에 집중된다.
- 4) 바닥스래브의 면내 변형과 면외 변형은 서로 독립적이다.
- 5) 각 프레임에서 보의 축방향 변형과 기둥의 비틀림 효과는 무시한다.

6) 단변 방향의 바닥스래브의 면내 변형은 무시한다.

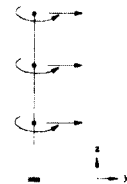
7) 구조물은 강제인 지반에 고정되어 있다. 즉, 구조물과 지반과의 상호 작용은 고려하지 않았다.

2.2 구성 요소(횡방향 프레임, 바닥스래브)의 모형화

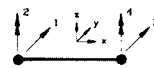
그림 3은 3층에서 평면 형태가 급격히 변하는 10층, 6경간 구조물을 위에서 언급한 모델링 개념을 적용시켜 작성한 해석모델을 나타내고 있다. 해석모델은 그림 3(a)에서 보는 바와 같이 이차원 프레임을 나타내는 7개의 막대 모델(A, B, C, D, E, F, G)들과 인근 이차원 프레임을 각 층에서 서로 연결시켜 주는 바닥스래브를 모형화한 32개의 stiff beam으로 이루어진다. 이차원



(a) 구조물의 전체 해석 모델



(b) 막대 모델과 관련 자유도



(c) stiff beam 모델과 관련 자유도

그림 3 3층에서 setback을 가지는 3차원 10층 프레임 구조물의 모형화

프레임과 각 층에서 이차원 프레임을 서로 연결시켜 주는 바닥슬래브에 대한 모형을 간략히 소개하면 다음과 같다.

2. 2. 1 이차원 프레임의 모형화

일반적으로 이차원 프레임의 거동은 절점당 3개의 자유도(수직 변위, 수평 변위, 회전)로 표현되어질 수 있으나 효과적인 해석 모델을 작성하기 위하여 구조물의 거동에 큰 영향을 미치지 않는 보의 축방향 변형은 무시하고 바닥슬래브의 면내 변형을 표현하는데 직접적으로 관련된 횡방향 변위만을 고려하였다⁶⁾. 이를 위하여 그림 3(b)에 보이는 바와 같이 층당 1개의 횡방향 변위만을 가지는 막대 모델(stick model)을 도입하였다. 사용된 막대 모델은 정적 응축 기법⁷⁾을 사용하여 횡방향 변형에 미치는 보의 휨변형 효과 및 기둥의 축방향 변형 효과 모두가 고려되어져 있다.

2. 2. 2 바닥슬래브의 모형화

일반적으로 각 층에서 인근 횡방향 저항 요소를 서로 연결시켜 주는 바닥슬래브는 한 개의 평면 응력 요소로 모형화할 수 있으나 이 방법은 바닥슬래브의 면내 변형이 클 것으로 예상되는 경우에는 한 개의 평면 응력 요소를 여러 개의 요소들로 세분화하여 해석해야 하는 문제점을 가지게 된다. 본 연구에서는 효율적인 바닥슬래브의 모형화를 위하여 인근 횡방향 저항 요소를 서로 연결시켜 주는 바닥슬래브를 절점당 2개의 자유도(횡방향 변위, 면내 회전)를 가지는 stiff beam 요소⁸⁾로 모형화 하였다. 이때 바닥슬래브의 종횡비가 작은 경우에 전단에 의한 바닥슬래브의 면내 변형을 고려하기 위하여 전단 변형을 추가로 고려하였다.

3. 수치 예제

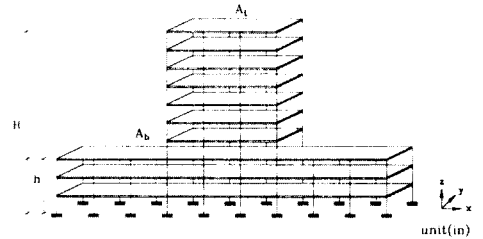
비정형 setback 구조물의 동적 거동에 미치는 바닥슬래브의 면내 변형 효과를 알아보기 위하여 그림 4와 같은 9경간 10층 비정형 예제 구조물을 기본 구조물(prototype structure)로 채택하

였다. 본 연구에서는 비정형 setback 구조물의 전반적인 동적 거동을 파악하기 위해 두 가지 매개 변수를 고려하였다. 즉, setback 발생 위치(L_s), 타워 부분과 베이스 부분의 평면적 비(R_s)가 그것이다. 각 매개 변수는 아래 식들로 표현되어진다.

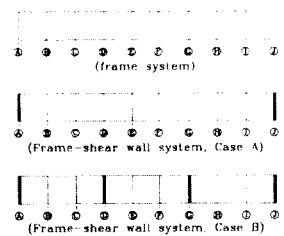
$$R_s = \frac{A_t}{A_b} \tag{1}$$

$$L_s = \frac{h}{H} \tag{2}$$

위의 식 (1)에서 A_t , A_b 는 각각 베이스 부분의 평면적과 타워 부분의 평면적을 의미한다. 식 (2)의 h 와 H 는 각각 베이스 부분의 높이와 구조물의 총 높이를 나타낸다(그림 4(a) 참조). 본 연구에서는 비정형 setback 구조물의 전반적인 동적 거동을 파악하기 위해 4개의 R_s 값(0.111, 0.333, 0.556, 0.778)과 4개의 L_s 값(0.1, 0.3, 0.5, 0.7)을 사용하였다. 그림 4(a)에 보이는 기본 구조물의 경우 R_s 와 L_s 값은 각각 0.333, 0.3이 된다. 또한 횡방향 프레임들간의 강성의 차에 의한 바닥슬래브의 면내 변형 효과를 알아보기 위하여



(a) 3층에서 setback을 가지는 10층 기본 구조물



(b) 평면 형태

그림 4 비정형 setback 예제 구조물

그림 4(b)와 같이 두 가지 구조 방식(프레임 시스템, 프레임-전단벽 시스템)에 대하여 세 가지 평면 형태를 고려하였다. 전단벽이 보강된 프레임-전단벽 시스템의 경우 case A에서는 양 가장자리 프레임 위치에 전단벽이 설치되고 case B에서는 양 가장자리 프레임 외에 타워 부분의 가장자리 프레임 위치에도 전단벽이 설치되어 있다. 예제 구조물에 사용된 부재(보, 기둥, 전단벽, 슬래브)에 대한 단면 치수는 표 1에 나타나 있다. 재료의 탄성계수는 3000ksi이고 프와송비는 0.167로 가정하였다.

3.1 구조물의 고유 진동 주기

비정형 setback 구조물의 동적 특성을 살펴보기 위하여 아래와 같이 정의되는 유효 모드 중량(effective modal weight) 개념을 생각한다.

$$W_n = \frac{\left[\sum_{j=1}^N w_j \Psi_{jn} \right]^2}{\sum_{j=1}^N w_j \Psi_{jn}^2} \quad (3)$$

위 식에서 w_j, Ψ_{jn} 는 각각 j 절점의 중량과 n 번

표 1 예제 구조물의 부재 단면 치수
단위 (in)

층수	보	기둥	전단벽	슬래브
20 - 19	14×18	14×14	7.0	6.0
18 - 17	14×20	16×16		
16	14×22	18×18		
15	14×22	18×18	8.0	
14 - 13	16×24	20×20		
12 - 11	16×26	22×22	9.0	
10 - 9	18×26	24×24		
8 - 7	18×28	26×26	10.0	
6	20×28	28×28		
5	20×28	28×28		
4 - 3	20×30	30×30		
2 - 1	22×30	32×32		
1층 층고=180 in, 그외 층 층고=144 in				

째 모드의 j 절점의 모드 형상을 의미한다. 유효 모드 중량 W_n 은 구조물 전체 중량 값에서 n 번째 모드가 차지하는 유효 중량을 나타내는 것으로 구조물 반응(response)에 차지하는 각 모드의 비중을 간접적으로 알 수 있는 지표로서 모드 유효 중량을 구조물의 전체 중량으로 나누면 각 모드와 관련된 구조물 전체 중량 비율을 알 수 있다. 그림 5, 6, 7은 각각 프레임 구조물과 프레임

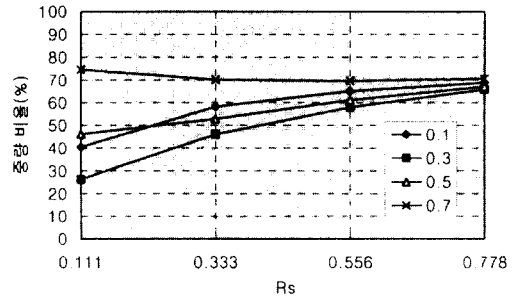


그림 5 횡방향 1차 모드의 중량 비율(프레임 시스템)

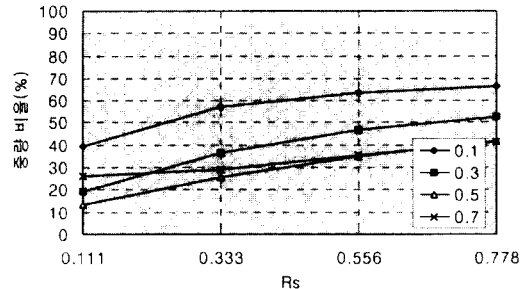


그림 6 횡방향 1차 모드의 중량 비율(프레임-전단벽 시스템, case A)

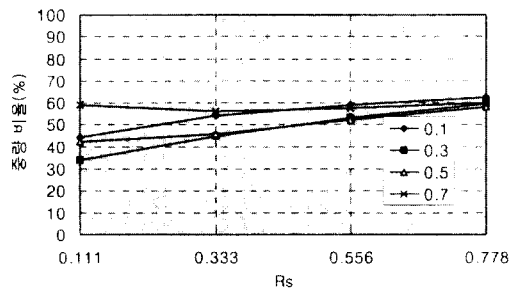


그림 7 횡방향 1차 모드의 중량 비율(프레임-전단벽 시스템, case B)

-전단벽 구조물들(case A, case B)에 대한 매개 변수 R_s, L_s 변화에 따른 횡방향 1차 모드의 중량 비율을 표시하고 있다. 그림에서 주목할 사실은 정형 구조물의 경우에는 1차 모드의 중량 비율이 약 80% 내외를 차지하지만 비정형 setback 구조물의 경우에는 1차 모드의 중량 비율이 75% (프레임 구조물, $R_s=0.111, L_s=0.7$)에서 13% (프레임-전단벽 구조물 Case A, $R_s=0.111, L_s=0.5$) 정도 까지 감소하는 경향이 있으며 동일 L_s 조건에서는 구조 방식에 무관하게 정형 구조물에 접근할 수록 (R_s 가 증가할 수록) 중량 비율이 증가하는 경향이 있음을 알 수 있다. 이러한 사실로부터 비정형 setback 구조물의 동적 특성을 파악하기 위해서는 1차 모드만으로 구조물의 거동을 파악하는 등가 정적 하중법 대신 고차 모드의 영향을 고려할 수 있는 동적 해석이 요구됨을 알 수 있다.

표 2, 3, 4는 바닥 슬래브의 면내 변형이 구조물의 고유 진동 주기(natural vibration periods)에 미치는 영향을 보여주는 것으로 바닥 슬래브를 강막(RFD)으로 가정한 경우와 반강막(SRFD)으로 간주하여 구한 고유 진동 주기값들이 서로 비교되어 있다. 표에서 알 수 있는 사실은 바닥슬래브의 면내 강성을 무한대로 고려할 경우에는 실제와는 다른 동적 거동이 나타난다는 것이다. 좀더 자세히 설명하면 강막 가정으로 구조물을 해석할 경우에는 실제 구조물의 고유 진동 주기보다 짧은 고유 진동 주기값이 구해지고 경우에 따라서는 모드 순서에도 영향을 미칠 수 있다(표에서 해칭된 부분) 것이다. 이러한 경향은 프레임들간의 강성의 차가 심한 프레임-전단벽 시스템에서 특히 두드러지게 나타나는데 예를 들면 case B의 구조물($L_s=0.5, R_s=0.333$)의 경우 1차 모드의 고유 진동 주기값의 차이가 약 15% 정도를 보인다.

3.2 구조물의 모드 형상

그림 8은 3층에서 setback을 가지는 10층 프레임-전단벽 시스템(case A, $L_s=0.3, R_s=0.333$)의 y방향 관련 저차 모드를 나타내며 모드 형상(mode shape)에 미치는 바닥슬래브의 면내 변

표 2 바닥슬래브의 면내 변형이 구조물의 고유진동 주기에 미치는 영향(프레임 시스템)

단위 (seconds)

Ls	Rs	0.111		0.333		0.556		0.778	
		모드	RFD	SRFD	RFD	SRFD	RFD	SRFD	RFD
0.1	1st	1.479*	1.486	1.721	1.748	1.818	1.837	1.879	1.885
	2nd	1.467	1.481*	1.508*	1.515*	1.607*	1.617*	1.700*	1.706*
	3rd	0.554	0.565	0.651	0.666	0.691	0.702	0.718	0.722
	4th	0.553*	0.554*	0.565*	0.569*	0.605*	0.610*	0.646*	0.649*
	5th	0.330	0.336	0.387	0.394	0.409	0.415	0.424	0.426
0.3	1st	1.311	1.331	1.590	1.618	1.728	1.749	1.834	1.841
	2nd	1.272*	1.275*	1.312*	1.319*	1.437*	1.447*	1.595*	1.600*
	3rd	0.575	0.577	0.647	0.653	0.689	0.693	0.717	0.719
	4th	0.507*	0.507*	0.531*	0.532*	0.582*	0.582*	0.640*	0.641*
	5th	0.451*	0.452*	0.438*	0.440*	0.436	0.436	0.435	0.436
0.5	1st	1.189	1.205	1.480	1.503	1.656	1.675	1.800	1.806
	2nd	1.016*	1.018*	1.092*	1.099*	1.271*	1.280*	1.506*	1.510*
	3rd	0.822*	0.823*	0.791*	0.791*	0.755	0.756	0.745	0.746
	4th	0.769	0.774	0.766	0.769	0.752*	0.753*	0.718*	0.718*
	5th	0.355	0.363	0.405	0.416	0.421	0.429	0.429	0.432
0.7	1st	1.359	1.363	1.529	1.538	1.676	1.684	1.806	1.810
	2nd	1.184*	1.184*	1.219*	1.220*	1.327*	1.329*	1.524*	1.525*
	3rd	0.679*	0.687	0.738	0.756	0.745	0.755	0.742	0.746
	4th	0.671	0.681*	0.687*	0.693*	0.707*	0.714*	0.704*	0.706*
	5th	0.442	0.443	0.440	0.441	0.438	0.438	0.436	0.436

(*) : 비틀 모드

형 효과를 분석하기 위하여 두 가지 해석(바닥슬래브의 면내 변형 고려 유무) 결과의 모드형상이 함께 나타나 있다. 해석 결과에 따르면 비정형 구조물의 모드 형상은 구조 방식에 무관하게 1차 모드는 횡방향 1차 모드, 2차 모드는 비틀 모드, 3차 모드는 횡방향 2차 모드와 관계가 있으며 대부분의 변형은 강성이 상대적으로 약한 타워 부분에서 주로 발생하는 것이 특징적인 사실이다. 모드 형상에 미치는 바닥슬래브의 면내 변형 효과의 경우 횡방향 저항 시스템들간의 강성의 차가 심하지 않은 프레임 시스템에서는 바닥슬래브의 면내 변형이 잘 나타나지 않으나 강성의 차가

표 3 바닥슬래브의 면내 변형이 구조물의 고유 진동 주기에 미치는 영향(프레임-전단벽 시스템, case A)

단위 (seconds)

Ls	Rs	0.111		0.333		0.556		0.778	
		모드	RFD	SRFD	RFD	SRFD	RFD	SRFD	RFD
0.1	1st	1.478*	1.485	1.671	1.746	1.741	1.830	1.776	1.858
	2nd	1.445	1.481*	1.501*	1.511*	1.581*	1.600*	1.637*	1.657*
	3rd	0.553*	0.564	0.622	0.665	0.647	0.697	0.660	0.706
	4th	0.540	0.554*	0.560*	0.566*	0.589*	0.600*	0.609*	0.620*
	5th	0.325*	0.336	0.365	0.394	0.380	0.412	0.388	0.418
0.3	1st	1.270*	1.303	1.448	1.555	1.514	1.639	1.549	1.661
	2nd	1.246	1.273*	1.291*	1.302*	1.362*	1.382*	1.413*	1.434*
	3rd	0.454*	0.487	0.517	0.579	0.541	0.609	0.554	0.615
	4th	0.446	0.455*	0.460*	0.466*	0.485*	0.495*	0.504*	0.514*
	5th	0.261*	0.337	0.298	0.364	0.313	0.374	0.321	0.377
0.5	1st	1.007*	1.064	1.174	1.294	1.241	1.379	1.282	1.404
	2nd	0.999	1.010*	1.025*	1.037*	1.086*	1.108*	1.136*	1.157*
	3rd	0.357	0.457	0.417	0.501	0.442	0.521	0.459	0.528
	4th	0.346*	0.347*	0.352*	0.365	0.374*	0.383*	0.392*	0.402*
	5th	0.287	0.340	0.293	0.358*	0.295	0.366	0.297	0.365
0.7	1st	0.716	0.798	0.864	0.989	0.937	1.074	0.992	1.111
	2nd	0.680*	0.682*	0.696*	0.707*	0.747*	0.767*	0.799*	0.819*
	3rd	0.475	0.535	0.472	0.532	0.467	0.525	0.462	0.519
	4th	0.335*	0.342*	0.335*	0.342*	0.337*	0.344*	0.342*	0.348*
	5th	0.216*	0.320	0.239	0.331	0.245	0.336	0.246	0.337

(*) : 비틀 모드

표 4 표 4 바닥슬래브의 면내 변형이 구조물의 고유 진동 주기에 미치는 영향(프레임-전단벽 시스템, case B)

단위 (seconds)

Ls	Rs	0.111		0.333		0.556		0.778		
		모드	RFD	SRFD	RFD	SRFD	RFD	SRFD	RFD	SRFD
0.1	1st		0.424	0.439*	0.591	0.612	0.709	0.738	0.801	0.845
	2nd		0.418*	0.438	0.435*	0.461*	0.491*	0.516*	0.546*	0.566*
	3rd		0.087	0.095*	0.122	0.135	0.148	0.192	0.170	0.282
	4th		0.082*	0.092	0.086*	0.096*	0.098*	0.138	0.111*	0.226
	5th		0.041	0.077*	0.054	0.072	0.065	0.125	0.074	0.195
0.3	1st		0.371	0.434	0.518	0.602	0.624	0.720	0.708	0.801
	2nd		0.294*	0.343*	0.322*	0.404*	0.388*	0.463*	0.458*	0.503*
	3rd		0.107	0.123*	0.127	0.140	0.146	0.194	0.162	0.282
	4th		0.095*	0.117	0.094*	0.107*	0.098*	0.135	0.106*	0.222
	5th		0.056*	0.084	0.064	0.084	0.071	0.123	0.077	0.192
0.5	1st		0.370	0.431	0.484	0.573	0.574	0.671	0.649	0.735
	2nd		0.209*	0.243*	0.256*	0.316*	0.327*	0.383*	0.403*	0.435*
	3rd		0.166*	0.189*	0.149	0.165	0.160	0.197	0.169	0.282
	4th		0.131	0.170	0.144*	0.164*	0.130*	0.143*	0.122*	0.221
	5th		0.053	0.112	0.060	0.131	0.066	0.139	0.072	0.185
0.7	1st		0.457	0.480	0.525	0.569	0.585	0.643	0.640	0.704
	2nd		0.336*	0.343*	0.344*	0.354*	0.369*	0.384*	0.411*	0.423*
	3rd		0.117	0.208	0.138	0.205	0.150	0.198	0.158	0.282
	4th		0.087*	0.132*	0.097*	0.153*	0.108*	0.178	0.111*	0.213
	5th		0.073*	0.125	0.067	0.144	0.070	0.148*	0.073	0.182

(*) : 비틀 모드

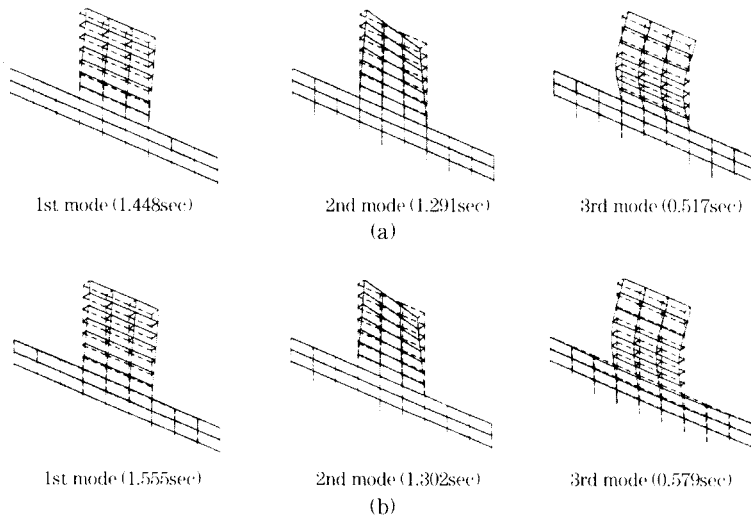


그림 8 횡방향(y-direction) 모드 형상(프레임-전단벽 시스템, case A, Ls=0.3, Rs=0.333)

심하게 나타나는 프레임-전단벽 시스템의 경우 3차 모드 형상의 베이스 부분에서 매우 큰 바닥 슬래브의 면내 변형을 확인할 수 있다. 이러한 면내 변형은 각각의 횡방향 저항 시스템들의 전단력 분포(특히 베이스 부분)에 큰 영향을 미치며 이는 각 층의 층 변위와 각 부재의 부재력에도 큰 영향을 미칠 수 있음을 짐작할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 비정형 setback 구조물의 전반적인 동적 특성과 구조물의 동적 거동에 미치는 바닥슬래브의 영향을 알아보기 위하여 두 개의 매개 변수(L_s , R_s)와 두 가지 구조 방식을 고려하여 48개의 비정형 setback 구조물에 대한 해석을 수행하였다. 수행된 예제 구조물의 해석결과로부터 다음과 같은 결론을 이끌어 낼 수 있었다.

1) 비정형 setback 구조물은 정형 구조물에 비해 횡방향 1차 모드가 차지하는 유효 모드 중량 비율이 상대적으로 작게 나타나는 경향(75%~15%)을 보이며 이는 구조물의 동적 거동에 미치는 고차 모드의 기여도가 크다는 것을 의미하기 때문에 비정형 setback 구조물의 동적 거동을 파악하기 위해서는 등가 정적 하중법 대신 동적 해석을 수행하여야 한다.

2) 해석상의 이점으로 현재 널리 사용되고 있는 강막 가정을 이용한 구조물의 해석은 실제보다 짧은 구조물 고유 진동 주기를 가져오며 모드 순서에도 영향을 미치는 것으로 나타났으며 고유 진동 주기값의 차이는 횡방향 저항 요소의 강성의 차가 심한 프레임-전단벽 시스템의 경우에 크게 발생하며 특히 Case B의 구조물($L_s=0.5$, $R_s=0.333$)의 경우에는 1차 모드의 고유 진동 주기값이 약 15%의 차이를 보인다.

3) 두 가지 구조 해석(강막, 반강막) 결과의 모드 형상의 비교로부터 알 수 있듯이 바닥슬래브의 면내 변형은 프레임-전단벽 시스템의 경우에 크게 나타나며 이러한 변형은 횡방향 저항 요

소에 전달되는 전단력의 크기와 층 변위 및 부재력에도 큰 영향을 미칠 수 있다.

참 고 문 헌

1. Taranath, B. S., "Structural Analysis and Design of Tall Buildings", McGraw-Hill, 1988.
2. Penzien, J. and Chopra, A. K., "Earthquake Response of Appendage on a Multi-Story Building", *Proc. Third World Conference on Earthquake Engineering*, 1965.
3. Jahaveri, D. P., "Earthquake Forces in Real Building with Setbacks", Ph. D., 1967.
4. Jain, S. K. and Rajiv, Sharma., "Dynamics Response of a Setback Building with a Flexible Floor Diaphragm", *Proc. 9th WCEE*, Vol. 7, pp.479~484, Tokyo-Kyoto, Japan, 1988.
5. Seong-Kwon Moon and Dong-Guen Lee, "Seismic Response Multistory Building Structures with Flexible Floor Diaphragms", *Structural Congress 89, ASCE*, Session No. 45, San Francisco, 1989.
6. Weaver, W. Jr., Nelson, M.F., and Manning, T. A., "Dynamics of Tier Building", *ASCE J. Mech. Div.*, Vol. 94, No. EM6, 1968.
7. Weaver, W. Jr and Johnston, P. R., "Structural Dynamics by Finite Elements," Prentice-Hall, Inc., 1987.
8. Cowper. G. R., "The Shear Coefficient in Timoshenko's Beam Theory", *Journal of Applied Mechanics*, July, 1966.
9. "1985 Edition of NEHRP Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings", Federal Emergency Management Agency, 1988.
10. "Uniform Building Code-1988", *International Conference on Building Officials*, Whittier, CA, 1985.

(접수일자 : 1998. 9. 22)