

Push-over 해석을 사용한 복합구조물의 하부골조 층수변화에 따른 거동분석 The Investigation of Structural Behavior with Variations in the Lower Stories of Complex Buildings using Push-over Analysis

강 병 두* 전 대 한** 김 재 응***
Kang, Pyeong-Doo Jun, Dae-Han Kim, Jae-Ung

ABSTRACT

Upper wall-lower frame(complex building) can be divided into three partition, namely, upper wall, lower frame, and transfer system which link two partitions. The purpose of this study is to investigate the elasto-plastic response characteristics of structures with variation in the stories of lower frame of complex buildings. The conclusions of this study was following; 1) In the push-over analysis for vertically irregular building, the distribution of lateral forces is judged which consider the effects of higher mode. 2) In proportion as the stories of lower frame increase inter-story displacement of lower frame increased, but that of upper wall decreased. 3) The appearance of yielding hinge with variations in the lower stories of complex buildings differed in lower frame of each model, but was almost the same in upper wall.

1. 서 론

상부벽식-하부골조로 이루어진 복합구조는 일반적으로 pit층을 중심으로 상부는 주거 기능을 위한 전단벽식 고층아파트이며, 하부는 상업공간이나 주차장으로 활용하기 위한 보-기둥의 골조구조이다. 전단벽식구조와 골조구조는 횡하중에 대한 거동이 상이하지만, 복합구조물의 경우 pit층을 중심으로 각각 상·하부에 위치하여 하나의 단일 구조 시스템이 된다. 이러한 복합구조물이 그 기능을 발휘하고 공간을 충분히 활용하기 위해서는 횡하중에 대한 복합구조물의 거동을 이해하고, 구조적 성능에 대한 명확한 이해와 검증이 필요할 것으로 사료된다.

상부벽식-하부골조 구조의 거동에 대한 기존의 연구동향으로는 건물 형상변수 및 setback 비율에 따라 변수해석을 통해 탄성상태의 동적거동의 변화양상을 살펴보거나¹⁾, 기존 복합구조의 사례조사, 해석 및 실험²⁾ 등이 연구되었다. 그리고 복합구조를 구조적 특징으로 하부골조, pit층, 상부벽식으로 구분할 수 있는데, 강병두 등³⁾은 이 중 상부벽식 구조의 층수만 변화하는 구조물에 대해 push-over 해석(Push-Over Analysis, POA)을 수행하여 구조물의 응답특성을 고찰하기도 하였다.

따라서 본 연구에서는 상부벽식-하부골조 구조인 복합구조물에 대하여, 구조물의 거동특성에 영향을 줄 수 있다고 사료되는 변수중 하나인 하부골조 구조의 층수만 변화시켜 POA를 수행한다. 그 수행결과로부터 횡하중 크기에 따른 구조물의 항복한지의 발생과 분포, 최상층변위와 밀면전단력 관계 및 층간변위와 층전단

* 정회원 · 거창전문대학 건축과 조교수, 동아대학교 박사수료
** 정회원 · 동서대학교 건설공학부 조교수
*** 정회원 · 동아대학교 건축학부 교수

력 관계 등을 분석하여 하부골조구조의 층수변화에 따른 비선형 거동특성을 살펴보고자 한다.

복합구조물의 초기설계를 위해서 탄성해석용 프로그램인 MIDAS/GENw Ver. 4.2.2⁴⁾를 사용하였으며 탄소성해석은 3차원 입체탄소성해석용으로 개발된 범용해석 프로그램인 CANNY 99^{5),6)}를 사용하였다.

2. 탄성해석 및 설계

2.1. 해석모델

본 연구에서 사용한 해석모델은 표 1과 같이 상부벽식구조의 층수는 동일하며 하부골조의 층수가 변화하는 4가지이다. 상부벽식구조는 1세대로서 모든 모델에서 층수와 부재의 치수를 동일하게 하였으며, 모델의 평면은 국내에 건설된 평면을 참조하였다. Pit층의 형식은 transfer girder이며 모든 모델에 대해 동일한 단면을 사용하였으며, 그림 1에서 점선으로 표시하였다. 하부골조의 경우 상부벽식구조를 중심으로 X, Y방향으로 1경간씩 추가하여 3경간이 되게 하였으며, 입면적으로 setback이 되는 형식이다. 이러한 해석모델은 연구목적의 적절한 범위 내에서 탄소성 해석의 계산량과 모델링하는 과정에서의 오류와 복잡함을 줄이고, 연구하고자 하는 변수에 대한 해석결과를 명확하게 나타내고자 실제복합구조물을 간략하게 이상화시킨 가상모델이다.

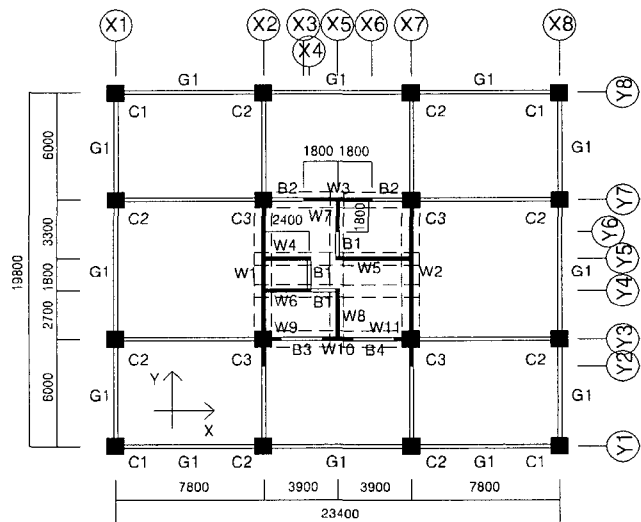
상부벽식의 층고는 국내에 건설되는 벽식구조의 층고인 2.8m로 모든 모델이 동일하고, 하부골조의 층고는 상가건물의 특성을 고려하여 4.5m로 동일하게 하였다. 그리고 transfer girder(TG1)의 단면 크기는 상부구조의 층수가 동일하므로 550×1500mm로 동일하게 하였다. TG1의 층은 상부층수의 1/10(m) 정도를 사용하고, 폭은 층의 1/3정도 되는 것으로 가정하여 고려하였다. 보의 경우 pit층의 TG1 이외의 보와 하부골조에서의 보는 그림 1의 G1, G2와 같이 두 가지로 구분하여 설계하였으나, 부재의 크기는 동일하다. 기둥의 크기는 상부벽식 하부에 위치하는 기둥(C3)은 1000×1000mm로 동일하게 하였으나, 그 외의 기둥(C1, C2) 크기는 표 3에 나타난 것처럼 모델에 따라 변화시켰다. 사용재료의 특성은 콘크리트의 경우, 탄성계수 $E_c=2.32 \times 10^5$ kgf/cm², 설계기준강도 $f_{ck}=240$ kgf/cm², 철근의 경우, 탄성계수 $E_s=2.1 \times 10^6$ kgf/cm², 항복응력은 D16이상에서는 $f_y=4000$ kgf/cm², D13이하에서는 $f_y=3000$ kgf/cm²이다. 전단탄성계수 $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$, 프와송비 $\nu=0.167$ 이다.

2.2. 설계하중

구조물의 탄성해석 및 단면설계를 위한 하중들 중에서 초기 부재단면설계를 위하여 고정하중, 적재하중, 등가정적지진하중 및 풍하중이 적용되었으며, 예제 구조물의 단면 설계용 하중조합은 대한건축학회 제정의 하중규준⁷⁾을 따랐다. 표 2~4는 아래와 같은 하중조건으로 한국콘크리트학회 콘크리트 구조설계기준⁸⁾에 따라 MIDAS를 사용하여 탄성설계된 모델의 부재치수와 배근도를 나타낸 것이다. 상부벽식구조의 층수는 동일하

표 1. 해석모델

모델	상부벽식층수	하부골조층수	전체층수	전체 높이(m)	중량(tonf)
ML1	16	1	17	49.3	2049.2
ML2		3	19	58.3	2954.0
ML3		5	21	67.3	3927.5
ML4		7	23	76.3	4985.3



* TG1 : Pit층의 모든 transfer girder, G2 : 하부골조의 표기없는 모든 보

그림 1. 해석모델의 평면도

나 하부층수가 변화하기 때문에 전체 구조물의 층수가 가변적이다. 따라서 모델에 대해 동일한 층수로 표현하기가 곤란하므로 표 4에서처럼 상부벽식구조를 상부(7개층), 중간(6개층), 하부(3개층)의 세 부분으로 나누어 표현하였다.

중력하중 중 고정하중과 적재하중 각각에 대하여, 상부벽식은 600kgf/m²과 200kgf/m², 하부골조는 560kgf/m²과 350kgf/m²로 하였다. 하중규준에 의한 등가정적지진하중을 산정하기 위해서 지역계수(A) 0.11, 중요도계수(I_E) 1.5, 지반계수(S) 1.0, 기본진동주기는 기타구조의 진동주기 산정식을 사용하였으며, 반응수정계수(R) 3.0으로 하여 해석을 수행하였다. 풍하중 산정은 하중규준에 의해 계산되었으며 노풍도 구분 A의 대도시 중심부에 10층 이상의 대규모 고층건축물이 밀집해 있는 지역으로, 기본풍속은 40m/sec이며, 지형에 의한 풍속할증계수(K_{zt})는 1.0, 건축물의 중요도계수(I_w)는 15층 이상 아파트의 경우로 1.10의 값을 사용하였다.

표 2. 보배근 리스트

Gir. ID	Story No.	Size (mm)	주근								측근			
			ML1		ML2		ML3		ML4		ML1, ML2		ML1, ML2	
			단부	중앙부	단부	중앙부	단부	중앙부	단부	중앙부	단부	중앙부	단부	중앙부
G1	2F~PIT	400×600	4-HD22	2-HD22	6-HD22	2-HD22	8-HD22	3-HD22	8-HD22	3-HD22	D10@200	D10@250	D10@200	D10@250
G2	2F~PIT	400×600	2-HD22	3-HD22	2-HD22	3-HD22	4-HD22	3-HD22	4-HD22	3-HD22	D10@200	D10@250	D10@200	D10@250
TD1	PIT층	550×1500	11-HD29(all)		11-HD29(all)		11-HD29(all)		11-HD29(all)		HD19@200, HD19@200*			
B1	PIT층 상부 ~ RF	180×580	4-HD16		4-HD16		4-HD16		4-HD16		D10@200			
B2			4-HD16		4-HD16		4-HD16		4-HD16		D10@200			
B3		180×1000	4-HD16		4-HD16		4-HD16		4-HD16		D10@200			
B4			4-HD16		4-HD16		4-HD16		4-HD16		D10@200			

* 수평전단보강근

표 3. 기둥배근 리스트

Col. ID	Story No.	ML1		ML2		ML3		ML4		Hoop
		Size(mm)	Bar	Size(mm)	Bar	Size(mm)	Bar	Size(mm)	Bar	
C1, C2	1F~PIT층	500×500	6-HD22	600×600	12-HD22	700×700	14-HD22	800×800	18-HD22	D10@200
C3	1F~PIT층	1000×1000	26-HD25	1000×1000	32-HD25	1000×1000	26-HD25	1000×1000	42-HD25	D10@200

표 4. 벽배근 리스트

Wall ID	Thk.(mm)	Story No.*	ML1		ML2		ML3		ML4		Edge Bar
			Ver.Bar**	Hor.Bar**	Ver.Bar**	Hor.Bar**	Ver.Bar**	Hor.Bar**	Ver.Bar**	Hor.Bar**	
W1, W2	200	상부	D10@400	D10@300	D10@400	D10@400	D10@400	D10@400	D10@400	D10@400	4-HD16
		중간	D10@400	D10@300	D10@200	D10@200	D10@200	D10@200	D10@200	D10@200	4-HD16
		하부	D13@400	D10@200	D13@200	D10@200	D10@200	D10@200	D13@200	D10@200	4-HD16
W3	180	상부	D10@400	D10@300	D10@400	D10@300	D10@400	D10@300	D10@400	D10@300	4-HD16
		중간	D10@400	D10@300	D13@400	D10@300	D10@400	D10@300	D10@300	D10@300	4-HD16
		하부	D13@300	D10@300	D13@200	D10@300	D10@200	D10@300	D13@200	D10@300	4-HD16
W4, W6, W8	180	상부	D10@400	D10@300	D10@400	D10@300	D10@400	D10@300	D10@400	D10@300	4-HD16
		중간	D10@400	D10@300	D10@400	D10@300	D10@400	D10@300	D10@400	D10@300	4-HD16
		하부	D13@150	D10@250	D16@150	D10@150	D16@150	D10@150	D16@150	D10@150	4-HD16
W5	180	상부	D10@400	D10@300	D10@400	D10@300	D10@400	D10@300	D10@400	D10@300	4-HD16
		중간	D10@300	D10@300	D13@200	D10@300	D10@200	D10@300	D13@200	D10@300	4-HD16
		하부	D13@100	D10@150	D16@100	D13@150	D16@100	D13@150	D16@100	D13@150	4-HD16
W7	180	상부	D10@400	D10@300	D10@400	D10@300	D10@400	D10@300	D10@400	D10@300	4-HD16
		중간	D10@400	D10@300	D10@400	D10@300	D10@400	D10@300	D10@400	D10@300	4-HD16
		하부	D10@400	D10@300	D13@400	D10@300	D10@200	D10@300	D10@200	D10@300	4-HD16
W9~W11	180	상부	D13@150	D10@300	D13@150	D10@300	D13@150	D10@300	D13@150	D10@300	4-HD16
		중간	D13@150	D10@300	D13@150	D10@300	D13@150	D10@300	D13@150	D10@300	4-HD16
		하부	D13@150	D10@300	D13@150	D10@300	D13@150	D10@300	D13@150	D10@300	4-HD16

* 상부, 중간, 하부는 상부벽식 구조 16개층 중에서 각각 상부 7개층, 중간 6개층, 하부 3개층을 의미함, ** 복배근

3. 탄소성해석

3.1. 기본가정

구조물의 탄소성 응답을 파악하기 위하여 부재모델을 이용한 3차원 입체해석모델을 사용하였으며, 모델은 기초 위에 고정되어 있고 각 층의 바닥은 강막작용을 하는 것으로 가정하며, P- Δ 효과를 고려하였다. 보-기둥 접합부는 강체로 가정하였다. 구조물의 자중은 탄소성 해석을 수행하기 전에 초기하중으로 고려하였고 탄소성 해석을 위한 작용수평하중의 분포는 지진하중만 고려하였다.

3.2. 요소모델의 성격^{5),6)}

탄소성 해석을 위해 사용된 보, 기둥의 모델화 방법은 부재 단부에 두 개의 힙 스프링, 부재 중앙부의 전단과 축 스프링에 의해 탄소성 일축스프링으로 이상화하였다. 이러한 탄소성 일축스프링 요소는 다른 변위 요소에 대한 상호관계 없이 이상화되는 것이다. 보의 축변형은 고려되지 않았으며, 기둥의 축변형은 탄성변형으로 가정하였다. 전단벽 모델은 전단벽의 상·하부에서는 무한강성을 갖는 판넬 보(rigid panel-beam)가 위치하는 것으로 가정하며, 판넬변형을 나타내기 위해, 면내 축스프링, 회전스프링, 전단스프링이 사용되었다. 면외강성은 무시하였다.

3.3. 골격곡선 및 단면내력

골격곡선(skeleton curve)은 구조부재를 일방향으로 정적 증분하여 가력할 때, 얻어지는 힘-변형 관계를 나타내는 곡선으로 부재강도 및 변형의 경계점을 결정하는 역할을 한다. 본 연구에서 사용한 골격곡선은 힙 변형은 bilinear, 전단변형은 trilinear, 축변형은 elastic 모델을 사용하였다.

탄소성해석에 필요한 부재의 힙 균열강도와 전단 균열강도, 힙 항복강도와 전단 항복강도, 그리고 압축강도 등은 실제의 부재단면을 고려하여 산정한 값을 사용하였다. 보, 기둥, 전단벽의 힙 강도는 철근콘크리트 부재의 힙이론을 적용하여 힙 균열강도 및 힙 항복강도를 계산하였다. 보, 기둥, 전단벽의 전단 균열강도 및 전단 항복강도는 일본건축학회 강도산정식^{9),10)}을 사용하였다. 전단항복점에서의 활선강성비는 실험적으로 초기탄성강성의 16%로, 전단항복후의 강성은 초기탄성강성의 0.1%로 가정하였다.¹¹⁾

3.4. Push-over 해석

탄소성 해석법으로는 소성해석(Plastic Analysis, PA), push-over 해석(Push-Over Analysis, POA), 비선형 시간이력해석(Nonlinear Response History Analysis, NLRHA), 단순화된 비선형해석법(Simplified Nonlinear Analysis, SNA) 등이 있다.¹²⁾ 이 중 POA는 작용수평하중의 분포를 고정된 형태로 계속 증가시켜 구조물을 탄소성 해석하는 것으로, 국부 혹은 전체 구조물이 파괴에 도달할 때 부재를 연속적으로 소성화하는 것이다. 이 해석법은 부재의 항복한지 발생과정과 전체 구조물의 총항복 상태를 정밀히 추적할 수 있는 한 방법이며, 지진이 발생할 경우 극한상태에 도달할 수 있는 임계부재를 확인할 수 있다. 이 방법은 실제 비선형동적해석법(nonlinear dynamic response analysis)을 적절하게 단순화한 것으로서 구조물의 성능을 알 수 있는 반면, 고정된 작용수평하중의 분포 방법에 대한 타당성이 의문시되는 중요한 단점을 갖고 있다.

작용수평하중 분포 방법은 참고문헌(Valles *et al*)¹³⁾에서와 같이 일정분포(uniform distribution), 역삼각형 분포(inverted triangular distribution), 일반 지수분포(generalized power distribution, GPD), 고유모드를 고려한 분포(modal adaptive distribution, MAD) 등이 있다. GPD는 우리나라 하중기준⁷⁾에 의한 등가정적지진하중의 층지진하중 분포와 같은 방법으로 이 방법은 간단하게 그 분포를 구할 수 있는 반면, 1차 모드에 의한 작용수평하중의 분포이므로 고차모드의 영향을 고려할 수 없는 단점이 있다. 하지만 복합구조물과 같이 비정형성이 강한 구조물의 경우 고차모드의 영향이 구조물의 응답특성에 영향을 줄 수 있으므로, 본 연구에서는

고차모드의 영향을 고려할 수 있는 MAD 방법을 사용하였다. MAD 방법은 식 (1)과 같고, 식 (1)에 따라 모델 ML2에 대해 계산한 결과를 표 5에 나타내었다. 그림 2는 국내의 하중규준과 3차 모드까지 고려한 MAD에 의한 수평하중 분포를 모델 ML2에 대해 정규화(normalize)하여 나타낸 것이다. 하중규준의 경우 MAD 방법과 비교했을 때, 상부벽식구조는 과다한 하중분배를, 하부골조구조는 과소한 하중분배를 하는 것으로 나타났다. 수평하중을 X-방향(그림 1)으로 독립되게 작용시켜 해석하였다. 탄소성 해석에서 하중 증분은 각 층의 강성변화가 급격히 일어나지 않도록 수평력의 크기 단계별로 증분량을 조절하면서 증가시킨다.

$$F_i = \frac{M_i \left[\sum_{j=1}^m (\Phi_{ij} \Gamma_j)^2 \right]^{1/2}}{\sum_{l=1}^n M_l \left[\sum_{j=1}^m (\Phi_{lj} \Gamma_j)^2 \right]^{1/2}} V, \quad \Gamma_j = \frac{\sum_{i=1}^n M_i \Phi_{ij}}{\sum_{i=1}^n M_i \Phi_{ij}^2} \quad (1)$$

여기서, n : 층수, m : 모드, Φ_{ij} : i 층의 j 차 모드형상, Γ_j : j 차 모드에 대한 모드 참여계수, M_i : i 층의 질량, V : 밀면전단력

4. 해석결과 및 고찰

4.1. 고유주기

해석모델에 대한 MIDAS와 CANNY에 의한 X-방향에 대한 고유주기와 MIDAS에 의한 질량참여율을 표 6에 나타내었다. 질량참여율은 하부골조의 층수가 증가할수록 1차 모드의 영향이 늘어남을 확인할 수 있다. 표 6에서 알 수 있듯이, 두 해석 프로그램에 의한 탄성해석 결과는 거의 일치한다. 이것은 CANNY의 해석모델링 방법이 충분한 타당성과 신뢰성이 있음을 간접적으로 보여주고 있다.

4.2. Push-over 해석

(1) 최상층변형각과 밀면전단력계수

해석모델에 대하여 push-over 해석을 수행한 결과 중, 최상층변형각-밀면전단력 관계를 나타내면 그림 3과 같다. 그림 3과 6의 Δ , \circ , \blacktriangle , \bullet 는 각 모델에 대하여 내진설계규준에 의한 밀면전단력(V)을 기준으로 각각 V, 2V, 3V, 4V의 밀면전단력이 작용한 경우의 결과들이다. 그림 3에서 밀면전단력계수의 변화가 크지 않은 것은, 구조물의 전체중량(W)의 변화와 동적계수(C)의 변화가 거의 일정하게 반비례하고, 상부층의 질량이 pit층과 하부층의 질량에 비해 상대적으로 작으므로 하부층의 층수변화로 인한 질량의 변화가 전체 구조물의 질량 변화에 큰

표 5. 작용수평하중 분포(모델 ML2)

층수	M_i	Φ_{i1}	Φ_{i2}	Φ_{i3}	F_i	정규화
20	7.38	0.0012	-0.0009	-0.0013	6.92	0.31
19	9.84	0.0011	-0.0008	-0.0010	8.64	0.38
18	9.84	0.0011	-0.0007	-0.0006	8.06	0.36
17	9.84	0.0010	-0.0006	-0.0003	7.50	0.33
16	9.84	0.0009	-0.0004	0.0001	6.96	0.31
15	9.84	0.0009	-0.0003	0.0004	6.46	0.29
14	9.84	0.0008	-0.0002	0.0007	6.00	0.26
13	9.84	0.0008	0.0000	0.0009	5.58	0.25
12	9.84	0.0007	0.0001	0.0010	5.21	0.23
11	9.84	0.0007	0.0002	0.0010	4.89	0.22
10	9.84	0.0006	0.0004	0.0009	4.60	0.20
9	9.84	0.0005	0.0005	0.0008	4.37	0.19
8	9.84	0.0005	0.0006	0.0006	4.20	0.19
7	9.84	0.0004	0.0006	0.0003	4.09	0.18
6	9.84	0.0004	0.0007	0.0000	4.04	0.18
5	9.84	0.0003	0.0008	-0.0002	4.05	0.18
4	54.73	0.0003	0.0008	-0.0004	22.66	1.00
3	45.77	0.0002	0.0006	-0.0005	13.79	0.61
2	45.77	0.0001	0.0002	-0.0003	5.36	0.24
1	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
Σ	301.3	0.0125	0.0016	0.0021	133.4	

$$\Gamma_1 = 1419, \Gamma_2 = 838, \Gamma_3 = -219, V = 133.4$$

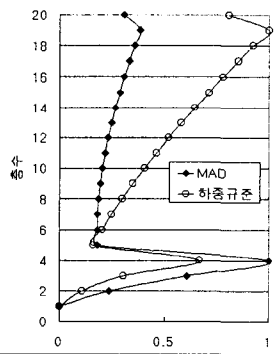


그림 2. 작용수평하중 분포(모델 ML2)

표 6. 고유주기(X-방향) 및 질량참여율

모델	모드	MIDAS	CANNY	오차율(%)	질량참여율 누계(%)
ML1	1st	1.25	1.25	0.0	53.53
	2nd	0.30	0.31	-3.2	82.47
	3rd	0.17	0.18	-5.6	99.01
ML2	1st	1.58	1.58	0.0	61.21
	2nd	0.63	0.63	0.0	90.11
	3rd	0.24	0.26	-7.7	91.47
ML3	1st	1.98	1.98	0.0	68.48
	2nd	0.89	0.91	-2.2	86.27
	3rd	0.32	0.32	0.0	93.33
ML4	1st	2.40	2.40	0.0	71.68
	2nd	1.09	1.10	-0.9	84.13
	3rd	0.48	0.45	6.7	88.01

$$\text{오차율(}\%) = \frac{\text{MIDAS} - \text{CANNY}}{\text{CANNY}} \times 100$$

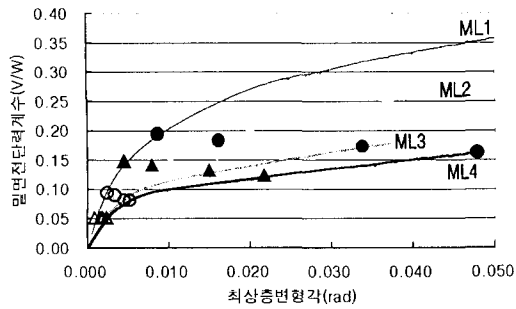


그림 3. 최상층변형각-밀면전단력계수 (V; 밀면전단력, W; 구조물의 총중량)

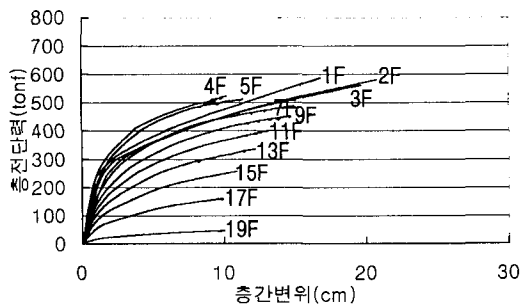
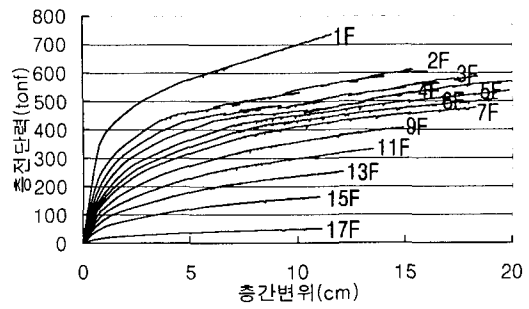


그림 4. 층간변위-층전단력(하중기준, 모델 ML2)

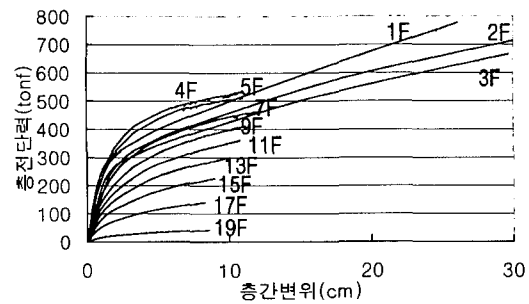
영향을 주지 못한 것으로 사료된다. 하부골조가 저층인 복합구조물(ML1, ML2)은 설계 밀면전단력에 비하여 구조물의 항복전단력이 매우 높은 것을 알 수 있으나 고층(ML3, ML4)이 될수록 밀면전단력에 대한 항복은 뚜렷해지면서 수평변위가 크게 증가함을 알 수 있다. 그림 5(d), 그림 6(d)에서 알 수 있듯이 이것은 하부골조의 층수가 증가함으로써 보-기둥의 골조구조에 의한 거동이 지배적임을 나타낸다. 즉 하부골조의 층수가 증가할수록 작은 밀면전단력에 대해서도 각 층의 주두부와 주각부에 기둥의 휨 항복이 발생되어 수평변위가 상대적으로 증가하기 때문으로 판단된다.

(2) 층간변위와 층전단력

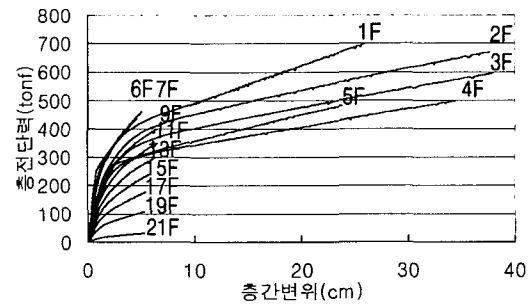
그림 4와 5는 해석모델에 대한 층간변위-층전단력 관계 곡선으로, push-over 해석시 작용수평하중 분포를 하중기준과 MAD 방법에 의한 두 가지 경우를 적용하여 최상층 변위가 2.5m 일 때까지의 관계를 그린 것이다. 그림 4와 그림 5(b)를 비교해보면 하중기준에 의한 경우(그림 4)는 MAD에 의한 경우(그림 5(b))보다 하부골조(1F~3F)에서 층전단력이 증가함에 따라 층간변위가 상부벽식 구조에 비해 큰 차이를 보이지 않는다. 이것은 1차 모드에 의한 작용수평하중분포가 구조물의



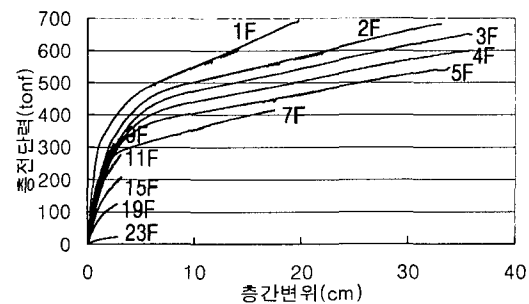
(a) 모델 ML1



(b) 모델 ML2



(c) 모델 ML3



(d) 모델 ML4

그림 5. 층간변위-층전단력(MAD)

응답에 지배적인 영향을 미친 것으로서 그림 2와 그림 4~5에서 나타난 것처럼 고차모드의 영향을 고려하지 않을 경우 하부골조의 거동을 과소 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

그림 5로부터 하부층으로 갈수록 일반적으로 층강성(=층전단력/층간변위)이 크고, 고층으로 갈수록 층항복이 늦게 발생함을 알 수 있다. 하부골조의 층수가 1개층인 모델 ML1의 경우 하부골조와 상부벽식구조의 구분이 나타나지 않으나, 하부골조의 층수가 증가할수록 층간변위-층전단력 곡선은 크게 두 가지 유형으로 나누어진다. 즉 상부층은 강성이 높은 벽식구조로 구성되어 있어 하부층에 변형이 집중되는 현상이 나타나고 층수가 증가할수록 하부골조의 층간변위는 증가하는 반면 상부벽식구조의 층간변위는 오히려 감소한다. 이로 인해 하부골조의 층수가 증가할 경우 하부골조 부분의 층항복은 뚜렷해지나 상부벽식구조의 층항복은 뚜렷하지 않음을 알 수 있다. 이것은 그림 6의 항복힌지도 발생현황으로부터도 알 수 있듯이 하부골조 구조의 항복은 하부층수가 증가함으로써 기둥의 주두부와 주각부에서 항복 발생이 증가하기 때문이다.

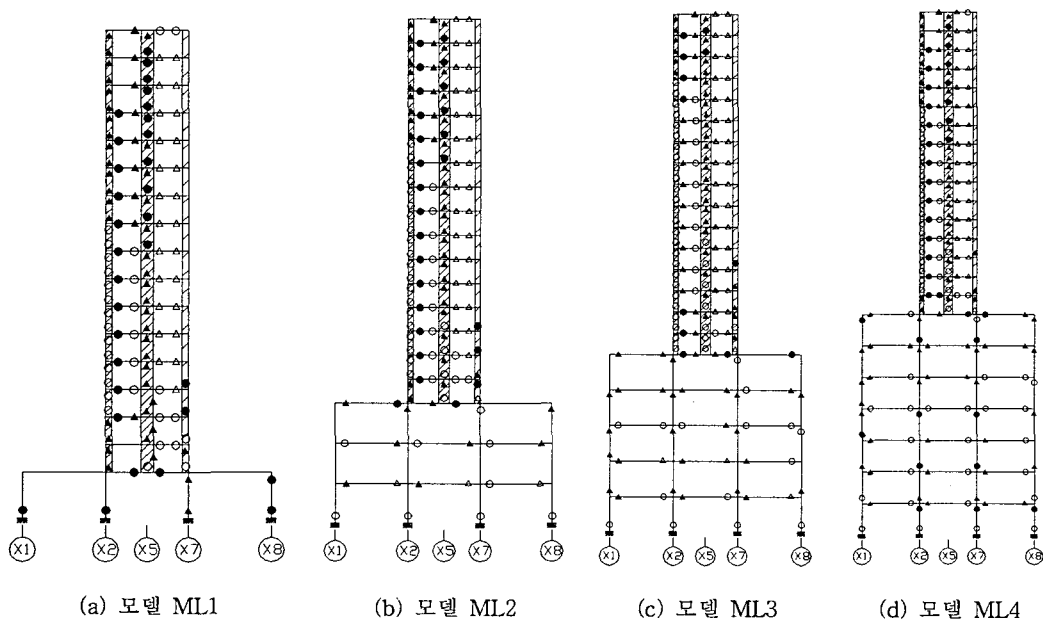


그림 6. 항복힌지도(Y3 골조)

(3) 항복힌지의 발생

그림 6은 각 모델의 Y3 골조에 대한 항복힌지 발생 순서도이다. 그림에서 보는 양단부, 기둥 및 전단벽은 상·하단부에서 휨과괴에 의한 항복힌지가 나타났고, 전단과괴에 의한 항복힌지는 모델 ML1의 일부 전단벽(W10)에서만 발생되었으며, 그 표시는 전단벽의 중앙의 우측에 나타내었다. 그림 6에서 나타난 것처럼 하부골조 보(모델 ML2~ML3)의 경우 밀면전단력 V일 때 2~3층 보의 우단부에서, 2V~3V일 때 나머지 하부골조 보의 좌·우단부에서 항복이 발생되었으며, 3V까지 하부골조의 모든 보에서 항복이 발생되었다. 모델 ML1을 제외한 모든 모델의 1층 기둥 주각부는 2V에서 항복이 발생되었으며, 하부골조의 층수가 높은 모델일수록 기둥의 주두부와 주각부의 휨 항복의 발생이 증가하는 특징이 있다.

상부벽식 구조의 경우, 밀면전단력 V에 대하여 coupling beam 단부에서 항복힌지가 발생하기 시작하여, 수평하중이 증가함에 따라 전단벽에서는 상부층으로, coupling beam에서는 상·하부층으로 확산되어 가는 경향을 보인다. 하부골조의 층수변화에 대한 상부벽식구조의 항복힌지발생은 층수 변화에 상관없이 거의 동일한 크기의 하중에서 발생하고 발생 위치도 동일하다.

5. 결론

상부벽식-하부골조 구조의 복합구조물에 대해 하부골조 구조의 층수만 변화시켜 push-over 해석을 수행하여 지진거동 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 복합구조물에 대한 작용수평하중 분포는 분배방식에 따라 큰 차이를 보이며, push-over 해석시 비정형성이 강한 복합구조물은 고차모드의 영향이 구조물 응답에 영향을 줄 수 있으므로 작용수평하중 분포는 고차모드의 영향을 고려할 수 있는 방법을 사용하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

2) 층간변위-층전단력 곡선은 하부골조의 층수가 증가함에 따라 하부골조에서는 층간변위가 증가하고 상부벽식구조에서는 오히려 감소하는 경향이 나타났다.

3) 하부골조의 층수변화에 따른 항복힌지 발생은 하부골조의 경우 보는 설계용 밀면전단력의 크기(V)에서 항복힌지가 발생하기 시작하였으며, 기둥의 주각부는 2V에서 항복힌지가 발생하였다. 그러나 상부벽식의 경우 항복발생시기와 발생분포는 하부골조 층수의 변화에 상관없이 거의 변화가 없었다.

감사의 글

이 연구는 2000년도 한국과학재단 연구비 지원(과제번호:2000-1-31000-007-3)에 의한 결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 박대운, "3차원 복합구조물의 건물형상에 따른 지진응답에 관한 연구", 동아대학교 대학원 석사학위논문, 2001. 2
2. 이한선 외, "복합구조(전단벽+골조)의 내진설계기법 연구", 건교부 '98연구개발사업 보고서, 1999. 12
3. 강병두, 전대한, 김재웅, "정적탄소성해석에 의한 복합구조물의 거동특성에 관한 연구", 한국전산구조공학회 2000년 가을 학술발표회 논문집 제13권 제2집 통권25호, pp.209~216, 2000. 10.
4. "MIDAS/GENw Ver. 4.2.2. User's Manual Vol. I", 포스코 개발주식회사, 2000.
5. Kang-Ning Li, "CANNY 99, 3-Dimensional Nonlinear Static/Dynamic Structural Analysis Computer Program-Users Manual", CANNY Structural Analysis, CANADA, 2000.
6. Kang-Ning Li, "CANNY 99, 3-Dimensional Nonlinear Static/Dynamic Structural Analysis Computer Program-Technical Manual", CANNY Structural Analysis, CANADA, 2000.
7. 대한건축학회, "건축물 하중기준 및 해설", 태림문화사, 2000.
8. 한국콘크리트학회, "콘크리트구조설계기준·해설", 기문당, 2000
9. "中高層壁式鐵筋コンクリート造設計施工指針・同解説", 日本建築センター, 2000.
10. "鐵筋コンクリート造建物の靱性保證型耐震設計指針(案)・同解説", 日本建築學會, 1997.
11. S. Otani and T. Matsumori, "Correlation of Damage and Analysis: Experience from the 1995 Kobe Earthquake", Proceedings of 7th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Seoul, Korea, 1997. 8.
12. R. Riddell, J.C. and De La Llera, "Seismic Analysis and Design: Current Practice and Future Trends", 11th WCEE paper No. 2010, 1996.
13. R. Valles, A. Reinhorn, S. Kunnath, C. La and A. Madan, "IDARC 2D Version 4.0: A Program for the Inelastic Damage Analysis of Buildings", NCEER-96-0010, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.