한국전산구조공학회
2001년도 가을 학술발표회 논문집

복합구조물의 하부층수 변화에 따른 비선형 동적응답특성

Nonlinear Dynamic Response Characteristics with Variations in the Lower Stories of Mixed Building Structures

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

Abstract

The Mixed building structures 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 nonlinear response characteristics of structures, as the stories of lower frame of mixed building structures changes. The recorded earthquake ground motions of El Centro 1940 NS is adopted, and the maximum ground accelerations are adjusted to 55gal, 110gal, 220gal, 330gal.

The conclusions of this study are the following. 1) The responses of model that the story of lower frame is one were different from those of other models. 2) The process of ductility hinge occurrence of member was ends of coupling beam of upper wall and ends of beam of lower frame in 55gal, bases of shear wall on pit floor in 110gal, and bases of column of 1F in 220gal.

1. 서 론

상부벽식-하부골조로 이루어진 복합구조는 일반적으로 전이층을 중심으로 상부는 전단벽식이며 하부는 보-기둥의 골조구조이다. 전단벽식구조와 골조구조는 횡하중에 대한 거동이 상이하지만, 복합구조물의 경우 전이층을 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 비선형 거동에 대한 기존의 연구로는 상부벽식 구조의 층수만 변화하는 구조물에 대해 push-over 해석을 수행하여 구조물의 응답특성[1]을 고찰하였고, 기존 복합구조의 사례조사, 해석 및 실험[2]등이 연구되었다. 따라서 본 연구에서는 상부벽식-하부골조 구조인 복합구조물에 대하여, 구조물의 거동특성에 영향을 줄 수 있다고 사료되는 변수중 하나인 하부골조 구조의 층수만 변화시켜 비선형 동적해석을 수행한다. 그 수행결과로부터 횡하중 크기에 따른 구조물의 최상층변위 시간이력, 최대층간변위, 소성율 등을 분석하여 하부골조구조의 층수변화에 따른 비선형 동적거동특성과 내진성능을 고찰하고자 한다.

복합구조물의 초기설계를 위해서 탄성해석용 프로그램인 MIDAS/GENw Ver. 4.2.2[3]를 사용하였으며, 비선형 동적해석은 3차원 입체비선형해석용으로 개발된 범용해석 프로그램인 CANNY 99[4,5]를 사용하였다.

2. 탄성 해석 및 설계

2.1 해석모델

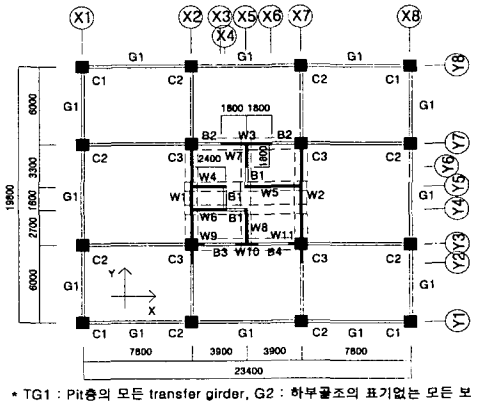
본 연구에서 사용한 해석모델은 그림 1과 같은 평면으로 구성되고 표 1과 같이 상부벽식구조의 층수는 동일하

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

며 하부골조의 층수가 변화하는 4가지이다. 상부벽식구조는 1세대로서 모든 모델에서 층수와 부재의 치수를 동일하게 하였으며, 모델의 평면은 국내에 건설된 평면을 참조하였다. 전이층의 형식은 전이보(transfer girder)이고 그림 1에서 점선으로 표시하였다. 하부골조의 경우 상부벽식구조에 대해 X, Y방향으로 1경간씩 추가하여 3경간이 되게 하였으며, 입면적으로 setback이 되는 형식이다. 이러한 해석모델은 연구목적의 적정한 범위 내에서 비선형 해석의 계산량과 모델링하는 과정에서의 오류와 복잡함을 줄이고, 연구하고자 하는 변수에 대한 해석결과를 명확하게 나타내고자 실제복합구조물을 간략하게 이상화시킨 가상모델이다.

표 1 해석모델

모델	상부벽식 층수	하부골조 층수	전체 층수	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

상부벽식의 층고는 벽식구조의 일반적인 층고인 2.8m로 모든 모델이 동일하고, 하부골조의 층고는 상가건물의 특성을 고려하여 4.5m로 동일하게 하였다. 그리고 전이보(TG1)의 단면 크기는 상부구조의 층수가 동일하므로 550×1500㎜로 모든 모델에 대해 동일하게 하였다. 보의 경우 전이층의 TG1 이외의 보와 하부골조에서의 보는 그림 1과 표 2에서 G1, G2와 같이 두 가지로 구분하여 설계하였으나, 부재의 크기는 동일하다. 기둥의 크기는 상부벽식 하부에 위치하는 기둥(C3)은 1000×1000㎜으로 동일하게 하였으나, 그 외의 기둥(C1, C2) 크기는 표 3에 나타난 것처럼 모델에 따라 변화시켰다. 사용재료의 특성은 콘크리트의 경우, 탄성계수 $E_c = 2.3\times10^5$kgf/㎠, 설계기준강도 $f_{ck} = 240$kgf/㎠, 철근의 경우, 탄성계수 $E_s = 2.1\times10^6$kgf/㎠, 항복응력은 D16이상에서는 $f_y = 4000$kgf/㎠, D13이하에서는 $f_y = 3000$kgf/㎠이다.

2.2 하중조건

구조물의 탄성해석 및 단면설계를 위한 하중들 중에서 초기 부재단면설계를 위하여 고정하중, 적재하중, 등가정적지진하중 및 풍하중이 적용되었으며, 예제 구조물의 단면설계용 하중조합은 대한건축학회 제정의 하중기준[6]을 따랐다. 표 2~4는 아래와 같은 하중조건으로 한국콘크리트학회 콘크리트 구조설계기준[7]에 따라 MIDAS를 사용하여 탄성설계된 모델의 부재치수와 배근을 나타낸 것이다. 상부벽식구조의 층수는 동일하나 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.

고정하중과 적재하중은 각각에 대하여 상부벽식은 600kgf/m'과 200kgf/m', 하부골조는 560kgf/m'과 350kgf/m'로

표 2 보배근 리스트

Gir. ID	Story No.	Size (㎜)	주근								늑근	
			ML1		ML2		ML3		ML4		ML1~ML4	
			단부	중앙부	단부	중앙부	단부	중앙부	단부	중앙부	단부	중앙부
G1	2F~전이층	400×600	4-HD22	2-HD22	6-HD22	2-HD22	8-HD22	3-HD22	8-HD22	3-HD22	D10 @200	D10 @250
			2-HD22	3-HD22	2-HD22	3-HD22	4-HD22	3-HD22	4-HD22	3-HD22		
G2	2F~전이층	400×600	6-HD25	2-HD25	8-HD25	2-HD25	7-HD29	2-HD29	8-HD29	3-HD29	D10 @200	D10 @250
			2-HD25	3-HD25	2-HD25	3-HD25	3-HD29	3-HD29	3-HD29	5-HD29		
TG1	전이층	550×1500	11-HD29(all)		11-HD29(all)		11-HD29(all)		11-HD29(all)		HD19@200, HD19@200*	
			11-HD29(all)		11-HD29(all)		11-HD29(all)		11-HD29(all)			
B1(180×580), B2(180×1300), B3(180×1000), B4(180×320)은 상부벽식구조(전이층 상부~RF)의 연결보로 보배근은 모든 보가 동일하게 상부주근 4-HD16, 하부주근 4-HD16, 그리고 늑근은 전구간 D10@200이다.												

* 수평전단보강근

표 3 기둥배근 리스트

Col. ID	Story No.	ML1		ML2		ML3		ML4		Hoop
		Size(㎜)	Bar	Size(㎜)	Bar	Size(㎜)	Bar	Size(㎜)	Bar	
C1, C2	1F~전이층	500×500	8-HD22	600×600	12-HD22	700×700	14-HD22	800×800	18-HD22	D10@200
C3	1F~전이층	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. (㎜)	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@300	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

하였다. 하중기준에 의한 등가정적지진하중을 산정하기 위해서 지역계수 0.11, 중요도계수 1.5, 지반계수 1.0, 기본 진동주기는 기타구조의 진동주기 산정식을 사용하였으며, 반응수정계수 3.0으로 하여 해석을 수행하였다. 풍하중 산정은 하중기준에 의해 계산되었으며 노풍도 구분 A의 대도시 중심부에 10층 이상의 대규모 고층건축물이 밀집해 있는 지역으로, 기본풍속은 40m/sec이며, 지형에 의한 풍속할증계수는 1.0, 건축물의 중요도계수는 15층 이상 아파트의 경우로 1.10의 값을 사용하였다.

3. 비선형 동적해석

3.1 기본 가정

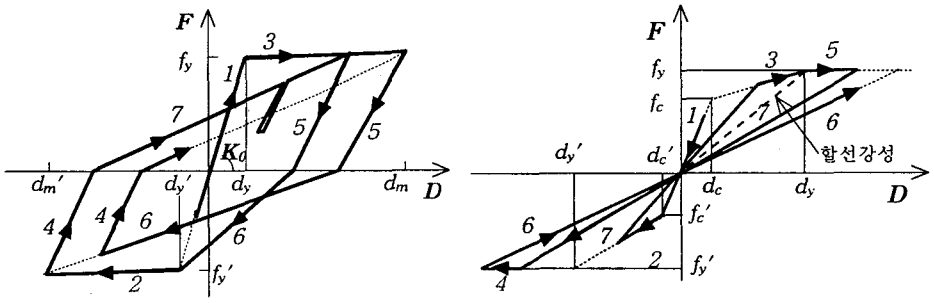
구조물의 비선형 응답을 파악하기 위하여 부재모델을 이용한 3차원 입체해석모델을 사용하였으며, 모델은 기초 위에 고정되어 있고 각 층의 바닥은 강막작용을 하는 것으로 가정하였으며, P-Δ 효과를 고려하였다. 보-기둥 접합부는 강체로 가정하였다. 구조물의 자중은 비선형 해석을 수행하기 전에 초기하중으로 고려하였고 비선형 해석을 위한 작용수평하중의 분포는 지진하중만 고려하였다.

3.2 요소모델 성격[4,5]

비선형 해석을 위해 사용된 보, 기둥의 모델화 방법은 부재 단부에 두 개의 휨 스프링, 부재 중앙부의 전단과 축 스프링에 의해 비선형 일축스프링으로 이상화하였다. 보의 축변형은 고려되지 않았으며, 기둥의 축변형은 탄성변형으로 가정하였다. 전단벽 모델은 전단벽의 상·하부에서는 무한강성을 갖는 판넬 보가 위치하는 것으로 가정하며, 판넬변형을 나타내기 위해, 면내 축스프링, 회전스프링, 전단스프링이 사용되었다. 면외강성은 무시하였다.

3.3 골격곡선 및 이력곡선[4,5]

본 연구에서는 사용한 골격곡선 모델은 휨변형은 bilinear(그림 2(a)의 곡선 1-3), 전단변형은 trilinear(그림 2(b)의 곡선 1-3-5), 축변형은 elastic을 사용하였다. 또한 부재의 휨변형에 대한 이력곡선(그림 2)으로는 수정 Clough 모델을 사용하였으며 이 모델의 경우 bilinear 골격곡선을 기본으로 하고 항복후 제하시 강성저하에 따른 구조물의 거동을 표현할 수 있다. 그리고 전단변형에 대해서는 Origin-Oriented 모델을 사용하였으며 이 모델의 경우 제하하중의 구배가 반복회수의 증가와 변위 진폭이 커짐에 따라 저하되는 효과를 고려할 수 있는 모델이며 전단변형에 따른 벽체의 에너지흡수능력을 표현할 수 있는 것으로 trilinear 골격곡선을 기본으로 한다. 전단항복점에서의 할선강성비는 실험적으로 초기탄성강성의 0.16로, 전단항복후의 강성은 초기탄성강성의 0.001로 가정하였다.[8]



(a) 수정 Clough 모델 (b) Origin-Oriented 모델

그림 2 비선형해석용 이력곡선

3.4 부재의 단면내력

비선형해석에 필요한 부재의 휨 균열강도와 전단 균열강도, 휨 항복강도와 전단 항복강도, 그리고 압축강도 등은 실제의 부재단면을 고려하여 산정한 값을 사용하였다. 보, 기둥, 전단벽의 휨 강도는 철근콘크리트 부재의 휨이론을 적용하여 휨 균열강도 및 휨 항복강도를 계산하였고, 보, 기둥, 전단벽의 전단 균열강도 및 전단 항복강도는 일본건축학회 강도산정식[9]을 사용하였다.

3.5 비선형 시간이력해석

비선형 시간이력해석에서 운동방정식을 풀기 위한 수치적분법으로는 Newmark β법(β=0.25, γ=0.5)을 사용하였다. 비선형 시간이력해석에서 구조부재의 강성변화에 의한 불평형 복원력이 발생할 경우 반복계산을 수행하여 부재 항복강도의 0.01배 이하의 허용치 이내에 수렴하도록 하였다. 비선형 시간이력해석에서 감쇠로는 감쇠비 5%인 Rayleigh 감쇠를 사용하였고, 입력지진동은 X-방향으로 작용시켜 비선형해석을 수행하였다.

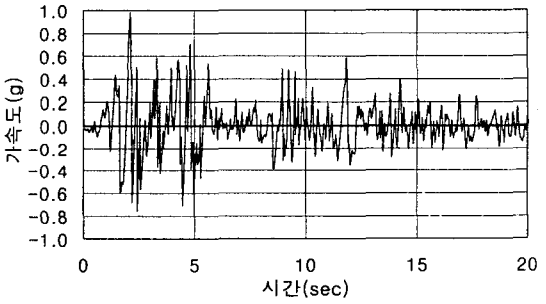


그림 3 El Centro 1940 NS 파형의 시간이력

비선형 시간이력해석에 사용될 입력지진동은 시간이력해석에 널리 사용되고 있는 El Centro 1940 NS를 선택하였으며, 입력지진동의 시간이력 파형은 그림 3과 같다. 지진동의 입력 최대가속도는 등가정적지진하중 산정식을 참고하여 55gal, 110gal, 220gal, 330gal로 설정하였으며 입력시간은 0초에서 20초까지로 하였다.

4. 해석결과 및 고찰

4.1 시간이력

그림 4는 여러 가지 입력지진동에 대해 모델 ML2의 최상층변위를 나타낸 시간이력곡선이고, 그림 5는 4가지 해석모델의 탄소성해석에 따른 변위특성을 살펴보기 위해 55gal의 작은 지진동에 대한 최상층변위 시간이력곡선을 탄성해석과 함께 나타내었다. 해석모델 4가지는 높이가 다르므로 그림 4와 5에서는 최상층변위를 서로 비교하기 위해 최상층 변위와 높이의 비(radian)로 나타내었다. 그림 4에서 입력지진동의 크기가 증가함에 따라 약 5초까지의 변위는 지진력이 증가함에 따라 변위도 비슷한 증가를 보이는 탄성상태라 할 수 있으나 약 5초 이후의 변위값은 입력지진동의 증가에 따른 소성거동으로 인해 변위가 다소 증가하고 있다. 이로부터 입력지진동에 대해 구조물이 소성거동을 하는 것으로서 해석결과에 대한 정확성과 타당성을 간접적으로 나타내는 것으로 사료된다. 그림 5에서는 보-기둥으로 이루어진 하부골조의 층수가 증가함에 따라 탄성 및 탄소성 변위도 증가함을 알 수 있으며, 55gal의 작은 지진동에 대해서 일부 부재의 탄소성 거동을 함을 간접적으로 확인할 수 있다. 해석모델의 하부골조의 층수가 증가함에 따라 최상층변위 시간이력곡선은 부드럽고 다소 규칙적인 이력곡선으로 변화함을 알 수 있다. 그림 6은 최상층의 탄소성 변위응답 특성중 편심에 대한 영향을 살펴보고자 중심(gravity center)에 대한 최상층 절점변위와 절점 X7-Y7에 대한 최상층 변위를 타나낸 시간이력곡선이다. 그림에서 하부골조의 층수가 증가함에 따라 편심에 따른 뒤틀림 효과가 작아짐을 알 수 있다. 이것은 상부층수에 대해 상대적으로 정형인 하부층수가 증가하여 상부층의 뒤틀림을 제어한 것으로 사료된다.

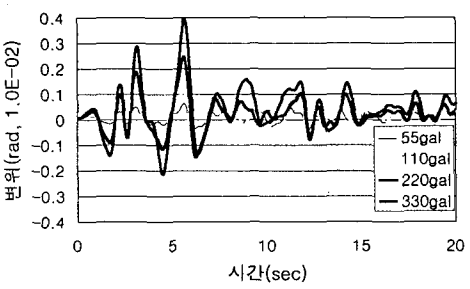
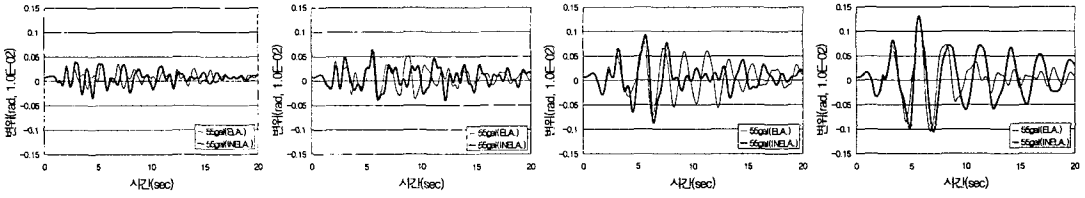
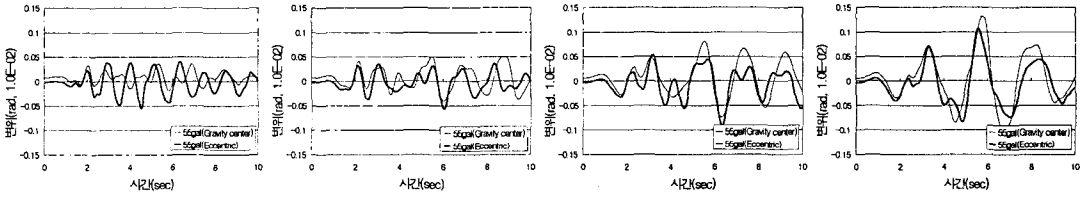


그림 4 최상층변위 시간이력(모델 ML2)



(a) 모델 ML1 (b) 모델 ML2 (c) 모델 ML3 (d) 모델 ML4

그림 5 탄성해석과 탄소성해석의 최상층변위 시간이력

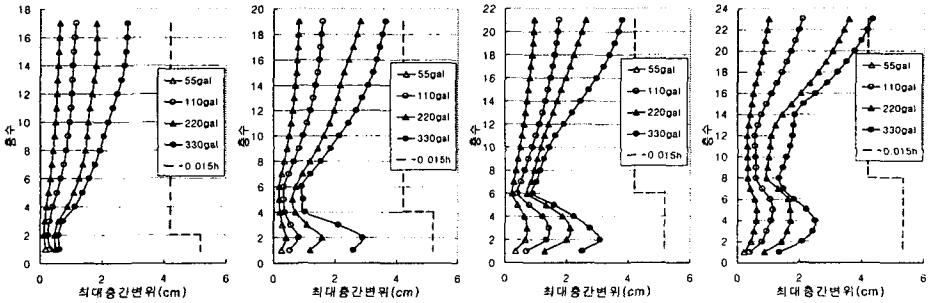


(a) 모델 ML1 (b) 모델 ML2 (c) 모델 ML3 (d) 모델 ML4

그림 6 중심과 편심 절점에 대한 최상층변위 시간이력

4.2 최대층간변위

그림 7은 최대층간변위를 나타낸 것으로 국내규준의 층간변위 제한치인 0.015h(h는 층고)와 비교해 보았다. 모델 ML4의 최상층을 제외한 모든 모델의 최대층간변위는 최대입력지진동 330gal까지 국내의 제한식의 값을 만족하였다. 하부골조 구조의 층수 변화에 따른 상부벽식 구조의 최대층간변위 양상은 모든 모델에 대해 비슷하나, 그 값은 하부골조가 고층화될 수록 약간 증가하는 경향이 나타났다. 하부골조의 최대층간변위 값은 저층모델(모델 ML2와 ML3)은 하부층인 2층에서 최대이나 고층모델(ML4)에서는 중간층인 4층에서 최대가 되었다. 모델 ML1의 경우 하부골조의 층수가 1개층으로 지반에 고정된 것으로 가정하였으므로 다른 모델과는 거동양상이 다르게 나타났다.



(a) 모델 ML1 (b) 모델 ML2 (c) 모델 ML3 (d) 모델 ML4

그림 7 최대층간변위

4.4 소성율

표 5는 하부골조 구조에서 대표적인 기둥(C3)의 주두부와 주각부의 휨 소성율 분포를 나타낸 것이다. 모든 모델의 주두부와 주각부는 110gal까지 탄성상태이며, 모델의 1층 주각부는 220gal에서 모델 ML1을 제외한 모든 모델이 소성상태가 되었다. TG1에 접하는 전이층 하부기둥의 주두부는 220gal에서 모델 ML2가 소성상태가 되었고, 나머지 모델은 330gal에서 소성상태가 되었다. 기둥의 소성율은 모델 ML1을 제외한 모든 모델에서 3층 주두부보다 1층 주각부의 소성율이 상대적으로 크게 발생하였으며 하부골조 기둥의 소성율 값은 모델 ML3이 가장 크며, 상부층수변화에 대

표 5 C3(X2 · Y3)기둥의 소성율

구분		ML1	ML2	ML3	ML4
전이층 하부기둥 주두부	55gal	0.44	0.44	0.38	0.39
	110gal	0.58	0.65	0.53	0.60
	220gal	0.86	1.19	0.83	0.90
	330gal	1.36	2.39	1.66	1.38
1층 기둥 주각부	55gal	0.38	0.28	0.43	0.26
	110gal	0.50	0.60	0.83	0.52
	220gal	0.83	1.65	1.86	1.33
	330gal	1.16	4.33	5.03	2.96

표 6 Y3열 X2~X7보(하부골조)의 단부 소성율

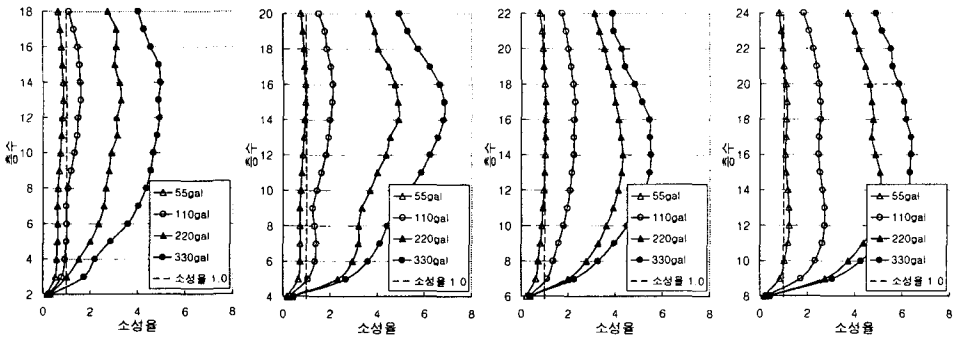
구분	ML2			ML3			ML4		
	층수	좌단	우단	층수	좌단	우단	층수	좌단	우단
55gal	3F	0.37	0.38	5F	0.31	0.40	7F	0.32	0.31
							6F	0.35	0.33
				4F	0.3	0.45	5F	0.36	0.34
	2F	1.45	1.49	3F	0.68	0.91	4F	0.51	0.48
							3F	0.51	0.46
				2F	0.63	0.79	2F	0.45	0.42
110gal	3F	0.50	0.49	5F	0.40	0.57	7F	0.45	0.40
							6F	0.51	0.45
				4F	0.44	0.66	5F	0.53	0.46
	2F	2.48	2.34	3F	0.92	1.60	4F	0.77	0.67
							3F	0.75	0.65
				2F	0.85	1.22	2F	0.62	0.55
220gal	3F	0.75	0.80 1	5F	0.59	0.73	7F	0.62	0.50
							6F	0.75	0.60
				4F	0.80	0.84	5F	0.82	0.67
	2F	4.25	3.73	3F	2.22	2.51	4F	1.34	0.91
							3F	1.30	0.85
				2F	1.94	2.04	2F	0.97	0.68
330gal	3F	2.29	1.39	5F	0.80	0.79	7F	0.74	0.60
							6F	0.91	0.78
				4F	0.98	1.20	5F	0.99	0.90
	2F	4.85	5.96	3F	3.44	2.85	4F	1.80	1.38
							3F	1.69	1.15
				2F	3.27	2.62	2F	1.39	0.86

한 차이는 나타나지 않았다.

표 6은 하부골조 구조의 Y3열 X2-X7보의 단부 소성율 분포를 나타내었고, 그림 8은 상부벽식구조에서 Y3열 보 B4의 우단부 소성율 분포를 나타낸 것이다. 먼저 표 6에 나타난 것처럼 하부골조 구조부재인 Y3열 보의 경우 전 모델에 대해 하부층에 위치한 보 단부의 소성율이 크며, 하부골조의 층수가 증가할수록 보 단부의 소성상태가 늦어지는 경향을 나타내었다. 이것은 탄성설계시 하부골조의 층수가 증가함에 따라 하중에 저항할 수 있도록 보 부재의 철근량을 증대시킨 결과로 사료된다. 상부벽식 구조부재인 Y3열 보(그림 8)의 연결보(coupling beam)는 하부골조의 층수에 관계없이 비슷한 소성율 값과 분포를 나타내며 일부 모델의 보단부에서는 55gal의 낮은 지진력에서도 소성이 발생됨을 알 수 있다.

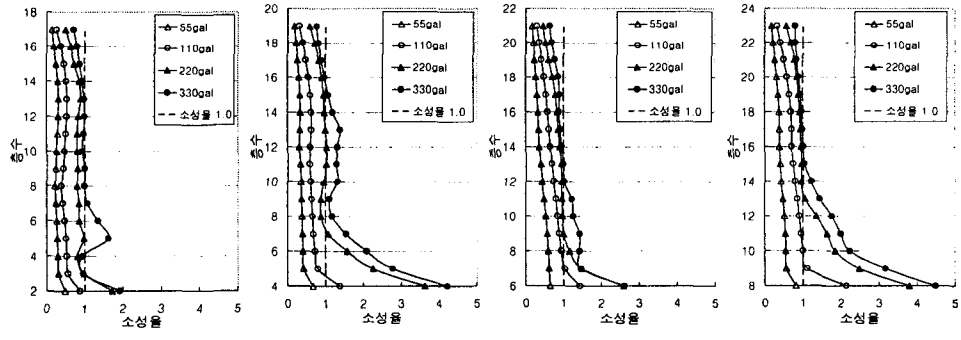
그림 9는 상부벽식 구조의 전단벽 중에서 W10벽의 하단부 소성율 분포를 나타낸 것으로 55gal까지 모든 모델의 전단벽이 탄성범위에 있으며, 110gal 내외의 지진력에 대해 전이층 상부에 위치하는 벽체 하단부에서 소성이 발생되었다.

소성힌지 발생 양상을 분석하면, 상부벽식구조의 경우 Y3열의 연결보(B4)의 단부에서는 55gal의 낮은 지진력에서 소성상태가 되었으며, 전단벽은 전이층 상부에 위치한 벽체 중 1~2개층은 110gal 정도에서 소성이 발생되었다. 하부골조의 경우 기둥은 모델 ML1을 제외한 전 모델의 1층 주각부에서는 220gal의 지진력에 대해 소성힌지가 발생되었으며, 보의 경우 모델 ML2의 보 단부는 55gal의 낮은 지진력에서 휨 항복이 발생하기 시작하여 모델의 하부골조의 층수가 증가할수록 110gal, 220gal의 점차 높은 지진력에서 휨 항복이 발생되었다.



(a) 모델 ML1 (b) 모델 ML2 (c) 모델 ML3 (d) 모델 ML4

그림 8 Y3열 B4보(상부벽식)의 우단부 소성율분포



(a) 모델 ML1 (b) 모델 ML2 (c) 모델 ML3 (d) 모델 ML4

그림 9 W10 벽 하단부의 소성율분포

5. 결론

본 연구에서는 상부벽식-하부골조에 전이층이 전이보의 형식인 모델을 선정한 후, 모델의 하부골조 층수를 변화시키면서 3차원 복합구조물의 비선형 시간이력해석을 수행하여 응답특성을 알아보았다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 하부골조가 1개 층인 모델은 하부골조의 층수가 다수인 모델에 비해 상이한 응답특성을 보였다.

2) 비선형 시간이력해석에 따른 소성율 분포로부터 입력지진동 55gal의 크기에서 하부골조의 경우 모델 ML2의 일부 보단부와 상부벽식의 경우 대부분의 연결보의 양단부에서 소성상태가 되었고, 110gal의 크기에서는 하부골조의 경우 모델 ML3의 일부 보단부와 상부벽식의 경우 전이층 상부에 위치한 전단벽의 하단부에서 소성상태가 되었다. 입력지진동 220gal의 크기에서는 하부골조의 경우 모델 ML4의 일부 보단부와 모델 ML1을 제외한 모든 모델의 1층 주각부에서 소성상태가 되었다.

3) 정형의 하부골조 구조의 층수가 상대적으로 증가할 경우 상부벽식 구조의 편심에 따른 뒤틀림이 감소하는 것으로 나타났다.

4) 복합구조물의 하부골조 구조의 층수가 변화함에 따라 상부벽식 구조의 최대층간변위는 다소 증가하였으나, 소성율은 거의 비슷한 것으로 나타났다. 하부골조의 경우 기둥의 주두부와 주각부의 소성율은 거의 비슷하였으며, 보의 단부 소성율은 층수가 증가함에 따라 소성힌지 발생은 점차 높은 지진력에 대해서 발생하였다.

감사의 글

이 연구는 2000년도 한국과학재단 연구비 지원에 의한 결과의 일부로 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다. 과제번호: 2000-1-31000-007-3

참고문헌

1. 강병두, 전대한, 김재웅, "정적탄소성해석에 의한 복합구조물의 거동특성에 관한 연구", 한국전산구조공학회 가을 학술발표회 논문집 제13권 제2집 통권25호, 2000, pp.209~216
2. 이한선 외, "복합구조(전단벽+골조)의 내진설계기법 연구", 건교부 '98연구개발사업 보고서, R&D 98-0003, 한국건설기술연구원, 1999. 12, p.366
3. MIDAS/GENw Ver. 4.2.2. User's Manual Vol. I, MIDAS IT Co., Ltd., 2000
4. Kang-Ning Li, *CANNY 99, 3-Dimensional Nonlinear Static/Dynamic Structural Analysis Computer Program-Users Manual*, CANNY Structural Analysis, CANADA, 2000, p.215
5. Kang-Ning Li, *CANNY 99, 3-Dimensional Nonlinear Static/Dynamic Structural Analysis Computer Program-Technical Manual*, CANNY Structural Analysis, CANADA, 2000, p.183.
6. 대한건축학회, **건축물 하중기준 및 해설**, 태림문화사, 2000, p.345
7. 한국콘크리트학회, **콘크리트구조설계기준 · 해설**, 기문당, 2000, p.413
8. 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, pp.841~856
9. 日本建築學會, *鐵筋コンクリート造建物の靭性保證型耐震設計指針(案) · 同解說*, 東京, 1997
10. 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, 1996, p.237