

# 보-전단벽식 구조 시스템의 탄소성 지진응답 해석

## Elasto-plastic Earthquake Response Analysis of Beam-Shear Wall Structural System

정 명 채\* 이 정 원\*\*  
Cheong, Myung Chae Lee, Jung Weon

### 국문요약

본 논문의 목적은 보-전단벽식 고층아파트의 탄소성 지진응답해석을 수행하여 내진성능을 검토하는 것이다. 이를 위해 우선 구조물을 3차원 입체모델화하여 정적 탄소성해석을 수행하고 층의 강성을 평가한 후, 그 결과를 이용하여 집중질량계모델을 사용한 시간이력 응답해석을 수행한다. 이때 탄소성 이력모델로는 modified Clough 모델을, 입력하중으로는 3종류의 기록 지진동 El-Centro 1940 NS, Taft 1952 EW, Hachinohe 1968 NS를 사용하되, 최대 지반가속도를 0.12g, 0.24g로 조절하여 사용한다. 해석모델로 장변 방향으로 배치된 전단벽의 단면적이 단변의 0.5배이고, 동일한 평면을 가진 2세대가 일자형으로 배치된 25층의 아파트를 선정한다. 층간 변형각, 소성율등을 구하고 우리나라 및 미국, 일본의 내진규준에서 정하고 있는 제한사항과 비교 검토한다.

**주요어** : 탄소성 해석, 응답해석, 소성율층간변형각, 집중질량계모델, pushover analysis, 최대지반가속도

### ABSTRACT

The objective of present paper is to investigate elasto-plastic behaviour and estimate the resistance capacity of a beam-shear wall structural system against earthquake ground acceleration excitations. Pushover analysis is adopted to estimate initial and post stiffnesses and yielding point for inelastic response analysis in LPM (Lumped Parameter Mass) model, and modified Clough model is used as the hysteresis rule of each story. Three earthquake waves are used in the analysis but their peak ground accelerations are changed to be 0.12g, 0.24g. It is assumed that the earthquakes act in the longitudinal direction of a 25 Story apartment building which consists of two same unit plan. The distribution of story drift ratio and ductility ratio are estimated and discussed within Korean, Japanese code and UBC.

**Key words** : elasto-plastic analysis, response analysis, ductility, pushover analysis, LPM model

## 1. 서 론

국내의 고층 아파트에 채택되고 있는 보-전단벽식 구조시스템은 자중 및 횡력저항 부재로 전단벽을 설치하고, 이들을 보로 연결하고 있다. 이것은 벽체 연결부의 휨에 의한 항복을 주요한 에너지 소산기구로 하고,

벽은 마지막으로 각부에서 휨항복하게 하는 설계개념이다. 이러한 설계방식은 벽식구조물에 인성을 부여하여 내진성능을 높일 수 있게 하지만 일자형으로 배치되는 평면형태를 취하는 경우, 단변방향 벽체의 양이 장변방향에 비해 상대적으로 많게 되어 이로 인한 강성의 불균등배치가 구조적인 문제점이 될 수 있다.

부지의 제약등으로 2-3개의 단위세대가 일자형으로 배치되는 평면을 가지는 건물의 경우는 이러한 현상이 더욱 심각하다. 또 근래에는 이 구조형식을 채택하는 아파트가 25층(약 67m)이상의 초고층으로 건설

\* 정희원 · 삼성중공업(주) 건설기술연구소 선임연구원

\*\* 정희원 · 삼성중공업(주) 건설기술연구소 주임연구원

되는 경우가 많다. 선진국에서는 동일한 구조형식 일지라도 초고층인 경우에는 중저층인 경우와는 지진에 대한 거동이 다르다고 생각하여 특별하게 취급하고 있다. 예를 들면 일본의 경우, 건물의 높이가 60m를 초과하는 경우에는 일본건축센터의 특별심의를 거치도록 규정하고 있다. 이러한 인식하에 참고문헌 (5)(6)(7)에서는 기존의 중저층 아파트에서 채용하던 구조 시스템에 의해 초고층 아파트가 설계될 경우의 문제점을 지적한 후, 대안으로 중저층에서 장변방향에 설치하던 조적벽을 전단벽으로 대체할 것, 벽의 단부는 띠 철근으로 배근하고 벽체는 보로 연결할 것등을 제안하고 있다. 그러나 이 보고서에서의 검토는 탄성 정적해석에 의한 결과들을 이용하고 있기 때문에 내진안전성의 평가가 충분하다고는 할 수 없다.

본 논문의 목적은 장변 방향의 횡강성이 단변에 비해 약한 보-전단벽식 구조 시스템의 탄소성 지진 응답해석을 수행하여 지진시의 거동을 파악하고 저항능력을 평가하는 데에 있다. 해석모델로는 32평형 초고층아파트에 보편적으로 채택되고 있는 평면과 입면을 가진 아파트를 선정한다(그림 1). 모델이 대형침입을 고려하여 그림 1에서는 전체 평면의 절반만 표시하였으며, 1층에서 25층까지 평면형태가 동일하고 건물의 높이는 67m이다. 또 이 그림에서 표시된 치수의 단위는 mm이며  $G_1, G_2$ 는 벽체 연결보를,  $BW_1$ (빔 금부분)은 1층의 창틀하부에 설치되는 beam wall을, 그리고 진한 색 부분은 전단벽을 나타낸다. 또 그림의 아래 부분에는 보 및 벽체의 배근형태를 표시하고 있다. 그림의 보단면은 평면에서 표시하고 있는  $G1, G2$ 를 각각 표시하고 있으며 벽체단면은 모두 동일하나 대표적인 경우로 엘리베이터 코아의 하부 우측편에 위치하고 있는 벽체를 취하여 표시하였다. 해석모델 전단벽의 장변/단변의 길이비는 0.5이고, 또 탄성강성비의 경우는 층별로 차이가 있으나 최하층에서 1/56.2, 최상층에서는 1/9.1로 양방향으로의 강성이 불균등하게 분포하고 있다. 해석모델 전단벽의 두께는 18cm이며 보단면의 크기는 그림 1에 표시하였다. 또, 철근의 항복강도는  $f_y = 392 \text{ Pa (SD40)}$ , 콘크리트의 최대 압축강도는 1층5층에서  $f_c = 26.46 \text{ Pa}$ , 6층-15층에서는  $f_c = 23.52 \text{ Pa}$ , 16-25층에서는  $f_c = 20.58 \text{ Pa}$ 의 재료로 이루어져 있다. 지진응답해석은 실지진

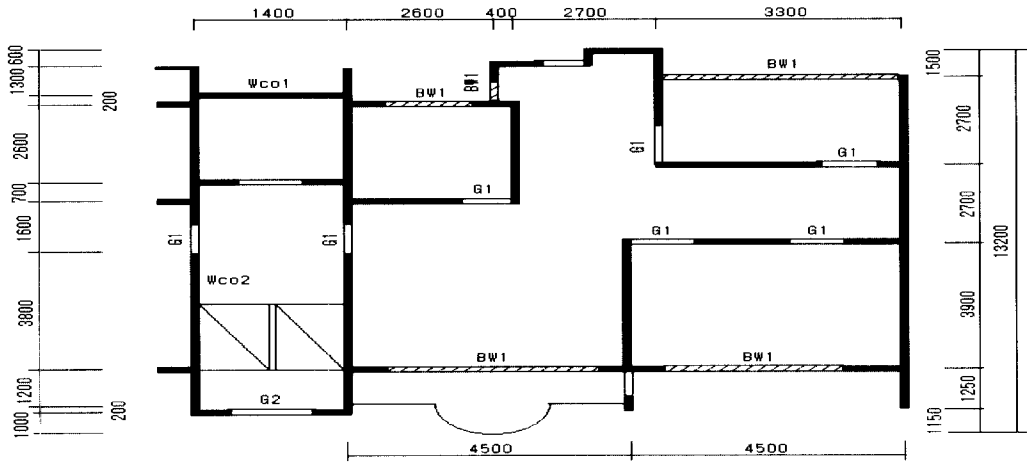
동을 이용한 집중질량계(Lumped Parameter Mass: LPM)모델에 의한 시간이력 응답해석법을 사용한다. 층 강성평가 및 응답해석 방법에 관하여는 2,3장에서 기술한다.

## 2. 층 강성의 평가

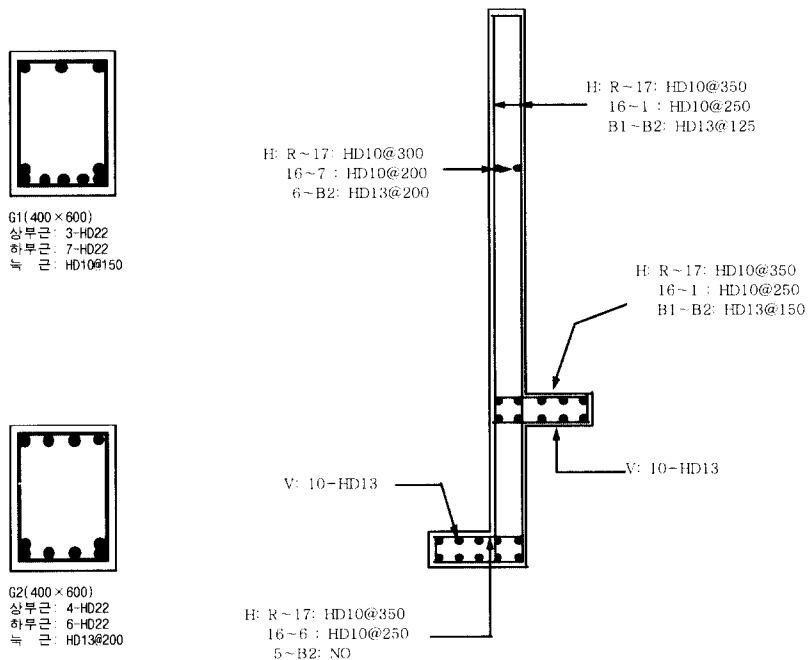
LPM모델을 이용하는 탄소성 지진응답 해석에서는 건물의 각층은 강막작용(Rigid Diaphragm)을 하며, 가력 지진동에 대해 주어지는 이력법칙(hysteresis rule)을 따라 거동한다는 가정하에 이루어진다. 이력법칙을 그림으로 나타낸 것이 이력곡선이며, 골격곡선(skeleton curve)에 대한 지진 응답해석의 결과는 항복점, 초기강성 및 항복후 강성의 평가결과의 정도에 영향을 받는다. 여기에서는 이들을 평가하기 위해 해석 대상 구조물을 3차원 입체 모델화한 후 주어지는 층별 횡하중 분포를 설정하고 가력하여 정적 탄소성 해석(pushover analysis)을 수행한다.

본 모델의 벽체 연결보를 모델화하기 위해 그림 2에 표시한 보요소를 사용한다. 이 요소는 탄소성 휨 거동(일방향 휨: uniaxial bending)이 보요소의 단부에 집중한다고 가정하여 휨 스프링을 양단부에 배치하고, 보 중앙부에는 탄성 전단거동을 표현하는 스프링을 배치하고 있다.<sup>(1)</sup> 전단벽을 모델링하는 방법으로는 면재인 벽을 면요소로 사용하는 유한요소법이 있으나 계산시간등의 문제로 일반적으로는 벽을 선재로 모델화하여 사용하는 방법이 사용된다. 본 논문에서는 그림 3에 표시하는 선재치환법으로 모델화한다. 이 요소는 면내방향의 축변형, 휨변형, 전단변형을 표현할 수 있으며 면외방향의 변형은 표현할 수 없다. 또 이 요소의 상하단에는 강체 슬라브가 붙어있는 것으로 가정한다.<sup>(2)(8)</sup> 본 논문에서는 휨 변형은 탄소성 거동, 나머지는 탄성 거동한다고 가정한다.

Pushover해석에서 사용되는 탄소성 골격곡선은 bi-linear형으로 가정한다. 또 각 층은 강체로 거동한다고 가정하며  $P-\Delta$ 효과를 고려한다. 하중은 자중을 작용시킨 상태에서 횡력을 가하며 적재하중은 무시한다. 전술한 것처럼 본 모델은 장변방향의 강성이 단변방향에 비해 작은 것을 고려하여 장변방향으로 가력하되 최상층의 층간변위가 1/30에 도달할 때까지 변위증분법으로 가력한다. 횡력은 건축물의 구조기준에



(a) 단위 평면도



(b) 주요부재 단면도

그림 1 해석 모델

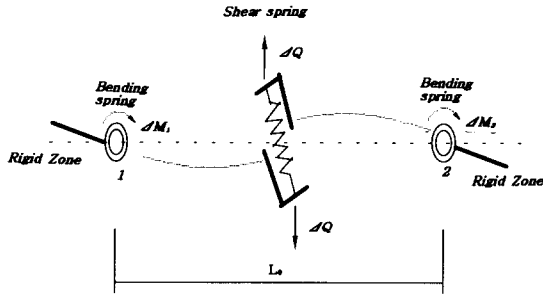
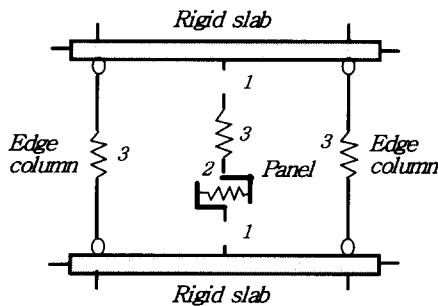


그림 2 보의 모델화



1. bending spring 2. shear spring 3. axial spring

그림 3 전단벽의 모델화

관한 규칙 제 14조 3항에 따라 다음 식으로 계산한 층 지진하중을 사용한다.

$$F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} V \quad (1)$$

$$V = \frac{AICS}{R} W, \quad C = \frac{1}{1.2\sqrt{T}} \quad (2)$$

$$T = \frac{0.09h_n}{\sqrt{B}}$$

여기서  $F_x, w_x, h_x$ 는 각각 층의 층 지진력, 연직하중, 지면에서부터의 높이를 나타낸다. 한편  $k$ 는 건물의 고유주기에 따라 결정되는 값이며,  $V$ 는 밀면 전단력을,  $A, I, C, S$ 는 각각 지역계수, 중요도 계수, 동적계수, 지반계수이고  $R, W$ 는 각각 반응수정계

수 및 건물전체의 중량이다. 또  $B(m)$ 는 지진하중이 작용하는 방향의 밀면길이를 의미한다. 본 해석에서는  $k=1.5, A=0.12, I=1.2, S=1.5$ 로 하며,  $R=3.5$ 로 취하였다. 본 모델의 경우에는  $T=1.583\text{sec}, C=0.662$ 가 된다.

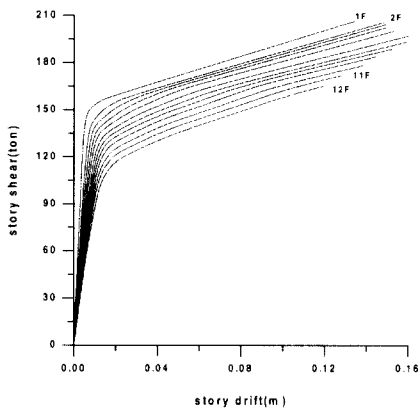
그림 4(a),(b)는 각각 해석결과 얻어진 1층-12층, 13층-25층까지의 층전단력-층간변위 관계를 층별로 표시한 그림이다. 이 그림에서 알 수 있는 것처럼 저층부로 갈수록 항복점이 뚜렷하고 고층으로 갈수록 항복점을 찾기가 어렵다.(특히 22층 이상의 고층부의 경우 항복점을 찾기가 쉽지 않다). 이들 초기강성과 항복강성을 표 1에 정리하였다. 이 곡선을 이용하여 항복점을 구할 수 있는데, 항복점은 탄성곡선상의 접선과 소성곡선의 접선과의 교점으로 정하고 이 점에 대응하는 층전단력의 값과 변위를 취하여 항복 전단력, 항복 변위로 가정한다. 이들 값은 다음 절에서 서술하는 탄소성 지진응답해석에 이용되는 값이다. 또 여기에서 구한 항복변위는 식 (5)로 정의되는 소성율의 계산에 이용된다. 한편,  $d_m, h_e$ 를 각각 각층의 최대 층간변형과 층고라고 할 때 층간변형각(story drift ratio)을 다음 식으로 정의한다.

$$\lambda = \frac{d_m}{h_e} \quad (3)$$

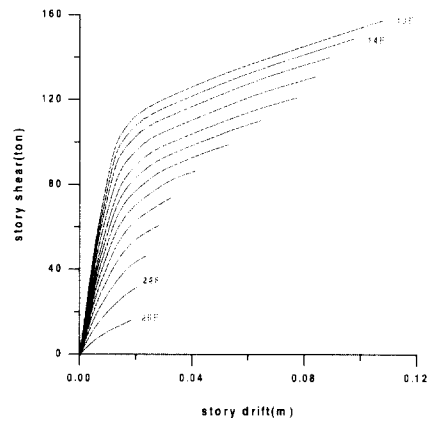
식 (3)으로 정의되는  $\lambda$ 는 각국의 내진기준에서 제한을 두고 있다. 우리나라에서는 0.015미만 이어야 한다고 규정하고 있으며, 미국의 기준(UBC)에서는 건물의 고유주기가 본 모델과 같이 0.7sec를 초과하는 경우에는 0.004 미만이여야 하며 또  $0.03/R_u$ 를 초과해서는 안된다고 규정하고 있다. 한편 일본의 경우는 건물의 높이가 60m를 초과하는 경우 Level 1과 Level 2로 나누어 2단계의 검토를 수행하며 Level 1에서는 최대 지반속도가 25kine의 지진에 대해 모든 부재가 탄성범위에 있어야 하며 동시에  $\lambda < 0.005$ 이어야 하며, level 2의 검토에서는 최대 지반속도가 50kine인 지진에 대해  $\lambda < 0.01$ 이어야 한다고 규정하고 있다. 표 3에 최대 지반 가속도와 최대 지반 속도와의 관계를 나타내고 있다. 4장에서 본 해석의 결과를 이들 기준과 비교검토한다.

표 1 각층별 중량과 강성

층번호	중중량 (tonf)	초기강성 $K_0$ (tonf/m)	항복후강성 $K_y$ (tonf/m)	$\beta (= \beta_c)$ $= K_y / K_0$	항복점 $P_y(t)$	층 고 (m)
1	216.1	31600	412	0.013	153.1	2.6
2	216.1	22900	387	0.017	151.2	2.6
3	216.1	19973	382	0.019	149.8	2.6
4	216.1	17798	378	0.021	149.1	2.6
5	216.1	16210	369	0.0228	147.4	2.6
6	216.1	14731	334	0.0227	146.7	2.6
7	216.1	13670	326	0.0238	144.8	2.6
8	216.1	12869	321	0.0249	143.8	2.6
9	216.1	12085	321	0.0266	141.4	2.6
10	216.1	11426	314	0.0275	138.2	2.6
11	216.1	10865	319	0.0294	135.0	2.6
12	216.1	10276	349	0.034	127.8	2.6
13	216.1	9763	433	0.0443	115.9	2.6
14	216.1	9208	430	0.0467	112.0	2.6
15	216.1	8710	408	0.0468	109.0	2.6
16	216.1	7935	388	0.0489	103.4	2.8
17	216.1	7130	379	0.0532	96.9	2.8
18	216.1	6166	390	0.0633	88.8	2.8
19	216.1	5646	426	0.072	81.7	2.8
20	216.1	5526	404	0.08	74.1	2.8
21	216.1	4544	363.5	0.08	59.2	2.8
22	216.1	3882	310.6	0.08	49.7	2.8
23	216.1	3134	251.5	0.08	39.0	2.8
24	216.1	2250	-	-	-	2.8
25	216.1	1205	-	-	-	2.8



(a) 1-12F



(b) 13-25F

그림 4 각층의 전단력-층간변위관계

### 3. 탄소성 지진응답해석

그림 5에 탄소성 지진 응답해석에 사용한 LPM 모델을 표시하였다. 이 모델을 사용하여 응답해석을 수행하기 위해서는 초기강성, 항복점, 항복후 강성 및 각층의 질량과 탄소성 이력모델이 필요하다. 이중 탄소성 이력모델을 제외한 다른 값들은 표 1에 명기하였다. 본 모델은 모든 층이 동일한 재료와 구조형식으로 되어 있으므로 한 가지 종류의 이력 모델을 사용할 수 있다. 그림 6에 본 해석에서 채택하고 있는 modified Clough model을 표시하였다. 이 모델은 철근 콘크리트 구조물의 탄소성 이력곡선으로 자주 이용되는 모델로 일단 항복한 후 제하시 강성이 저하하는 거동을 표현할 수 있다. 그림에서 곡선상의 숫자는 이력법칙을 구분하기 위해 표시한 것으로 항복강성의 이력법칙은 식(4-1)과 (4-2)로 정의된다.

$$\text{rule 2 : } K_2 = \beta' K_o \quad \text{rule 3 : } K_3 = \beta K_c \quad (4-1)$$

이 식에서  $\beta'$ ,  $\beta$  는 초기 강성에 대한 항복 후 강성의 비로 정의되며 이 값들은 표 1에 표시하였다. 또, 제하강성의 이력법칙은 다음 식으로 표시된다.

$$\text{rule 4.5 : } K_{4,5} = K_o \mu^{-\gamma} \quad (4-2)$$

위 식의  $\mu$ 는 소성율이며,  $d_m, d_y$ 를 각각 정부방향의 최대변위 및 항복변위라고 할 때 다음 식으로 표시된다.

$$\mu = d_m / d_y \quad (5)$$

식 (4-2)에서 제하강성의 이력법칙은 소성율에 관계가 있음을 알 수 있다. 또  $\gamma$ 는 일단 항복한 후 제하시의 강성저하의 정도를 나타내는 지수로 본 해석에서는 기존의 연구결과들을 참고로 하여 0.2로 가정한다. 식 (5)의  $\mu$ 값에 대해서 우리나라의 내진기준과 UBC에서는 별도로 제한하고 있지 않으나 일본의 내진 기준에서는 높이가 60m를 초과하는 건물에 대해 최대 지반속도가 50kine의 지진에 대해서  $\mu < 2.0$ 이어야 한다는 기준을 적용하고 있다.

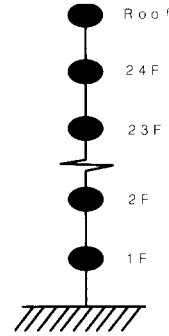


그림 5 LPM모델

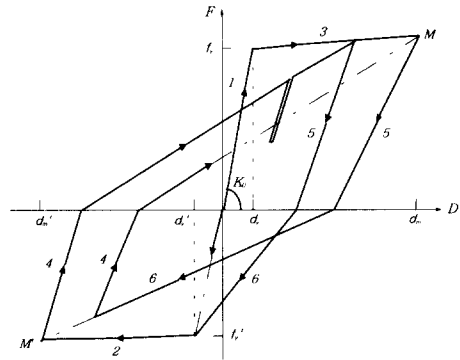


그림 6 Modified Clough model

이상에서는 응답해석에 필요한 변수와 이력법칙에 관하여 기술하였다. 다음에는 입력 지진동에 대하여 기술한다. 그림 7에는 해석에 사용한 입력지진동 El-Centro 1940 NS, Taft 1952 EW, Hachinohe 1968 NS를 표시한 그림이다. 이들 그림에서 알 수 있는 것처럼 Hachinohe 지진동은 다른 두 지진동에 비해 주기가 긴 특징을 가지고 있다. 본 모델의 고유주기가 장주기인 것을 고려하면 이 지진동은 공진점에 가까운 진동을 발생시킬 가능성이 있다. 해석에서는 이들 지진동의 최대 지반 가속도 (PGA: Peak Ground Acceleration)를 우리나라의 기준에 맞추어 0.12g로, 그리고 비교검토용으로 그 2배에 해당하는 0.24g로 각각 조절하여 사용한다. 표 2에 기록 지진동을 해석에서 설정하여 사용하는 PGA의 크기에 맞추기 위해 사용한 확장계수를 표시하였다.

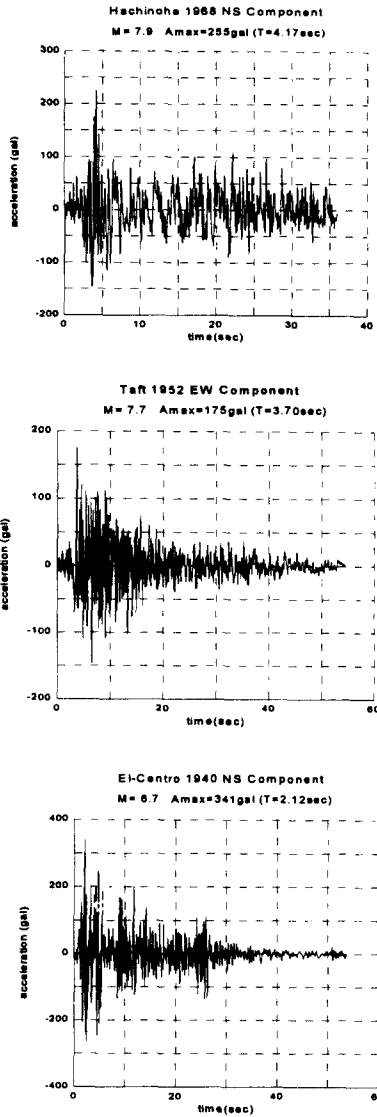


그림 7 해석에 사용한 지진동

표 2 지진동의 PGA조절

지진동	해석시간 (sec.)	Magnification factor	
		PGA=0.12g	PGA=0.24g
El-Centro NS	30.0	0.003512	0.00724
Taft EW	30.0	0.006561	0.01312
Hachinohe NS	30.0	0.004500	0.00920

표 3 PGA와 최대 지반속도와의 관계

지진동	최대 지반가속도(gal)	
	25 kine의 경우	50 kine의 경우
El-Centro NS	255	510
Taft EW	248	496
Hachinohe NS	128	256

수치적분법은 Newmark's  $\beta$  ( $\beta=0.25$ ) 법을 사용하고 감쇠matrix는 Rayleigh형으로 가정하였다.

Rayleigh형 감쇠matrix는  $[M]$ ,  $[K]$ 를 각각 질량 matrix, 강성matrix라고 할 때 1,2차 모드드의 고유진동수와 감쇠정수를 사용하여 다음과 같이 표현한다.

$$[C] = a_0[M] + a_1[K] \quad (6)$$

$$a_0 = 2\omega_1\omega_2(\zeta_1\omega_2 - \zeta_2\omega_1) / (\omega_2^2 - \omega_1^2) \quad (7)$$

$$a_1 = 2(\zeta_2\omega_2 - \zeta_1\omega_1) / (\omega_2^2 - \omega_1^2)$$

이 식에서  $\omega_i, \zeta_i$ 은 각각  $i$ 차 모드드의 고유진동수와 감쇠정수이며, 해석에서는 철근 콘크리트 구조물인 점을 고려하여  $\zeta_1 = \zeta_2 = 0.03$ 으로 가정하였다. 이상에서 서술한 방법과 가정을 이용하여 응답해석한 결과를 바탕으로 다음 장에서 고찰한다.

#### 4. 결과 및 고찰

그림 8에는 전단력의 층별분포를 표시하고 있는데 PGA의 크기가 큰 쪽이 지진동별 편차가 적은 경향을 보이고 있다. 이것은 각층이 받고 있는 전단력이 극한 하중에 가깝기 때문이며 이것은 결국 소성범위에 진입하고 있다는 것을 의미한다. 역으로 말하면 전반적으로 PGA=0.12g의 지진동에 대해서는 탄성거동을, PGA=0.24g의 지진동에 대해서는 소성거동을 하고 있다고 말할 수 있다.

그림 9는 PGA=0.24g의 지진동에 대한 1층에서의 변위응답과 응답이력곡선을 지진동 종류별로 표시한 그림이다. El-Centro 및 Taft 에 대한 응답이 소성영역에 진입한 것을 확인할 수 있으며 Hachinohe에 대한 응답은 그림 7의 지진파형에서 보는 바와 같이 지진동이 정부방향 교대로 작용하여도 응답이 정방향으로 치우쳐 있음을 알 수 있고 T=4.17sec에서 응답변위가 돌출하고 있다.

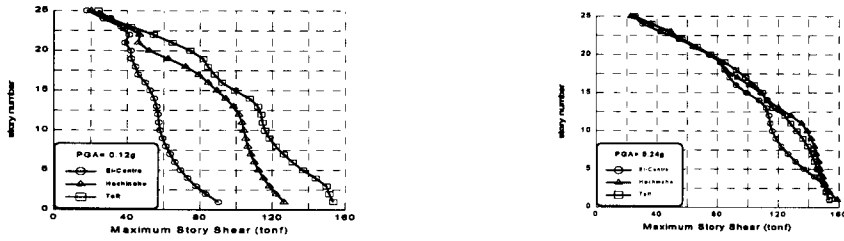
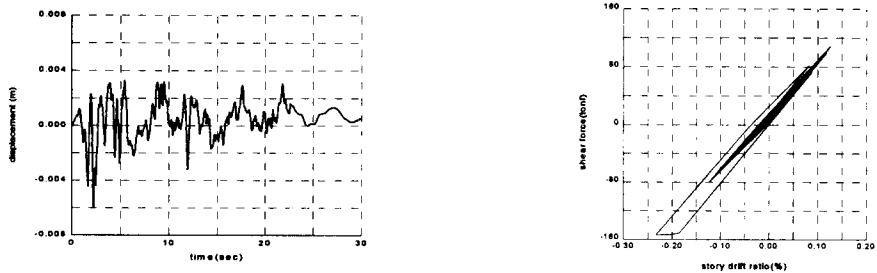
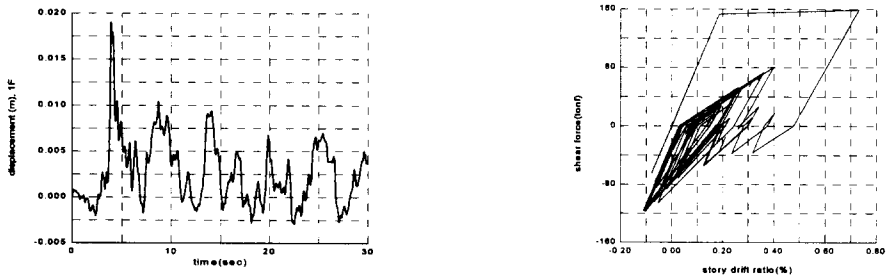


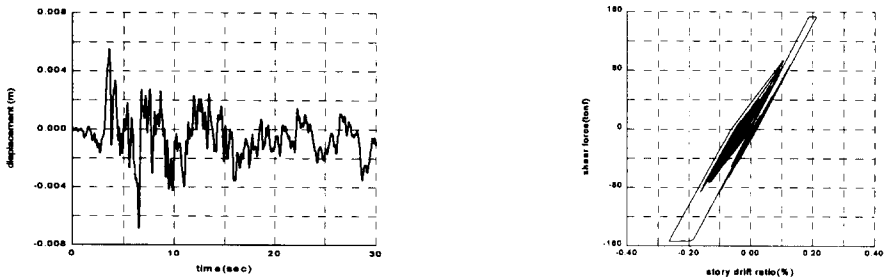
그림 8 최대 전단력의 층별분포



(a) El-Centro NS, PGA=0.24g



(b) Hachinohe EW, PGA=0.24g



(c) Taft NS, PGA=0.24g

그림 9 최하층의 변위응답과 응답이력곡선(PGA=0.24g)



또 응답이력 곡선도 어느 순간부터 소성거동을 나타내어 잔류소성 변형상태에서 탄소성 이력곡선을 그리고 있음을 알 수 있다. 이것은 전술한 대로 공진점에 가까운 진동을 하고 있기 때문이며  $T=4.17$ 초에서 최대 가속도가 입력되었으므로 응답도 그 시각에서 최대치를 보이고 있다. 이상으로부터 이 결과는 1층에서 층항복이 발생하였음을 알 수 있다.

그림 10은 식 (3)으로 구한 층간 변형각의 층별 분포를 나타낸 그림이다. 이 그림의 횡축에 표시하고 있는 값은 층간 변형각의 값을 100배하여 %로 나타낸 값이다.  $PGA=0.12g$ 의 지진동이 작용시 최대 층간 변형각은 최상층에서 발생하고 있으며 그 값은 1.2%이다. 이 값은 우리나라의 기준인 1.5%미만이지만 상한치에 가까운 값이다. UBC기준을 본 모델에 적용하면  $0.03/R_u = 0.86\%$  미만이어야 하는 조건과  $\lambda < 0.4\%$ 의 조건을 초과한다. 일본의 기준과 비교하기 위해서는 최대 지반속도(kine)의 값을 최대지반가속도(PGA)의 값으로 환산하여야 한다. Hachinohe 지진동의  $PGA=0.12g$ 로 환산하면 115gal 이므로 25kine으로 환산하였을 때의 128gal(표 3)과 근접하고 있으므로 이 지진동에 대한 결과로 일본기준과 비교한다. 그림 10에서 보면 24, 25층의 층간 변형각이 0.5%를 초과하고 있으므로 일본기준의 Level 1가 조건을 만족시키지 못한다. 마찬가지로 방법으로 비교하면  $PGA=0.24g$ 의 El-Centro가 247gal, Taft가 230gal에 해당하므로 표 3에서 보는 바와 같이 25kine의 경우와 근접하고 있다. 따라서 El-Centro 및 Taft 지진동에 대한 층간 변형각을 그림 10에서 보면 El-Centro에 대한 결과가 25층에서, Taft에 대한 결과가 24, 25층에서 0.5%를 초과하고 있다(즉 일본의 Level 1기준을 만족하지 못하고 있다). 각 국의 내진기준에서 층간 변형각의 크기를 제한하는 것은 층의 과대한 변형으로 인한 구조부재의 파손을 막기 위한 것이다. 비록 우리나라의 기준을 만족하고는 있지만 상한치에 가깝고 미국과 일본의 기준에는 크게 벗어나고 있으므로 주요 횡력 저항부재인 상층부의 전단벽에 손상을 유발할 가능성도 있다(여기서  $PGA=0.24g$ 에 대한 Hachinohe 지진동에 대한 응답은 이디 1층에서 층항복이 발생하였으므로 신뢰성이 없다고 보아 고찰대상에서 제외하였다).

그림 11은 식(5)으로 계산한 소성율의 층별 분포를 표시한 그림이다.

이 그림에서 21층 이상에 대한 결과가 없는 것은 전술한 것처럼, 21층 이상에서는 뚜렷한 항복점을 찾기가 어려워 정확한 소성율을 계산할 수 없었기 때문이다. 이 그림으로부터 Taft 지진동의  $PGA=0.12g$ 에

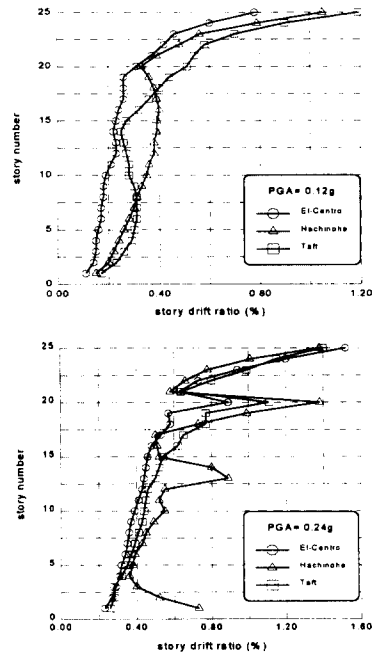


그림 10 최대 층간변형각의 층별분포

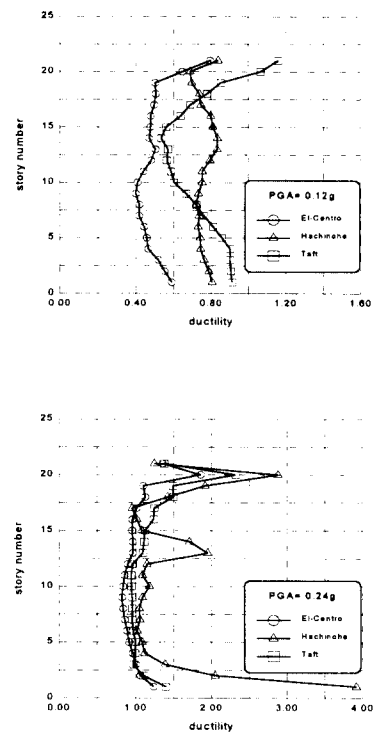


그림 11 최대 소성율의 층별분포

대한 결과가 20층 이상에서 1.0을 초과하여 소성변위를 일으키고 있음을 알 수 있고 나머지 층에서는 탄성변형을 일으키고 있다. 한편, PGA=0.24g에 대한 결과는 거의 모든 층이 소성변형을 일으키고 있다. 그러나 이 값에 대해 제한하고 있는 일본 기준을 적용하여 보면 모두 2.0이하로 기준을 만족하고 있다. 일본의 내진 기준에서 Level 1의 지진동에 대해 모든 부재가 탄성범위에 있어야 한다는 조건을 검토하기 위해, 25kine의 최대 지반속도를 PGA로 환산하였을 때, PGA=0.24g의 El-Centro, Taft지진동이 거의 등가이다. 이들 지진동에 대한 소성을 분포를 그림 11에서 보면, 1, 2층 및 18층이상이 모두 소성역에 진입해 있음을 확인할 수 있다.

지진동의 입력가속도 값으로 국내 기준의 0.12g로 설정하였지만 이 값은 정적 등가 지진하중을 계산하기 위한 값이므로 충분한 안전성 평가치로 받아들여지고 있다. 그러나 동적 지진응답해석에서 동일한 입력 가속도 값으로 입력한 경우에 대해서도 소성변형을 일으키므로 이 값이 충분한 안전성을 갖는 내진기준으로 보기에는 부족한 감이 없지 않다.

### 5. 결론 및 향후과제

일자형 평면배치를 하고 있으며 전단벽의 단면적비가 단변이 장변의 2배이고 높이가 67m인 보-전단벽식 아파트 건물의 탄소성 지진응답해석을 수행하여 응답성상을 검토하였다. 층별 강성 및 항복하중은 pushover해석으로 평가하였으며, 최대 지반가속도의 크기는 우리나라의 기준인 0.12g와 그 2배에 해당하는 0.24g로 설정하고 입력 지진동으로 3종류의 기록지진동을 사용하였다. 그 결과 0.24g의 Hachinohe지진동에 대해서는 최하층 소성역으로 진입하고 있으며, 대부분의 층이 소성역에 진입하고 있는 것으로 나타나고 있다. 이것은 입력 지진동의 진동성분으로 장주기 성분이 우세하므로 고유주기가 긴 해석모델이 공진점에 가까운 진동을 하는 응답특성을 나타내기 때문으로 생각된다. 또 그림 11에서 보는 바와 같이 PGA=0.24g에 대해 층중이상에서  $\mu \geq 1.0$ 인 결과를 보이고 있다. 한편, 우리나라 기준인 PGA=0.12g에 대한 응답을 살펴본 결과, 우리나라에서 제한하고 있는 층간 변형각은 기준에는 도달하나 상한치에 가까운 값으로 나타났고, UBC 및 일본의 기준과 비교하면 상층부에서 그 기준치를 벗어나고 있는 것으로 나타났다. 이 결과로부터 층간변형각의 제한에 관한 우리의 기준이 어느정도의 안전율을 확보하고 있는지에 대한

검토가 요망된다고 하겠다. 만일 PGA=0.12g이상의 지진을 받는 경우에는 상층부의 구조부재의 파손이 우려되므로 수평강성을 높이기 위한 고안이 요망된다고 하겠다. 이상으로부터 다음과 같은 결론을 도출해 볼 수 있다.

- (1) 동적 탄소성 지진응답해석결과 우리나라 내진기준에서 정하고 있는 PGA= 0.12g정도에서도 소성변형을 일으키므로 충분한 안전성을 가지는 내진설계가 행하여지지 못하고 있다.
- (2) 지진동의 불확실성과 지진동 파형이 구조물의 응답특성에 미치는 특성 때문에 PGA=0.12g정도의 입력 지진동의 크기는 정량적으로 결정하기 곤란하지만, 여러 종류의 지진동에 대한 응답결과를 통계적으로 처리하여 정적 지진하중의 크기를 설정하는데에 충분한 안전성을 가지는 지진하중의 설정이 요망되며,
- (3) 세계 각 지역에서의 지진현상이나 과거의 국내 지진기록으로부터 국내에서도 진도 4-5정도의 지진이 발생할 가능성은 매우 높으므로 입력 지진동 0.25g이상의 지진은 발생할 가능성이 있다. 따라서 고층 아파트와 같은 인구밀집형 주거건물은 내진성능향상이 절실하다고 하겠다.

향후연구로는 이 시스템의 가장 큰 문제점 중의 하나가 장단변방향의 강성 불균형 문제이므로 이로 인한 건물의 비틀림 진동문제 및 벽체상호작용의 분석과 벽체 연결부에 의한 지진에너지의 소비능력등을 검토할 필요가 있다.

### 참고 문헌

1. Giberson, M., "Two nonlinear beams with definitions of ductility," *Journal of the Structural Division, ASCE*, Vol.95, No. ST2, Feb. 1969, pp.137-157.
2. 松本和行, 壁谷澤壽海, 創本洋, "非線形骨組解析における耐震壁の部材モデル化," 日本建築學會 構造工學論文集, Vol.39B(1993年3月), pp.245-254.
3. Park, Y.J., and Ang, H-S., "Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete," *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 1985, Vol.111, No.ST4, pp.722-739.
4. Kunnath, S.K., Reinhorn, A.M., and Park, Y.J., "Analytical modeling of inelastic seismic response of R/C structure," *Journal of the*

- Structural Engineering*, ASCE, Vol. 116, No.4, Apr. 1990, pp.996-1017.
5. 대한주택공사, "공동주택의 내진성능 향상을 위한 구조계획 기법연구," 대한주택공사 연구보고서, 주택연구자료 주택생산기술, 1987.
  6. 대한주택공사, "아파트 건물의 구조형식에 관한 연구-초고층 아파트를 중심으로," 대한주택공사 연구보고서, 연구 '90-16, 1990.
  7. 과학기술처, "신주택 기술개발, 초고층 아파트 최적구법개발(II)," 한국 건설기술 연구원, '91 SE 024-2, 1992.
  8. 日本建築學會, "RCの高層化と靱性に依存する耐震壁の終局強度設計," シンポジウム資料, 昭和 61年 12月, 日本建築學會關東支部 構造部.