

정적 탄소성 해석에 의한 고층 벽식 아파트의 수평내력 검토

Evaluation of Lateral Load Resistance Capacity of a High-rise Shear Wall Apartment Based on Elasto-plastic Analysis

전 대 한* 강 호 근** 조 한 옥*** 이 정 원****
Jun, Dae Han Kang, Ho Guen Cho, Han Wook Lee, Chung Won

국문요약

본 연구에서는 등가 정적 지진하중을 받는 고층 벽식구조물의 거동을 파악하고자 탄소성해석을 수행하고, 극한 수평내력을 평가하였다. 해석 대상 건물로 현재 국내에서 분양되고 있는 두 세대로 이루어진 25층 고층 벽식 아파트 평면 형식을 선정하였다. 3차원 정적 탄소성 입체 해석 프로그램(CANNY)을 이용하여, 벽식 아파트 건물의 층별 초기 탄성강성, 항복후 항복강성, 종국 내력 등을 평가한다. 정적 탄소성 해석결과 해석대상 아파트 건물의 항복내력은 설계용 등가 정적 지진하중의 1.6배 정도의 여유를 가지고 있음을 보여준다.

주요어 : 벽식구조, 전단벽, 정적 탄소성 해석, 내진설계

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate static elastoplastic behaviour and estimate ultimate resistance capacity of a high-rise apartment shear wall system subjected to a vertical distribution of lateral loading along the height. A typical 25-story two unit plan apartment is selected as a representative model. For the analysis, the pushover analysis is adopted to estimate initial elastic stiffness, post-yielding stiffness and story shear yield resistance level on each story of the structure through three-dimensional nonlinear analysis program-CANNY. In the result of elastoplastic analysis, it is observed that the yield strength of building structures is 1.6 times larger than required lateral design strength.

Key words : shear wall structural system, shear wall, pushover analysis, earthquake resistant design

1. 서 론

우리 나라는 택지 난으로 주거용 건물이 점점 고층화되어 가고 있는 추세이며, 이와 같은 고층 아파트 건물은 많은 사람들이 밀집하여 거주하는 고밀도 집합주택이다. 고밀도 주거 건축물의 지진 피해는 많은 사람들에게 인명의 위협을 초래하고 재산상의 손실을 가져온

다. 그러므로 많은 사람들이 이용하고 거주하는 건물에 대한 내진설계상의 안전규범은 공공성의 관점에서 다루어야 할 필요가 있으며, 최저 수준의 안전규범을 확보할 필요가 있다고 사료된다.

현재 고층 아파트 구조형식으로 채용되고 있는 벽식구조는 주거용 건물에서 평면계획의 용이성과 내부 공간의 효율적 활용 면에서 다른 어떤 구조형식보다 뛰어난 구조형식이라고 말할 수 있다. 이와 같은 벽식구조에 대한 내진 안전성의 검토가 저층 아파트 건물에서는 충분히 이루어졌지만,^{(1),(2),(12)} 현재와 같이 20~30

* 정희원 · 동서대 건설공학부 조교수, 공학박사

** 정희원 · 거창전문대 건축공학과 조교수, 박사수료

*** 삼성물산건설부문 종합기술연구소, 공학박사

**** 삼성물산건설부문 종합기술연구소, 연구원

층 규모의 고층 아파트 건물로 고층화되기 시작한 것은 불과 수 년 전부터이며, 아직 내진 안전성이 충분히 검증되었다고 보기는 어렵다.^{(3)~(7),(13),(14)}

특히 바람이나 지진 등과 같은 수평력에 대한 벽식구조의 역학적 거동은 다른 건축구조형식의 역학적 거동과는 상이한 구조적 거동을 나타낸다. 즉 일반 골조형식 구조는 전단변형이 우세한 반면, 벽식구조는 휨거동이 우세하여, 고층화에 따라 상부 층의 변형이 증가하여 거주자의 거주성 및 구조물의 안전성에 문제가 발생하기 쉽다.⁽¹⁴⁾ 또한 최근에 건설되고 있는 고층 벽식 아파트 평면을 조사하여 보면, 단변방향(이하 Y방향이라고 한다) 내력벽체의 총 길이는 장변방향(이하 X방향이라고 한다)보다 약 1.7배 정도 많이 배치되기 때문에 상대적으로 X방향의 강성 및 강도가 매우 불리한 조건으로 작용하게 된다. 우리나라의 벽식 아파트 구조는 층고(2.6~2.8m)가 낮은 반면, 공간활용만을 중시하여 내력벽체들 사이를 연결하는 보를 없애고, 독립된 벽체가 바닥판에 연결되기 때문에 벽체와 벽체간의 연성효과가 저하되어 수평강성이 매우 취약한 구조형식이다. 본 연구는 우리나라의 고층 아파트 구조형식으로 채용되고 있는 벽식구조의 역학적 거동 특성을 검토하고, 수평하중에 대한 저항내력을 검토하여 지진시 건물의 중국내력을 파악하는

것이 목적이다. 현재 국내에서 분양되고 있는 대표적인 고층 아파트 평면형식을 선정하여, 고층 벽식 아파트 건물의 정적 탄소성 거동특성을 파악한다. 3차원 정적 탄소성 입체해석 프로그램을 이용하여, 벽식 아파트 건물의 중국내력, 고층화에 따른 내진구조 설계에서의 문제점 및 벽식 고층 아파트 건물의 적절한 내진성능 개선방향을 제시하는 것이 목적이다.

2. 탄성해석에 의한 구조해석

2.1 해석 모델

2.1.1 평면형식

최근 건설되고 있는 고층 아파트 건물의 평면형식을 조사한 결과, 분양면적 40평형 이상인 아파트에서는 엘리베이터 코아를 사이에 두고 두 세대가 나란히 배치되는 평면형식이 많이 분양되고 있다. 이와 같이 두 세대로 구성된 평면형식은 더 많은 세대가 나란히 배치된 평면보다 장·단변방향 모두 구조적으로 매우 불리한 조건을 가진 건물이라고 추정된다.

본 연구에서 이와 같은 조건을 고려하여, 현재 국내에서 많이 분양되고 있는 아파트 평면형식 중 구조적으로 가장 불리하다고 추정되는 그림 1과 같은 평면을 해석대상으로 구조적 거동을 고찰한다.

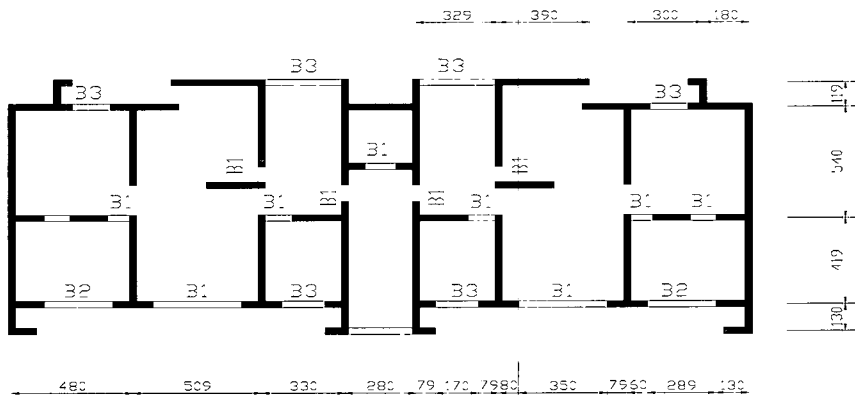


그림 1 해석 모델의 평면도

2.1.2 구조형식의 특징

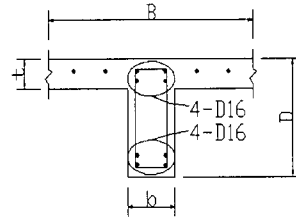
우리 나라 아파트의 특징으로 거실과 침실이 있는 앞면은 채광과 통풍을 많이 받기 위하여 가능한 한 창문의 면적을 넓게 확보하고 주방과 작은방이 배치되는 뒷면은 앞면에 비하여 창문을 작게 만들어 난방의 효율성을 높이는 구조이다. 또한 측면은 세대간을 분리하는 전단벽으로 이루어져 주로 Y방향의 구조적 저항 부재로 활용되고 있다.

벽식 아파트 건물은 창문이나 개구부가 있는 부위에 설치되는 연결 보를 제외하고는 수평력과 수직력에 저항하는 전단벽과 슬래브가 구조 부재의 주류를 이루고 있다.

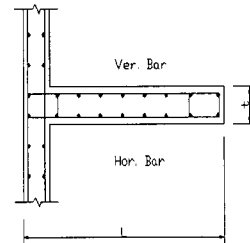
2.1.3 부재 단면

벽식 고층 아파트 건물의 주요 구조부재 단면은 구조물의 규모, 형상, 작용하중 등이 거의 동일하므로 사용되는 구조부재의 단면크기와 배근상태는 거의 동일하다.⁽⁹⁾ 벽식 아파트 건물에서 일반적으로 사용되는 보 및 전단벽 부재의 단면형상 및 배근도를 그림 2에 나타낸다. 수평하중에 대한 저항내력을 확보하기 위하여 15층 이상의 상부 층의 연결 보 부재의 단면이 20cm정도 증가되어 상부 층의 층고가 하부 층보다 20cm 높아진다. 보 부재의 단면치수 및 배근상황을 표 1에 나타낸다. 표에서 부재 기호는 그림 1에 나타낸 평면도의 기호와 일치한다.

벽식 아파트의 전단벽은 수평력 및 연직하중을 지지하는 주요 구조부재이다. 전단벽의 단면은 외부벽체와 세대간을 구획하는 벽체의 경우 보통 두께 $t=18\sim 20\text{cm}$ 가 사용되고, 단위세대 내부의 벽체는 두께 $t=15\sim 18\text{cm}$ 정도가 사용된다. 벽식구조의 벽체 양 단부에는 단부 기둥의 역할을 발휘할 수 있도록 기둥과 같이 띠철근을 사용하여 보강한다. 표 2는 벽체의 단면치수 및 배근 양을 나타낸 것이다.



(a) 보 부재



(b) 벽 부재

그림 2 구조부재의 단면 및 배근상황

표 1 보 부재의 단면치수 및 배근도

Beam ID	Story No.	Dim.(b×D)		Top Bar	Bottom Bar	Stirrup Bar
		b(cm)	D(cm)			
B1	25~17	18	60	4-D16	4-D16	D10@200
	16~B1	18	40	4-D16	4-D16	D10@200
B2	25~17	18	70	4-D16	4-D16	D10@200
	16~B1	18	50	4-D16	4-D16	D10@200
B3	25~17	18	130	4-D16	4-D16	D10@200
	16~B1	18	110	4-D16	4-D16	D10@200
B4	25~17	18	180	4-D19	4-D16	D10@200
	16~B1	18	160	4-D16	4-D16	D10@200

표 2 전단벽 부재의 단면치수 및 배근도

Wall ID	Story No.	Thick t(cm)	Vertical Bar ¹	Horizon Bar ¹	Edge Bar
외부벽	25~16	18	D10@300	D10@300	4-D16
	15~10	18	D10@250	D10@250	4-D16
	9~2	18	D13@150	D10@200	4-D16
	1~B1	18	D13@150	D10@150	4-D16
내부벽	25~16	18	D10@300	D10@300	4-D16
	15~10	18	D10@250	D10@250	4-D16
	9~2	18	D13@250	D10@200	4-D16
	1~B1	18	D13@150	D10@150	4-D16

*1 목배근으로 배근 한다.

2.2 작용수평하중

본 해석에서는 국내의 풍하중(풍속 40m/sec, 노풍도 C) 및 지진하중 산정기준⁽⁹⁾을 적용하여 수평하중을 산정한다. 지진하중은 설계기준의 하중산정 방법에 따라 정적 수평하중을 산정한다. 설계기준의 건물 고유주기 계산 식은 본 해석대상의 벽식 구조물에 적용하기가 곤란하기 때문에 고유치 해석결과에서 얻어진 고유주기와 비교하여 지진하중을 산정하였다. 해석대상 건물의 층별 중량은 벽체의 중량을 포함한 고정하중을 400ton(층별 단위면적당 $w=1.0\text{ton/m}^2$)으로 가정하였다.⁽⁷⁾ 해석 건물의 X방향의 고유주기 T_x , Y방향 고유주기 T_y 는 표 3과 같다. 참고로 벽체의 면내 강성만 고려할 경우 고유주기 $T_x=1.629\text{sec}$, $T_y=1.349\text{sec}$ 이다.

표 3 고유주기(sec)

	설계 기준식	MIDAS-BDS ⁽¹¹⁾ (고유치 해석)	지진하중 산정용 고유주기
T_x	1.136	1.482	1.363
T_y	1.702	1.312	1.312

본 해석 모델의 평면형식에서 알 수 있는 바와 같이 Y방향의 내력벽 총 길이(82m)에 비하여 X방향의 내력벽 총 길이(54m)는 약 65% 정도이다. 즉 X방향 강성이 Y방향 강성에 비하여 매우 작은 평면 모양을 가지고 있다. 따라서 X방향의 고유주기가 길고, Y방향의 고유주기가 짧은 동적 특성을 가진 건물이다. 이와 같은 건물에 설계기준⁽⁹⁾의 고유주기 산정식을 그대로 적용하여 지진하중을 산정할 경우, 지진하중의 크기가 큰 차이를 보일 뿐만 아니라, 작용방향에 따른 잘못된 평가를 내리는 결과를 초래할 수 있다. 벽식 구조물의 고유주기는 내진설계 기준 식을 적용하는 방법과 고유치 해석에 의한 결과는 큰 차이를 보인다. 우리나라 내진설계 기준에서 정한 지진하중 산정시 고유주기 고려방법에는 안전측을 고려하여 기준 식과 고유치 해석결과중 작은 값을 선택

하도록 하고 있지만, 그 합리성에 문제가 있으며, 앞으로 벽식구조에 적합한 고유주기 약산식을 연구할 필요가 있다고 본다.

지진하중 산정결과 X, Y방향에 따른 지진하중의 크기는 큰 차이를 보이지 않는다.

그림 3은 설계용 지진하중과 풍하중이 작용했을 때 층 전단력 분포, 층 전도모멘트 분포를 나타낸 것이다. X방향은 지진하중에 의한 층 전단력 및 층 전도모멘트가 풍하중보다 크고, Y방향은 풍하중이 큰 것을 알 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 탄소성 해석용 수평하중으로, X방향으로 작용하는 수평하중은 지진하중의 하중분포로 가정하고, Y방향으로 작용하는 수평하중은 풍하중의 하중분포로 가정하여 해석을 수행한다.

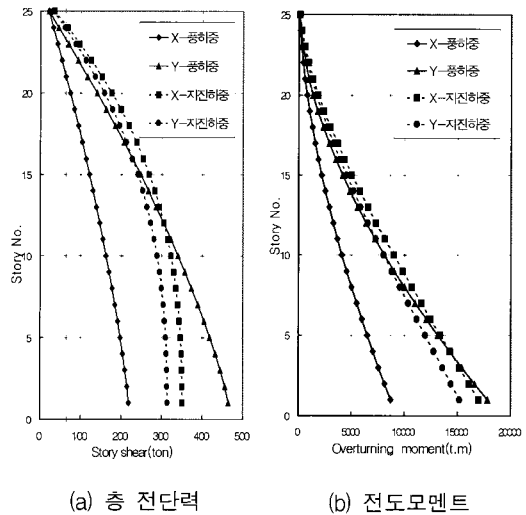


그림 3 층 전단력 및 전도모멘트 분포

2.3 탄성 해석결과 및 고찰

본 해석에서는 국내 건축 구조물의 설계에 많이 이용되고 있는 MIDAS-BDS 프로그램⁽¹¹⁾(이하 BDS라 함)을 사용하여 해석을 수행하였다. BDS는 벽체요소의 면외강성을 고려할 수 있는 모델화가 가능하므로 본 해석에서도 벽체요소의 면외강성을 고려한 해석을 수행하여 비교·검토한다.

탄성해석 결과로서 층변위 분포, 층간 변형각(=층간변위/층고, radian) 분포는 그림 4와 같다. 그림에서 X방향 변위($\delta x=4.13\text{cm}$)가 Y방향 변위($\delta y=3.38\text{cm}$)보다 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 층간 변형각 분포는 10층 이상의 상부 층에서 층간 변형각이 하부 층보다 증가하고 있다.

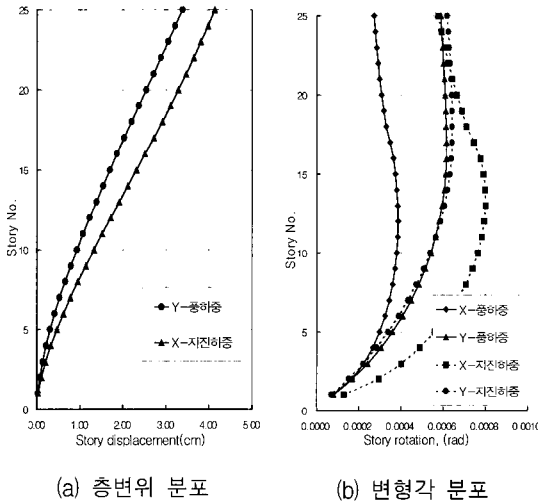


그림 4 층변위 및 층간 변형각 분포

3. 정적 탄소성 해석(Pushover Analysis)

3.1 탄소성 해석법

구조물의 탄소성 해석법은 해석대상 구조물의 형식, 구조재료 등에 따라 여러 종류의 간이 해석법이 제안되어 있다.^{(13),(17)} 일반적으로 철근콘크리트 구조물의 탄소성 해석은 작용 수평하중 분포에 따라 하중을 점점 증가시키면서 부재의 항복 상태를 파악하는 증분 해석법(step by step)이 구조부재의 항복흔지 발생 및 구조물 전체의 층항복 상태를 보다 정밀히 추적할 수 있는 방법이다.

본 연구에서는 구조물의 3차원 입체 탄소성 지진응답해석용으로 개발된 범용해석 프로그램 CANNY-E^{(10),(15),(16)}를 사용하여, 고층 벽식 아파트 구조물의 탄소성 해석을 수행한다. 작용 수평력은 2절의 탄성해석에서 산정한 우리

나라 내진설계규준⁽⁹⁾의 지진하중 분포를 X, Y 방향으로 독립하게 작용시켜 해석한다. 각 방향별 증분해석에서 하중 증분은 각 층의 강성 변화가 급격히 일어나지 않도록 수평력의 크기 단계별로 증분 양을 조절하면서 증가시킨다. 기초는 1층 주각부에서 고정된 것으로 본다. 전단벽과 연결 보 부재의 연직하중 작용시 응력은 고정하중만을 고려하여 부재의 초기하중으로 입력하여 수평력을 가력한다.

3.2 구조부재의 모델화

3.2.1 보 부재의 모델화

보 부재는 그림 5(a)와 같이 보 부재에 발생하는 소성변형을 보의 양단부에 설정한 탄소성 스프링의 회전변형으로 나타내고, 탄성변형은 양단부 탄소성 스프링 사이의 보 부재로 표현하는 재단 탄소성 스프링으로 모델화한다.⁽¹⁴⁾ 또한 벽체와 직교하는 보는 양단부를 고정시킨 연직방향의 전단 스프링으로 모델화하여 벽체의 회전을 구속하는 효과를 고려한다⁽¹⁴⁾

보 부재의 재단 탄소성 스프링은 그림 7(a)과 같이 Tri-linear 복원력 특성 모델을 가진다고 가정한다. 강성 및 휨강도 산정시 슬래브의 유효 폭은 보의 중국강도시 슬래브 보강근의 기여도를 고려하여 0.4L(L:보 스패)로 가정한다⁽¹⁴⁾. 항복후의 강성($K\alpha$)은 충분히 미소한 것으로 가정하여 0.01로 입력한다. 전단 스프링은 그림 7(a)과 같은 골격곡선을 갖도록 균열 전단강도(Q_c)와 중국전단강도(Q_u)를 산정하여 입력한다.

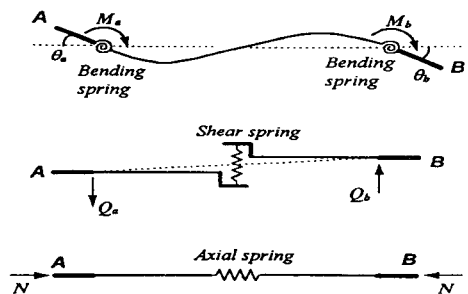


그림 5 보 부재의 모델화

3.2.2 벽체의 모델화

철근콘크리트 벽식 아파트 건물은 수직 및 수평력에 대한 저항력을 전단벽이 부담한다. 전단벽의 탄소성 해석은 유한요소법과 1차원 요소인 직선재로 치환한 매트릭스 해석법이 일반적으로 적용되고 있으나, 벽체와 슬래브 등의 2차원 평면 부재가 많이 사용되는 건축구조물에 적용하기는 어려움이 있다.^{(8),(14)} 따라서 본 해석에서는 벽체를 그림 6과 같이 상, 하부에 무한 강성을 갖는 보가 접합되고, 벽체 양측에 축변형을 일으키는 기둥요소(단부보강부분) 및 벽판으로 구성된 3개의 직선재 요소(3번 요소)로 모델화 하여 탄소성 해석을 수행한다.^{(10),(15)}

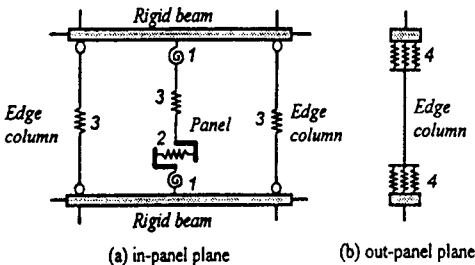
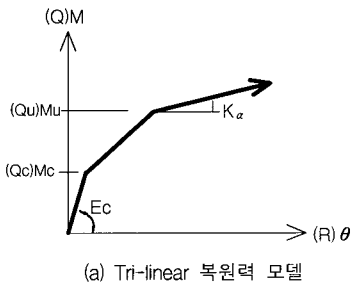
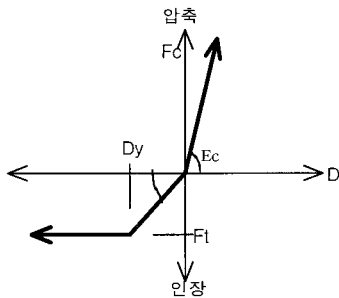


그림 6 벽체의 모델화



(a) Tri-linear 복원력 모델



(b) 축변형 복원력 모델

그림 7 복원력 모델의 골격곡선

벽판의 회전변형 요소(1번 요소) 및 전단변형 요소(2번 요소)는 보 부재의 탄소성 스프링과 유사한 Tri-linear 복원력 모델을 이용한다. 전단변형 요소의 항복점 강성 저하율은 0.3으로 한다.⁽¹²⁾ 축변형 요소는 그림 7(b)과 같은 축변형 복원력 모델을 사용한다. 복원력 모델의 인장강성(E_t)은 인장철근만 유효하게 작용하므로 압축강성(E_c)의 0.5배로 가정한다.⁽¹²⁾

3.3 구조부재의 단면내력

3.3.1 보의 단면내력

보 부재 내력을 단면치수 및 배근도를 이용하여, 휨강도 및 전단강도를 아래와 같이 산정한다.

(a) 휨강도

보의 휨강도(M_u)는 다음과 같이 ACI code의 등가응력블록법을 적용하여 산정한다. 균열휨강도(M_c)는 인장측 콘크리트의 인장강도를 이용하여 계산한다.

$$M_u = (A_s - A'_s)f_y(d - a/2) + A'_sf_y(d - d') \quad (1)$$

여기서,

$$a : \text{등가 응력 블록의 춤, } a = \frac{(A_s - A'_s)f_y}{0.85f'_c b}$$

A_s : 인장철근 단면적

A'_s : 압축철근 단면적

d : 압축연단에서 인장철근의 중심까지의 거리

d' : 압축연단에서 압축철근의 중심까지의 거리

b : 부재 폭

(b) 전단강도

보의 전단내력은 아래와 같이 일본건축학회 강도산정식⁽¹³⁾을 적용하여 산정한다.

· 전단 균열강도

$$Q_c = 1.4\sqrt{F_c A_c}$$

여기서, F_c : 콘크리트 압축강도

A_c : 단면적

· 전단 종국강도

$$Q_u = \left\{ \frac{0.068P_t^{0.23}(f'_c + 180)}{(M/Qd) + 0.12} + 2.7\sqrt{\sigma_w P_w} \right\} b_j \quad (2)$$

여기서,

P_t : 인장철근비(%), $P_t = 100a_t/(bd)$

P_w : 전단 보강근비

σ_w : 전단보강근의 인장강도

b : 보의 폭

j : 응력중심간 거리, $j = (7/8)d$

$M/(Qd)$: 전단스팬비

3.2.2 벽체의 단면내력

전단벽의 단면내력은 사용부재의 단면치수와 배근도를 이용하여, 휨내력 및 전단강도는 다음 식과 같이 일본건축학회 종국강도 산정식(13)을 적용하여 산정한다.

(a) 휨강도

$$M_u = \Sigma(a_i \sigma_y) l_w + 0.5\Sigma(a_w \sigma_{wy}) l_w + 0.5N l_w \quad (3)$$

여기서,

a_t : 인장측 단부 보강근 양

a_w : 벽체의 수직 보강근 양

σ_t : 인장측 단부 보강근의 인장강도

l_w : 양단부 보강근의 중심간 거리

σ_{wy} : 벽체의 수직 보강근 인장강도

N : 내력벽 단면에 작용하는 축력

(b) 전단강도

· 전단 균열강도

$$Q_c = 1.4\sqrt{F_c A_w}$$

여기서, F_c : 콘크리트 압축강도

A_w : 전단벽의 단면적

· 전단 종국강도

$$Q_u = \left\{ \frac{0.053P_t^{0.23}(f'_c + 180)}{(M/Q l_w) + 0.12} + 2.7\sqrt{\sigma_{wh} P_{whe}} + 0.1\sigma_{oe} \right\} b_e j \quad (4)$$

여기서,

P_{te} : 등가 인장철근비(%), $P_{te} = 100a_t/(bd)$

P_{whe} : 수평 전단보강근비

σ_{wh} : 수평 전단보강근의 인장강도

σ_{oe} : 벽체 전단면적에 대한 평균 축응력도

b_e : 벽체 두께

j : 응력중심간 거리 $= (7/8)d$

$M/(Q l_w)$: 전단스팬비

3.4 탄소성 해석결과 및 고찰

3.4.1 탄소성 해석결과

정적 탄소성 해석을 수행하여 얻어진 층별 층간변위-층전단력 관계는 그림 8과 같다. 그림과 같은 곡선에서는 항복 층전단력의 크기를 결정하기 곤란하므로, 곡선의 형태를 고려하여 곡선의 기울기가 거의 직선으로 변화하는 점을 기준으로 항복점을 결정한다. 즉, 층간변위-층전단력 관계곡선에서 층별 항복 층전단력은 층 강성이 초기강성의 약 30% 정도로 저하했을 때를 항복점으로 가정하여 얻어진 항복 층 전단력 및 층간변위를 표 4에 나타낸다.

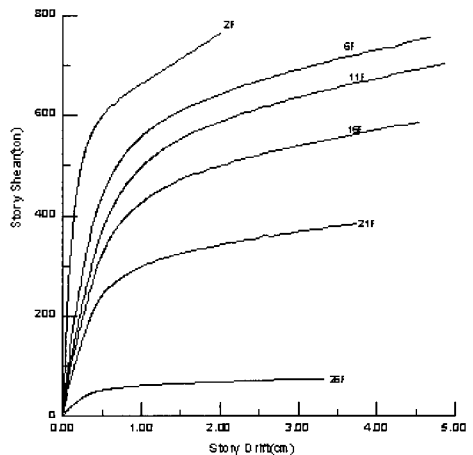


그림 8 층간변위-층 전단력 관계

표 4 층간변위 및 항복 층 전단력 분포

층	초기강성 Ke(t/cm)	0.3Ke (t/cm)	항복변위 (cm)	항복층 전단력(ton)
25	276.19	82.86	0.685	56.62
24	509.79	152.94	0.720	110.10
23	684.31	205.29	0.790	161.86
22	799.05	239.72	0.884	212.07
21	875.77	262.73	0.994	261.85
20	984.71	295.41	1.014	299.43
19	1042.90	312.87	1.072	337.49
18	1081.77	324.53	1.133	372.40
17	1108.60	332.58	1.198	404.26
16	1141.87	342.56	1.261	432.10
15	1142.89	342.87	1.315	457.38
14	1150.08	345.02	1.315	484.15
13	1191.56	357.47	1.396	500.57
12	1239.33	371.80	1.386	515.20
11	1266.03	379.81	1.393	530.07
10	1299.38	389.81	1.389	542.80
9	1340.74	402.22	1.375	553.50
8	1392.88	417.86	1.348	562.28
7	1460.41	438.12	1.298	568.30
6	1532.85	459.86	1.249	574.59
5	1665.20	499.56	1.157	577.41
4	1859.43	557.79	1.040	577.82
3	2162.52	648.76	0.886	576.10
2	2826.58	847.97	0.677	572.32
1	4809.87	1442.96	0.400	575.71

그림 9는 설계용 층 전단력 분포와 항복 층 전단력 분포를 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 구조물의 항복 층 전단력은 설계용 지진 하중치보다 1.6배 정도 높다. 그러므로 본 해석에서 사용한 부재 단면을 갖는 벽식 아파트의 경우, 수평하중에 대한 저항내력은 충분히 높은 것으로 판단된다. 그러나 등가 정적 지진하중은 지진동에 의한 동적효과를 정적하중으로 치환한 하중이기 때문에 실제 지진동에 의한 동적하중 효과는 설계하중치를 초과하는 경우가 발생할 수 있다. 그러므로 설계용 지진하중은 지진동의 동적효과를 고려하여 어느 정도 안전율을 확보할 수 있도록 설정되어야 할 것이다.

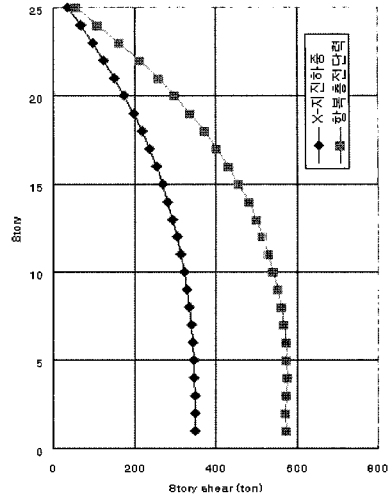


그림 9 설계용 층 전단력과 항복 층 전단력 분포의 비교

그림 10은 수평하중의 증가에 따른 항복흔지 발생 위치를 Y2 프레임에 대하여 나타낸 것이다. 그림에서 ○표시는 구조물의 층 전단력-층간변위 곡선에서 항복점에 도달하기 직전의 밀면전단력 $Q_b=571\text{ton}$ 에서의 보 및 벽체의 항복상태를 나타낸다. △표시는 층별 항복 층 전단력에 도달한 시점의 밀면전단력 $Q_b=616\text{ton}$ 에서의 항복상태를 나타낸다. ●표시는 층별 항복 층 전단력을 훨씬 초과하고 종국상태에 도달한 시점의 밀면전단력 $Q_b=720\text{ton}$ 에서의 항복상태를 나타낸다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 벽식구조는 하중이 증가함에 따라 벽체를 연결하는 연결 보에서 항복흔지가 발생하기 시작하여 전 층으로 확산되고, 저층부 벽체의 휨 항복으로 구조물이 종국상태에 도달하는 것으로 판명되었다.

4. 벽식 아파트 건물의 내진성능 평가

4.1 벽체의 모델화에 따른 문제점

벽식 건물의 탄소성 해석은 일반적인 구조물의 탄소성 해석에 비하여 벽체의 탄소성 해석 모델화 방법에서 여러 가지 어려운 문제점

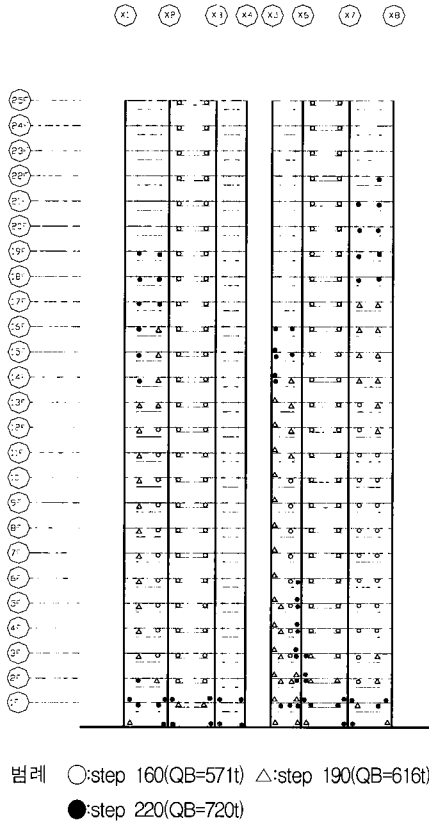


그림 10 항복한지 발생 위치

이 많다. 탄성해석에서 많이 이용되는 방법인 벽체를 기둥 부재로 치환하여 해석하는 경우, 철근콘크리트 보를 강체로 가정하여 해석하게 되어 항복점을 설정할 수 없게 된다. 또한 벽체를 브레이스 부재로 치환하는 방법에서는 압축 브레이스와 인장 브레이스의 항복 조건을 벽체 모델에서 결정하기가 곤란하여 적용할 수 없는 어려움이 있다. 본 해석 프로그램에서 사용하고 있는 벽체 모델은 벽체 양 단부에 있는 축부재 스프링에 의해 우력이 발생하여 외력에 의한 휨모멘트와 축부재력에 의한 휨모멘트가 평형을 이루지 못하는 문제가 발생한다.

본 해석 대상 건물과 같은 수직부재가 전부 내력벽으로 이루어진 구조물에서는 벽체와 벽체가 서로 만나는 부분에서 상호작용 효과를 효율적으로 고려하기가 매우 어렵다. 또한 벽식 아파트 건물은 내력벽의 강성 및 내력에

비하여 벽체를 연결하는 보 부재의 강성 및 내력이 매우 낮아 탄소성 해석 과정에서 수치 해석상 오차를 증가시킬 수도 있다. 특히 벽체 부재의 강성과 보 부재의 강성 차이 때문에 보 단부에서 변형이 급격히 증가하여 보 부재의 축변형을 유발하는 현상이 일어나고 있다. 따라서 앞으로 벽체의 모델화 방법에 따른 해석결과에 대한 영향을 좀 더 상세히 검토할 필요가 있으며, 새로운 모델화 방법 혹은 벽식 구조물에 적합한 탄소성 해석법을 개발하는 것이 무엇보다 중요하다고 사료된다.

4.2 정적 탄소성 해석에 의한 평가

본 연구에서 해석대상으로 선정된 벽식 아파트 건물의 정적 탄소성 해석결과, 구조물의 항복내력은 설계용 등가 정적 지진하중의 1.6 배정도 높게 나타났다. 본 해석대상 아파트의 벽체 두께는 실제 고층 벽식 아파트 건물에서 채택되고 있는 벽체의 두께(외벽 : $t=18\text{cm}$, 내벽 : $t=15\text{cm}$)보다 약간 두꺼운 18cm 로 가정하였다. 그러므로 벽체의 강도와 강성이 높아 상대적으로 구조물의 저항내력은 높게 나타난 것이라고 볼 수 있다.

벽체의 강도에 비하여 연결 보의 강도가 작은 경우, 연결 보 단부에서 항복한지가 일찍 생성되고, 휨변형이 집중된다. 보 춤이 작은 보 부재인 경우 탄성해석에서는 강성이 낮은 부재에 부재력도 작게 발생하지만, 탄소성 해석에서는 강성이 작은 부재에 항복한지가 형성된 이후에는 변형이 집중됨과 동시에 타 부재에 과급되는 효과가 매우 빠르므로 항복한지가 빨리 형성되어 구조물 전체의 불안정 상태가 빨라진다. 이와 같이 구조적 특성을 갖는 벽식구조는 소성 변형능력이 매우 작은 구조형식이라고 볼 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 우리 나라에서 많이 건설되고 있는 벽식아파트 건물을 대상으로 정적 탄소성 해석을 수행하여, 벽식 건물의 탄소성해석에서

전단벽체의 모델화 방법의 검증, 붕괴과정의 추적, 종국내력 등을 검토하였다. 해석 대상 모델은 최근 일반적으로 분양되고 있는 평면형식을 선정하여, 등가정적 지진하중분포를 작용시켰다. 본 연구에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1) 벽식 아파트 건물의 내진설계에서 지진하중 산정시 장변방향(X 방향)의 고유주기 설정에 주의가 필요하다.
- (2) 본 해석에서 사용한 벽체의 모델화 방법은 벽식 아파트 건물의 탄소성 해석에도 적용할 수 있었다.
- (3) 벽식 아파트 건물과 같이 모든 수직부재가 전단벽으로 이루어진 입체 벽식구조물의 탄소성 해석에서 전단벽체의 모델화 방법에 대한 상세한 연구가 필요하다.
- (4) 정적 탄소성 해석 결과 우리 나라에서 건설되고 있는 고층 아파트 건물의 항복 층전단력은 등가 정적 지진하중의 약 1.6배 정도이다.

앞으로 여기서 얻어진 정적 탄소성 해석결과를 이용하여 동적 탄소성 지진응답해석을 수행하여 내진안전성을 검토할 예정이다.

참 고 문 헌

1. 대한주택공사, "공동주택의 내진성능향상을 위한 구조계획 기법연구", 1987.
2. 대한주택공사, "아파트 건물의 구조형식에 관한 연구", 1990.
3. 한국건설기술연구원, "초고층아파트 최적구법 개발(II)", 1991.
4. 한국건설기술연구원, "초고층아파트 최적구법 개발(III)", 1992.
5. 대한주택공사, "고층아파트 부품화 기술개발(II)", 1992.
6. 대한주택공사, "고층아파트 부품화 기술개발(III)", 1993.
7. 대한건축학회, "철근콘크리트내력벽식 건축물 구조설계지침(안)", 1992.
8. 전대한 외4인, "벽식건물의 탄성해석에서 벽체의 모델화 방법 검토", 한국지진공학회 1998년도 춘계학술발표대회 논문집, Vol. 2, No. 1, pp. 180-187.
9. 대한건축학회, "내진설계 지침서 작성에 관한 연구", 1987.
10. 윤태호, 조한욱, "건물의 3차원 비탄성 동적 해석 프로그램", 전산구조공학회 제10권 제2호, 1997, pp. 5-12.
11. 포스코 개발주식회사, MIDAS-BDS User's Manual Vol. I, 1996.
12. 日本建築學會, 鐵筋コンクリート造建築物靱性保証型耐震設計指針(案)・同解説, 1997.
13. 日本建築センタ, 中高層壁式鐵筋コンクリート造設計施工指針・同解説, 1987.
14. 小谷俊介, "RC造建築物の地震應答解析の現状と問題點", 콘크리트工學, Vol. 31, No. 8, 1993, pp. 15-23.
15. Li, K.-N., "CANNY-E : Three-Dimensional Nonlinear Dynamic Structural Analysis Computer Program Package-Users Manual," CANNY Consultants PTE, LTD, Singapore, 1996.
16. Li, K.-N., "CANNY-E : Three-Dimensional Nonlinear Dynamic Structural Analysis Computer Program Package-Technical Manual(Part I)," CANNY Consultants PTE, LTD, Singapore, 1996.
17. Kilar, V. and Fajfar, P., "Simplified push-over analysis of building structures," 11th WCEE, Paper No. 1011, 1996.