

비선형 해석으로 평가한 전단벽의 이력거동 특성에 관한 연구

Hysteretic Behavior Characteristics of R/C Shear Walls Evaluated by Nonlinear Analysis

김 덕 주*
Kim, Duk Ju

한 상 환**
Han, Sang Whan

이 리 형***
Lee, Li Hyung

ABSTRACT

Most of tall apartment buildings constructed in our country are wall-type R/C structures composed of shear walls and slabs. It is necessary to evaluate of hysteretic properties of shear walls in wall-type R/C structures which resist lateral loads as well as axial loads. In this study, first to evaluate the wall's hysteretic behavior nonlinear analyses with IDARC 4.0 are performed for eight specimens subjected to horizontal load reversals. As a result of nonlinear analyses of specimens we can obtain three parameters which determined the hysteretic parameters such as stiffness degrading, strength deterioration and pinching behavior respectively. With this three parameters, strength and deformation capacity of 5, 10, 20-story shear wall of apartment building is estimated from the results of push-over analysis.

1. 서 론

철근콘크리트 전단벽은 높은 강성을 보유하고 있기 때문에 풍하중 또는 지진하중과 같은 수평하중의 저항 요소로 폭넓게 사용되고 있다. 건물이 고층화됨에 따라 세장비(H/B)가 증가하기 때문에 강도보다는 강성 및 안정성(Stability)이 보다 중요한 설계요건이 된다. 이러한 경우 전단벽의 강성을 효과적으로 이용한다면 적절한 범위내에서 층간변위를 제어할 수 있을 것이다.

전단벽의 장점을 활용한 대표적인 구조방식으로는 골조-전단벽 구조와 국내의 아파트건물에 많이 채택되고 있는 벽식구조를 선정할 수 있다. 벽식 아파트건물은 3.6~5.4m 정도의 간격으로 전단벽을 배치하고 연직하중과 수평하중을 동시에 벽체가 부담하도록 하는 구조방식이다. 이때, 아파트의 단변방향으로 작용하는 횡력은 평행하게 배치된 전단벽들의 면내강성에 의해 충분히 저항할 수 있지만 장변방향으로는 바닥판이 다이아프램작용을 충분히 한다고 하더라도 상대적으로 취약한 저항능력을 갖게 될 것이다. 이와 같이 벽식구조 아파트건물의 벽체는 면내 전단력을 받는 일반 전단벽과는 다소 다른 양상의 거동을 보이게 될 것으로 판단되며, 보다 실제적인 거동의 특성을 조사하기 위해서는 다이아프램으로 작용하는 슬래브의 효과를 적절히 고려한 연구가 필요한 실정이다.

* 한양대 건축공학과 대학원 석사과정

** 한양대 건축공학부 전임강사

*** 한양대 건축공학부 교수

한편, 전단벽은 평면으로 표현되는 부재로서 기둥이나 보와 같은 선형부재와는 다른 거동을 보여지게 된다. 전단벽의 거동에 영향을 주는 중요한 변수는 형상비(aspect ratio : h_w/l_w)로서 형상비가 큰 벽체($h_w/l_w \geq 2$)는 연성적인 거동을 나타내며, 보의 경우와 유사하게 휨 파괴의 양상을 보인다. 반면에 형상비가 작은 벽체($h_w/l_w \leq 1$)는 전단력에 의한 영향을 많이 받게 되고, 특히 벽체 하부에서 미끄러짐 전단파괴의 양상을 보인다. 또한, 전단벽은 다른 부재들 보다 전체변형에서 전단변형이 차지하는 비율이 크고, 벽체의 항복변형 이후부터는 전단변형의 증가가 휨변형의 그것보다 상대적으로 크게 나타난다. 아울러 비선형 거동에 따른 변형능력은 파괴형태에 따라 상당한 차이를 보여지게 된다.

본 연구에서는 벽식구조 및 골조-전단벽구조에 의한 고층 RC건물의 수평강도와 변형능력을 해석적으로 평가하기 위해 전단벽의 거동을 거시적 모델(macro model)로 이상화함으로써 이력특성을 평가하고자 한다. 먼저 비선형 유한요소 해석프로그램인 IDARC 4.0을 사용하여 PCA(Portland Cement Association)와 한양대에서 수행되어진 8개의 전단벽 실험체를 대상으로 비선형 해석을 수행하고 그 결과들을 비교하게 될 것이다. 다음으로는 국내 공동주택의 구조방식으로 폭넓게 채택되고 있는 벽식구조의 벽체를 대상으로 비선형 해석(Pushover analysis)을 수행함으로써 벽식구조 건물의 강도와 변형능력을 조사하고자 한다.

2. 전단벽의 모델링

RC 전단벽의 비선형 거동을 예측하기 위하여 그 동안 많은 연구가 진행되었으며, 연구성과를 토대로 여러 가지 모델들이 제안되었다. 해석모델은 재료의 구성방정식을 사용하는 미시적 모델(microscopic model)과 전체적인 거동을 예측하기 위한 거시적 모델(macroscopic model)로 크게 나누어진다. 미시적 모델은 부분적인 응력과 변형의 상태를 파악하는 경우에 효과적이고, 거시적 모델은 간단화 이상화에 의해 전체적인 거동의 특성을 평가할 수 있다. 또한, 해석모델은 전단벽 자체의 이력거동과 연결 부재들과의 상호작용을 적절하게 고려할 수 있어야 하며, 연산시간이 적게 소요되는 것이 바람직하다. 고층건물의 구조 시스템을 해석할 경우 해석모델의 단순성은 더욱 중요한 척도가 될 것이므로 거시적 모델을 사용하는 것이 효과적이라고 판단된다.

지금까지 발표된 전단벽의 거시적 모델들은 보요소(beam element), 트러스요소(truss element), 다중 스프링요소(multiple spring element) 모델로 구분할 수 있다. 이 중에서 다중 스프링요소 모델은 Kabeyasawa에 의해 제안된 수직삼선요소 모델(three vertical line element model ; TVLEM)이 처음으로 제안된 모델이다. 이 모델은 실물크기의 7층 RC 골조-전단벽 건물의 유사동적(pseudo dynamic) 실험결과를 바탕으로 만들어진 것으로서 실험에서 보여준 거동특성을 비교적 양호하게 나타내고 있다. 이후 Vulcano, Fajfar, Fischinger, Linde 와 같은 연구자들에 의해서 Kabeyasawa의 수직삼선요소 모델을 수정·보완하는 연구가 수행되기도 하였다.

본 연구에서 사용한 IDARC 4.0은 Kabeyasawa의 수직삼선요소 모델(TVLEM)을 사용하여 전단벽을 모델링하고 있으며, 휨, 전단 및 축방향 강성을 갖는 것으로 표현된다. 이러한 강성들은 벽체의 중앙에 위치하는 보요소에 상호 독립적인(uncoupled) 전단 스프링과 휨 스프링 및 축방향 스프링에 의해 모델링된다. 또한, 평면유지의 가정을 적용하여 벽체의 네 구석에 있는 절점들의 연직방향 변위로부터 벽체 상하부의 회전각을 계산하게 되며, 결과적으로 벽체의 상하단에는 무한 강성의 보(rigid beam)가 존재하는 것으로 고려되고 있다. 아울러 휨에 대한 저항능력을 극대화하기 위하여 벽체의 양단부에 설치한 경계기둥은 별도의 비탄성 축스프링으로 모델링할 수 있으므로 경계기둥의 비탄성 수직변위에 따라 rocking현상도 고려할 수 있다. 그림 1은 IDARC에서 사용하고 있는 전단벽의 모델링을 보여주고 있다.

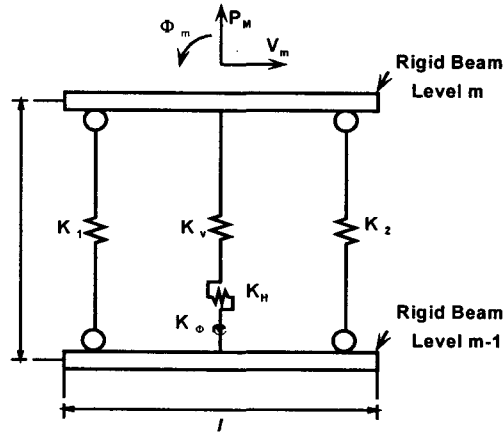


그림1. 수직삼선요소 모델(TVLEM)을 사용한 전단벽의 모델링

IDARC 4.0의 이력모델은 비대칭 삼선형(trilinear) 포락선을 기본골격으로 사용하고 있으며, 이력모델은 그림2에 나타낸 3가지의 변수에 따라 다양한 형태의 복원력 특성을 표현할 수 있다. 변수 α 는 강성저하(stiffness degrading)를 고려하기 위한 것으로서 초기강성 축상의 αF_y 에 해당하는 점을 향하도록 제하(unloading) 강성을 결정하게 되고, 재하(reloading) 시에는 이전 사이클의 최대 변형점을 지향하게 된다. 핀칭(pinching) 거동은 변수 γ 에 의해 나타낼 수 있는데 재하시 균열이 닫히는 점을 γF_y 로 설정하여 여기까지는 재하강성이 감소되고 이 점을 지나면서 이전 사이클의 최대 변형점을 향하도록 설정되었다. 이와 같은 핀칭거동은 이력루프(hysteresis loop)상의 찌그러짐 현상으로 나타내게 되고, 결과적으로 에너지소산능력도 영향을 받게 된다.

β 로 표시되는 변수는 식(1)과 같이 강도저하(strength deterioration)의 배율을 결정해 준다. 이 변수는 표준화된 이력에너지의 증분 dE 에 대한 최대응답의 증분으로 산정되는 손상을 의미한다.

$$\beta = \left(\frac{d\delta_m}{\delta_u} \right) \div \left(\frac{dE}{\delta_u P_y} \right) = \frac{d\delta_m P_y}{dE} \quad (1)$$

3. 전단벽 실험체를 대상으로 한 비선형 해석

IDARC 4.0으로 전단벽에 대한 비선형 해석을 수행하기 위해서는 앞서 언급한 이력모델의 3가지 변수 α , β , γ 를 결정해야 한다. 본 연구에서는 축력과 반복 수평하중을 받는 전단벽의 이력거동 특성을 조사하기 위하여 PCA(Portland Cement Association)와 한양대에서 수행되어진 8개의 전단벽 실험체를 선정하였다. 표1은 선정된 실험체의 단면치수와 형태를 정리하였으며, 사용재료의 강도와 철근비는 표2에 나타나 있다.

PCA에서 연구한 실험체들은 장방형(rectangular), 바벨형(barbell) 및 형강형(flange)의 3가지 단면형상에 따라 실험체명을 표기하였으며 1/3 축척으로 형상비가 3.0인 벽체들이다. 한양대에서 실험한 HW2 실험체는 60층 철근콘크리트 건물의 저층부 3개 층을 대상으로 형상비(h_w/l_w)가 2.08인 바벨형 단면의 전단벽을 실험크기의 1/5로 제작한 것이다. 모든 시험체들은 단일 벽체로 구성되었으며, 기초에 완전히 고정된 상태로 가력되었다. 가력은 변위조절 방식에 의해서 각각의 변형단계별로 적어도 3회 이상의 동일 변위 사이클을 경험하도록 계획되었다.

표1. 선정된 실험체의 단면치수 및 형상

실험체명	벽체길이 l_w (cm)	단부 춤 h_f (cm)	단부 폭 b_f (cm)	벽판두께 t (cm)	벽체높이 H_w (cm)	층수	전단스팬비 ($H_w/0.8l_w$)	연구기관
R1	190.5	19.1	10.2	10.2	457.2	1	3.0	PCA
R2	190.5	19.1	10.2	10.2	457.2	1	3.0	PCA
B1	190.5	30.5	30.5	10.2	457.2	1	3.0	PCA
B2	190.5	30.5	30.5	10.2	457.2	1	3.0	PCA
B6	190.5	30.5	30.5	10.2	457.2	1	3.0	PCA
F1	190.5	10.2	91.4	10.2	457.2	1	3.0	PCA
F2	190.5	10.2	91.4	10.2	457.2	1	3.0	PCA
HW2	120.0	18.0	18.0	8.5	200.0	3	2.08	한양대

표2. 선정된 실험체의 재료특성

실험체명	$f'c$ (kg/cm^2)		f_{ybe} (t/cm^2)		f_{yv} (t/cm^2)	f_{yh} (t/cm^2)	f_{ys} (t/cm^2)	ρ_{be} (%)	ρ_v (%)	ρ_h (%)	$\frac{P}{A f'c}$ (%)
	design	actual	design	actual							
R1	420.0	454.3	4.20	5.19	5.30	5.30	-	1.47	0.25	0.31	0.4
R2	420.0	471.8	4.20	4.57	5.43	5.43	5.43	4.00	0.25	0.31	0.4
B1	420.0	538.3	4.20	4.56	5.29	5.29	-	1.11	0.29	0.31	0.3
B2	420.0	544.6	4.20	4.17	5.40	5.40	-	3.67	0.29	0.63	0.3
B6	210.0	221.2	4.20	4.47	5.19	5.19	4.95	3.67	0.29	0.63	14.1
F1	420.0	390.6	4.20	4.52	5.33	5.33	-	3.89	0.30	0.71	0.4
F2	420.0	462.7	4.20	4.37	4.71	4.71	4.71	4.35	0.31	0.63	7.6
HW2	600.0	668.0	4.00	4.22	5.83	5.83	5.83	1.75	0.55	0.55	5.52

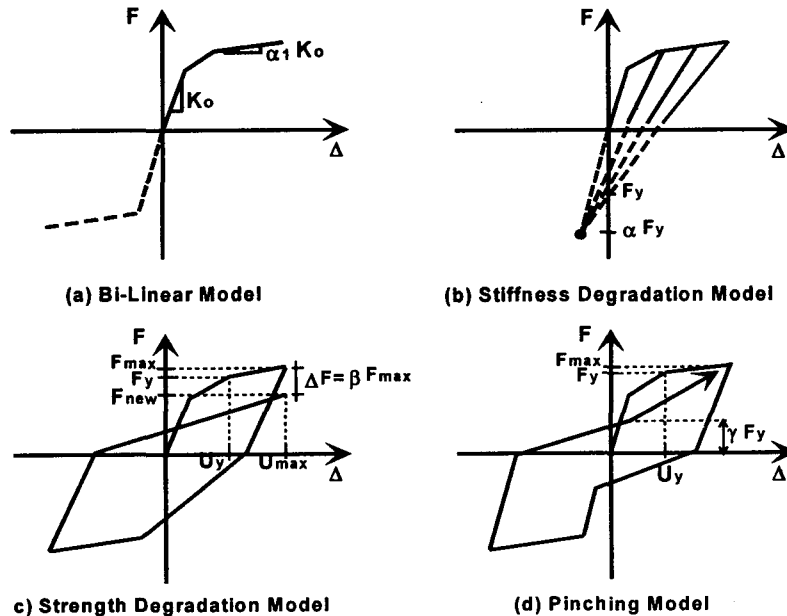
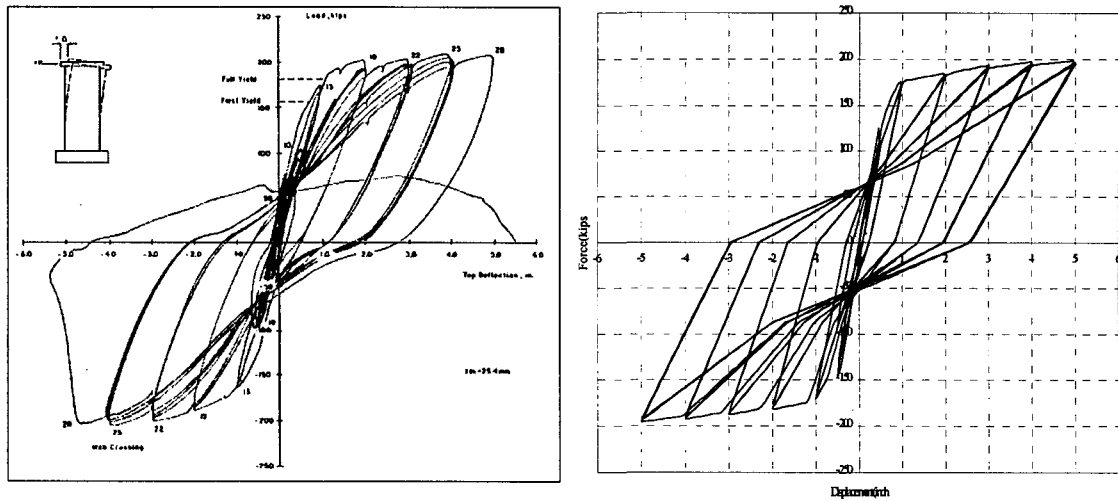


그림2. 3가지 변수로 구성되는 이력모델 특성

이상과 같은 실험체를 대상으로 IDARC 4.0을 사용하여 동일한 변위이력을 경험하도록 비선형 해석을 수행하였다. 전단벽의 이력모델 특성을 결정하는 3가지 변수 α, β, γ 는 최대강도, 항복강도, 항복변위, 이력루프의 전체적인 형상 등을 비교해 가며 반복적인 계산과정을 거쳐 결정되었다. 그림3에서는 이력거동에 대한 실험결과와 해석결과를 비교하기 위하여 F2 실험체의 경우를 나타낸 것이다. 표4는 각각의 실험체에 대한 비선형 해석으로부터 구해진 전단벽의 이력모델 변수 α, β, γ 의 값을 정리한 것이다.

전단벽의 초기균열은 해석대상 실험체의 실험결과에 의하면 대부분 전단벽 경계기둥의 위함단면 높이에서 휨균열이 발생한 후 경계기둥을 관통하여 웨브 반대편 하단을 향하는 전단균열로 발전하게 된다. 이러한 균열은 반복가력이 진행될 수록 경계기둥의 구속상태와 형상 등에 따라 경계기둥 주근의 좌굴 또는 파단으로 이어지는 휨파괴로 발전되기도 하고, 웨브의 압괴로 인한 전단파괴로 진전되기도 하였다. 전단벽 구조물의 대표적인 이력거동인 편칭은 웨브에 전단균열이 발생하면서 이전 사이클에서 발생된 균열이 완전히 닫히는 순간까지는 콘크리트가 압축력에 저항을 할 수 없으므로 상당히 작은 재하강성을 나타내게 되고, 이후 균열이 닫히는 순간부터는 다시 재하강성이 증가하게 되는데 이러한 편칭의 효과도 해석결과에 적절하게 평가되고 있다.



(a) 실험결과

(b) 해석결과

그림3. F2 실험체에 대한 이력거동의 비교

표3. 선정된 실험체의 최대강도와 해석결과와의 비교

실험체명	M_n (t-m)	V_{fn} (t)	V_{vn} (t)	V_n (t)	V_{exp} (t)	$\frac{V_{exp}}{V_n}$	V_{anal} (t)	$\frac{V_{exp}}{V_{anal}}$	파괴모드
R1	48.53	10.61	53.86	10.61	12.07	1.14	9.89	1.22	휨파괴
R2	80.74	17.66	55.08	17.66	22.09	1.25	17.51	1.26	휨파괴
B1	107.98	23.62	55.72	23.62	27.67	1.17	21.36	1.30	휨파괴
B2	272.93	59.69	90.19	59.69	69.31	1.16	58.11	1.19	전단파괴
B6	347.03	75.90	61.20	61.20	84.14	1.37	76.34	1.10	전단파괴
F1	329.06	71.97	81.32	71.97	85.23	1.18	78.56	1.08	전단파괴
F2	366.39	80.26	79.82	79.82	90.49	1.13	89.86	1.01	전단파괴
HW2	64.43	32.21	46.58	32.21	32.84	1.02	31.36	1.05	휨파괴

표4. 항복변위, 항복강도의 비교 및 이력모델의 변수

실험체명	Δ_{y2} (cm)		V_y (t)		α (stiffness)	β (strength)	γ (pinching)
	실험	해석	실험	해석			
R1	1.35	0.95	9.11	8.85	2.0	0.002	0.5
R2	2.16	1.16	16.78	16.37	2.0	0.001	0.5
B1	1.78	0.60	20.46	19.96	2.0	0.001	0.5
B2	2.54	1.27	54.30	53.98	2.0	0.001	0.5
B6	3.33	1.52	65.41	72.58	1.5	0.002	0.55
F1	2.54	1.14	68.31	72.98	1.5	0.002	0.5
F2	2.87	2.35	70.76	74.39	2.0	0.001	0.5
HW2	0.41	0.32	24.05	26.5	2.0	0.0015	0.5

또한 경계기둥에 횡보강근이 없는 경우에는 경계기둥의 축방향 변형이 증가하면서 전체 이력거동에서 강도가 저하하는 결과를 초래하게 되는데, 표4에 나타나 있는 것처럼 R1 및 F1 실험체의 경우는 강도저하를 결정해 주는 이력모델 변수 β 가 0.002로서 다른 실험체보다 상대적으로 큰 값이 결정되었다. 제하시 이력곡선의 기울기 변화는 일반적인 철근콘크리트 부재의 강성저하 현상을 적절한 수준으로 평가하고 있다. 표4에 정리되어 있는 이력모델 변수들은 해석대상 실험체의 강도와 변형능력을 적절하게 평가하고 있으며, 이력거동상의 강성저하, 강도저하 및 핀칭현상들도 효과적으로 반영하고 있다는 사실을 알 수 있다.

전단벽의 강도특성은 표4에 나타나 있는 것과 같이 해석으로부터 얻어진 최대강도가 실험에서 얻어진 것보다 모두 낮은 값으로 평가되고 있으며, 실험체의 최대강도를 최대 30%의 오차범위 내에서 예측할 수 있었다. 특히 휨과괴를 보인 실험체에서 오히려 최대내력 예측치의 오차가 크게 나타나고 있는데 이는 해석과정에서 변형경화 특성을 적합하게 고려하지 못한 것으로 판단된다. 한편, 표4에 나타난 것과 같이 항복강도는 10% 오차범위 내에서 실험결과와 대응되고 있지만, 항복변위는 실험으로 구한 값보다 작게 평가되고 있으므로 해석에서는 초기강성을 과대평가 하는 것으로 나타났다.

이상의 결과로부터 본 연구에서 이용된 전단벽 모델은 반복하중을 받는 전단벽 실험체의 이력거동을 양호하게 예측할 수 있는 수준이라고 판단된다. 특히 강성저하, 강도저하 및 핀칭의 이력모델 변수는 각각 $\alpha = 1.9$, $\beta = 0.0014$, $\gamma = 0.5$ 의 값을 사용하는 것이 전단벽의 이력거동을 적절히 표현할 수 있었다.

4. 아파트건물의 벽체를 대상으로 한 Push-over 해석

해석을 위하여 선정된 아파트건물은 26평형(84m²) 4세대로 구성된 5층, 10층 및 20층 건물이며, 단변 및 장변방향으로 중요한 부분에 위치한 벽체를 해석대상으로 선택하였다. 아파트건물의 벽체를 대상으로 한 Push-over 해석은 그림5에 나타나 있는 벽체 W1, W2 및 W3에 대해서 층수를 각각 5, 10 및 20층으로 다르게 모델링하여 수행되었다. 벽체의 모델링은 실제 설계된 단면치수와 배근상황과 전단벽 실험체의 해석으로부터 결정한 이력모델 변수 α, β, γ 를 적용하였으며, 벽체에 가해지는 하중조건은 고정하중에 의한 압축응력과 역삼형 분포의 수평력을 대상으로 하였다. 표5에는 20층 아파트건물에서 벽체 W1, W2 및 W3에 대한 설계 밀면전단력계수와 전체건물의 설계 밀면전단력 계수를 비교하여 나타내었다. 벽체 W1의 Push-over 해석으로부터 산정한 밀면전단력계수와 최상부 변형각을 그림5에 나타내었다. 20건물에서 벽체 W1의 설계 밀면전단력 계수는 18.6% 인 반면, Push-over 해석에서 구한 밀면전단력계수는 최상부 변형각이 1.5% 일 때 21.2%로 산정되었다. 한편, 아파트건물이 층수가 낮아짐에 따라 동일한 벽체가 보유하고 있는 밀면전단력계수는 상당한 정도로 커지는 것을 알 수 있었다. 이러한 점은 벽체의 층수가 낮아지면서 지배적인 거동이 전단력에 의해 좌우되면서 덜 연성적인 거동을 하게되는 단점을 보완할 수 있을 것으로 판단된다.

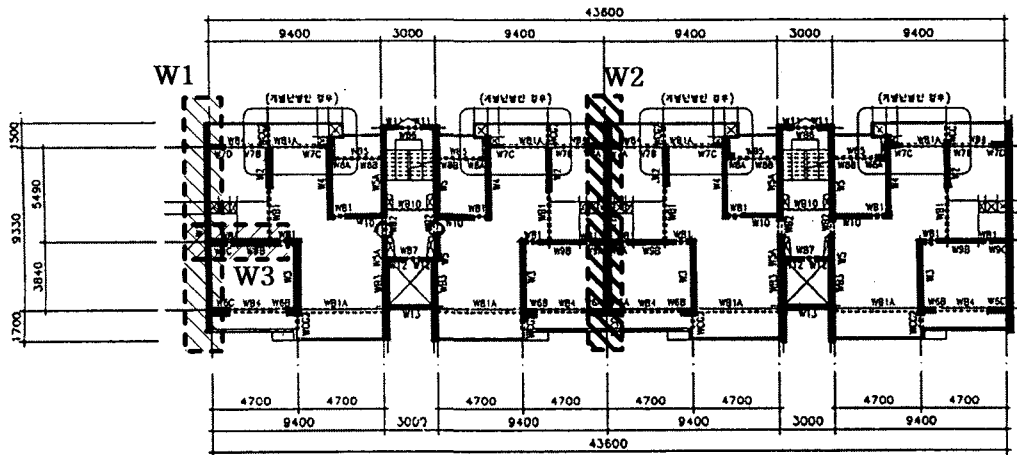


그림4. 벽식구조 아파트건물의 평면도

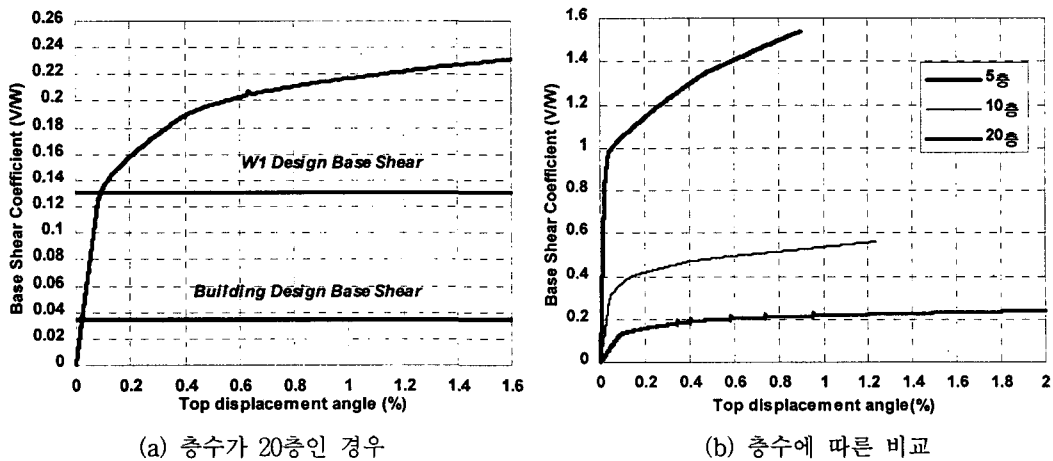


그림5. W1 벽체의 밀면전단력과 최상부 변위의 관계

표5. 20층 아파트건물에 대한 설계 밀면전단력계수

벽체명	Weight (t)	M (t · m)	V (t)	P (t)	$\frac{V}{W}$	$\left(\frac{V}{W}\right)_{Building}$	
						장변방향	단변방향
W1	726.0	1991.5	95.0	726.0	0.131	0.0492	0.0347
W2	802.9	1521.9	117.0	802.0	0.146	0.0492	0.0347
W3	182.9	98.9	45.7	182.9	0.250	0.0492	0.0347

5. 결 론

본 연구에서는 RC 고층건물의 수평강도와 변형능력을 평가하기 위하여 IDARC 4.0의 전단벽 모델을 사용하여 1차적으로 전단벽 실험체의 이력거동을 평가하였고, 아파트건물의 주요 벽체에 대한 Push-over 해석으

로부터 보유수평강도를 조사하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 전단벽의 이력거동 특성을 평가하기 위한 IDARC 4.0 전단벽 모델은 이력모델 변수 α, β, γ 를 사용하여 강성저하, 강도저하 및 핀칭현상을 효과적으로 고려할 수 있으며, 전단벽의 이력거동은 이력모델 변수 $\alpha = 1.9, \beta = 0.0014, \gamma = 0.5$ 의 값을 사용하여 적절하게 평가할 수 있다고 판단된다.

(2) 전단벽 실험체의 해석결과는 항복강도와 최대강도는 양호한 수준으로 예측할 수 있었지만 항복변위는 실험결과보다 작게 평가하고 있어서 초기강성을 과대 평가할 수 있는 것으로 나타났다.

(3) 아파트건물의 주요 벽체에 대한 Push-over 해석결과에 의하면 층수가 낮을수록 밀면전단력계수는 큰 값을 갖는 것으로 나타났다.

(4) 아파트건물의 벽체가 갖는 강도와 변형능력은 향후 다이아프램으로 고려하고 있는 슬래브의 실제 역할을 적합하게 감안하여 추가적으로 연구되어야 한다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 초대형 구조시스템 연구센터와 주택연구소의 지원에 의한 것으로서 이에 감사드립니다. 또한, 전단벽 실험결과의 귀중한 자료를 제공해주신 윤현도 박사님께도 감사드립니다.

참고문헌

1. R.G. Oesterle, A.E. Fiorato, L.S. Johal, J.E. Carpenter, H.G. Russell and W.G. Corley, "Earthquake Resistant Structural Walls-Tests of Isolated Walls," Report to the National Science Foundation, Construction Technology Laboratories, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, November 1976
2. R.G. Oesterle, J.D. Aristizabal-Ochoa, A.E. Fiorato, H.G. Russell and W.G. Corley, "Earthquake Resistant Structural Walls-Tests of Isolated Walls-Phase II," Report to the National Science Foundation, Construction Technology Laboratories, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, November 1979
3. 윤현도, "고강도 철근콘크리트 전단벽의 내진성능," 한양대학교 대학원 박사학위 논문, 1994. 12
4. A. Vulcano, V.V. Bertero, "Analytical Models for Predicting the Lateral Response of RC Shear Walls: Evaluation of the Reliability", Report No. UBC/EERC-87/19, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 1987
5. P. Linde, "Numerical Modeling and Capacity Design of Earthquake-Resistant Reinforced Concrete Walls," Ph.D. Thesis, Swiss Federal Institute of Technology(ETH), April 1993.
6. Sashi K. Kunnath, Andrei M. Reinhorn, and Young J. Park, "Analytical Modeling of Inelastic Seismic Response of R/C Structures", ASCE Journal of Structural Engineering. Vol. 116, No.4 1990. 4
7. S. K. Kunnath, A.M. Reinhorn and R.F. Lobo, "IDARC Version 3.0: A Program for the Inelastic Damage Analysis of Reinforced Concrete Structures", Technical Report NCEER-92-0022, 1992. 8.
8. 오순택, "R/C 전단벽의 지진이력 거동에 관한 연구" 한국콘크리트학회 논문집 제5권 2호, 1993. 6.