

전단벽의 단부보강효과에 따른 변형능력의 평가

Effect of Edge Confinement on Deformation Capacity in the Isolated R/C Structural Walls

이 희 동* 한 상 환** 이 리 형***

Lee, Hee Dong Han, Sang Whan Lee, Li Hyung

ABSTRACT

This paper reports on tests of reinforced concrete shear walls for wall-type apartment structure under axial loads and the cyclic reversal of lateral loads with different confinement of the boundary elements. Confinement of the extreme element by U-stirrups and tie hooks seems to be as effective as closed stirrups. The shear strength capacity seems not to be increased by the confinement but deformation capacity improved.

1. 서론

철근콘크리트 전단벽은 지진발생시 탄성적인 범위내에서 거동하도록 설계하는 것은 비경제적이므로 강진발생시 항복에 의한 소성변형이 생길 수 있도록 설계하는 것이 바람직하다. 따라서, 지진시 전단벽에서 항복하중을 초과하여 소성변형이 일어날 수 있는 부분은 전단벽 전체가 연성적이며 안정적인 이력거동을 하기 위해서 충분한 강도와 연성능력을 확보하도록 설계되어야 한다. 지진으로 인해 비탄성 영역의 큰 변형을 경험하게 되는 철근콘크리트 부재의 거동은 구속된 콘크리트의 거동에 의해 크게 영향을 받게 된다. 즉, 횡보강근에 의한 콘크리트의 구속(confinement)은 압축력을 받는 콘크리트의 강도와 연성을 크게 향상시킬 수 있다. 한편, ACI, UBC, NZS 등의 규준에서는 소성힌지를 통한 전단벽의 연성거동을 확보하기 위해서 치수제한과 횡보강근에 대한 규정을 두고 있으나 국내에서는 여기에 대한 규정이 명확하지 않다. 또한, 현재 국내에서 광범위하게 채택되고 있는 아파트의 구조형식은 벽식구조(shear wall structure)로서 전단벽이 모든 횡력과 연직하중에 저항하도록 설계되어야 하는 상황이다.

따라서, 국내 실정에 맞는 벽식구조 아파트건물에 대한 전단벽의 단부 횡보강근의 효과에 대한 연구를 수행하여 전단벽이 연성적인 거동을 확보하도록 하는 경제적이며 효율적인 설계방법을 개발할 필요가 있다.

* 한양대 건축공학과 대학원 석사과정

** 정회원, 한양대 건축공학부 전임강사

*** 정회원, 한양대 건축공학부 교수

○본 연구는 대한주택공사 주택연구소와 초대형구조시스템 연구센터의 지원에 의한 것으로, 이에 감사드립니다.

2. 본론

2.1 실험체 계획

본 연구를 수행하기 위해 선정된 대상 아파트는 단면에 대한 장변의 길이의 비가 큰 장방형 평면이며 구조형식은 대부분의 전단벽이 단변방향으로 배치된 18평형 4세대와 2개의 계단실로 이루어진 20층의 초고층 아파트이다. 대상 건물의 기준층 평면도는 그림 1에 나타나 있다. 실제 대상 아파트는 국내 내진설계 규준에 준하여 설계되었으며 이 아파트는 지진구역 2에 위치하는 것으로 가정되었다. 아파트 전체와 구조부재의 응력해석은 ETABS 프로그램을 사용하였으며 최하부층의 부재에 대한 설계결과와 전단응력은 표 1과 같다. 실험체는 벽체 양단부를 단부보강근으로 보강하며 기둥의 전단 보강량을 기준으로 하여 $20 d_b$ (d_b 는 철근직경)이상의 정착길이를 가지는 U형 횡보강근과 $6 d_b$ 이상의 135° 의 구부림 각과 90° 의 구부림 각을 가지는 흑크철근으로 양단부를 각각 벽체길이 10%에 해당되는 콘크리트를 구속한 장방형 단면으로 계획하였으며 그림 2에 단면형상과 배근상세를 나타내었다. 이 실험체의 전단스팬비는 등가정적 해석과 El Centro지진의 시간이력해석을 통하여 결정하였으며 그림 3과 같다. 설계시 사용재료 중 철근은 항복강도 $4000\text{kg}/\text{cm}^2$, 콘크리트의 설계기준강도는 $270\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 가정하였다. 벽체에 가해지는 축력은 $0.1f_c'A_g$ 이며 실험변수는 단부구속효과가 변형능력에 미치는 영향을 규명하기 위해 단부보강근 간격은 기둥의 최소 횡보강근의 간격을 기준으로하여 이에 대한 증감의 영향을 파악하고자 계획하였다. 실험체의 치수와 단면특성은 표 2에 나타나 있다.

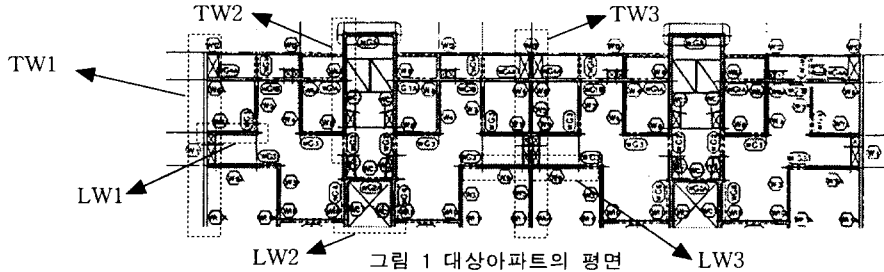


그림 1 대상아파트의 평면

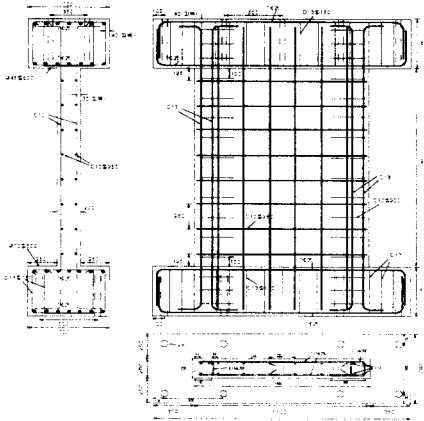


그림 2 기준 실험체의 단면형상과 배근상세

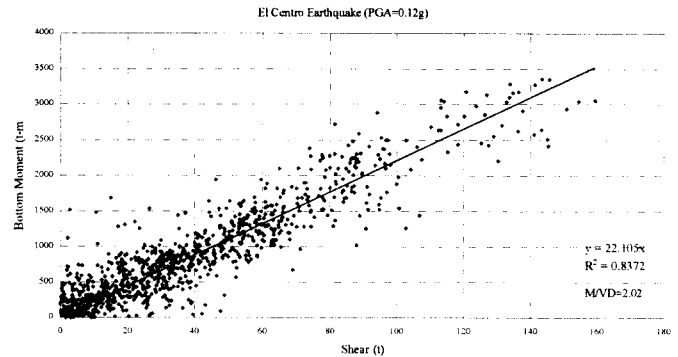


그림 3 시간이력해석에 의한 TW1 1층의 유효 전단스팬비(MVD)

표 1 대상 아파트 1층 벽체의 설계결과와 전단응력

벽체명	실제 벽체의 단면치수	실제 벽체의 각 하중조합중 최대하중	M/VD 등가정적	M/VD 시간이력	단부 보강철근	ρ_v	ρ_h	V_{vm} (t)	V_{fn} (t)	V_n (t)	$\frac{V_n}{0.8l_w t \sqrt{f'_c}}$
TW1	길이: 10.92m 두께: 20cm 높이: 2.6m	P_u : 1492.54t M_u : 1906.6tm V_u : 75.55t	2.31	2.02	4-D13	0.0025	0.0025	428.6	265.2	265.2	0.92
LW1	길이: 2.6m 두께: 15cm 높이: 2.6m	P_u : 218.4t M_u : 135.8tm V_u : 33.6t	1.55	1.49	6-D16	0.002	0.002	91.2	69.4	69.4	1.35
LW2	길이: 2.5m 두께: 20cm 높이: 2.6m	P_u : 268.9t M_u : 124.5tm V_u : 56.8t	1.51	1.17	4-D13	0.0025	0.0025	157.1	92.4	92.4	1.41
TW2	길이: 5.45m 두께: 20cm 높이: 2.6m	P_u : 493.5t M_u : 266.7tm V_u : 22.7t	3.02	1.94	4-D13	0.0014	0.002	169.9	79.8	79.8	0.56
TW3	길이: 9.72m 두께: 18cm 높이: 2.6m	P_u : 1037.4t M_u : 1100.7tm V_u : 70.6t	2.56	1.85	4-D13	0.0024	0.0024	403.1	172.7	172.7	0.75
LW3	길이: 5.6m 두께: 15cm 높이: 2.6m	P_u : 530.3t M_u : 938.1tm V_u : 67.2t	2.51	2.16	6-D19	0.002	0.002	151.2	110.8	110.8	1.00

표 2 실험체의 치수와 단면특성

실험체명	벽체길이 l_w (cm)	벽체높이 h_w (cm)	벽체두께 h (cm)	유효 전단스팬비 (M/VD)	축력 ($N/A_g f'_c$)	단부 보강근	수평철근비 ρ_h	수직철근비 ρ_v	단부 횡보강근
W1	150	200	20	2.0	0.10	4-D13	0.0028	0.0028	D10@200
W5	150	200	20	2.0	0.10	4-D13	0.0036	0.0028	D10@100
W6	150	200	20	2.0	0.10	4-D13	0.0028	0.0028	없음

2.2 실험체 설치상황

실험체의 설치상황은 그림 4에 나타나 있으며 20층 아파트 1층의 고정하중에 해당하는 수직하중이 2개의 Actuator를 통해 가해지며 반복적인 수평하중은 반력벽에 설치된 1개의 Actuator로 실험체 상부에 설치된 하중 가력보를 통해 실험체에 가력된다. 면의 좌굴을 방지하기 위해 실험체 양단부에 좌굴 방지용 기구를 설치하였다. 실험체의 외부변형을 측정하기 위해 설치된 LVDT와 내부의 변형상태를 측정하기 위한 Wire strain gauge의 설치상황은 그림 5와 같다.

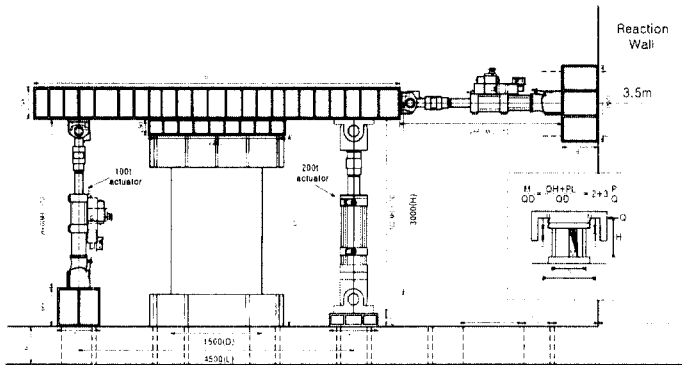


그림 4 실험체 설치상황

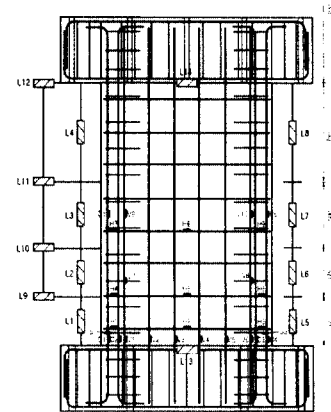


그림 5 실험체 측정장치 설치상황

2.3 실험체의 예상내력

실험체의 설계강도 (V_n)는 ACI 318-95에 준하여 공칭휨강도(M_n)에 상응하는 전단강도(V_{fn})와 공칭 전단강도(V_{vm})를 구하여 둘중 작은 값으로 구하였다. 공칭휨강도(M_n)는 실험체의 벽체 길이방향에 걸쳐 변형율이 선형으로 분포하며 콘크리트의 최대 압축변형율을 0.003으로 가정하여 구하였으며 철근의 변형경화의 효과는 무시하였다. 실험체의 가해진 횡력의 크기와 분포를 알기 때문에 공칭휨강도에 대응하는 전단강도(V_{fn})를 구할 수가 있다. 공칭전단강도(V_{vm})는 ACI 318-95에 준하여 식 (1), (2)로 구해졌다.

$$V_{vm} = \left(0.88\sqrt{f'_c} \quad hd + \frac{N_u d}{4l_w} \right) + \frac{A_v f_y d}{s_2} \quad (1)$$

$$V_{vm} = \left[0.16\sqrt{f'_c} + \frac{l_w(0.33\sqrt{f'_c} + 0.2 N_u/l_w h)}{M_u/V_u - l_w/2} \right] hd + \frac{A_v f_y d}{s_2} \quad (2)$$

이 식들에서, 단위는 kg/cm^2 이며 h 는 전단벽의 두께, d 는 전단벽의 유효춤, l_w 는 벽체의 길이, N_u 는 계수를 적용한 축하중, s_2 는 수평전단 보강근의 수직간격이다. 하지만 ACI에 의한 이 식들은 단부 보강 효과를 고려하지 않고 있다. 표 3에 계산된 실험체의 예상내력이 나타나 있다. 그림 4는 기준 실험체에 대하여 철근의 응력-변형율을 삼선형(trilinear)으로 모델링하고 콘크리트의 압축응력을 포물선으로 가정하여 $0.1f'_c A_g$ 축력하에서의 계산된 단면의 모멘트-곡률 관계를 보여준다.

표 3 실험체의 예상내력

실험체명	V_{vn} (t)	M_n (t·m)	V_{fn} (t)	V_n (t)	$\frac{V_n}{0.8l_w t \sqrt{f'_c}}$
W1	50.89	99.02	33.01	33.01	0.84
W5	57.71	99.02	33.01	33.01	0.84
W6	50.89	99.02	33.01	33.01	0.84

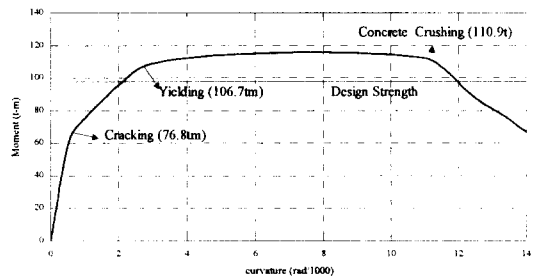


그림 4 기준 실험체의 모멘트-곡률 상관관계

3. 결론

이상과 같은 벽식구조 아파트건물의 최하부층을 대상으로 선정된 실험체의 강도와 변형능력의 평가로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) ACI에서는 폐쇄형 스티럽을 사용하도록 하고 있으나, 우리나라의 시공현실에 감안한 U형 스티럽과 흑크철근을 이용하여 벽체의 양단부를 기둥식으로 보강할 경우, 구속효과는 충분할 것으로 판단된다.
- (2) 벽체 양단부의 구속효과는 전단벽의 전단내력을 향상시키지는 못하는 것으로 예상된다.
- (3) 벽체 양단부에 배근된 단부횡보강근의 간격이 조밀함에 따라 벽체의 변형능력은 크게 향상된다.
- (4) 국내규준에서는 벽체 양단부의 콘크리트를 유효하게 구속시키기 위한 배근상세가 아직 제시되어 있지 않으므로 여기에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. R.G. Oesterle, A.E. Fiorato, W.G. Corley, "Reinforcement Details for Earthquake-Resistant Structural Walls"
2. 대한주택공사, "전단벽의 양단부 기둥식 보강기법 연구"
3. D. Lefas, D. Ktsovos, "Strength and Deformation Characteristics of Reinforced Concrete Walls or under Load Reversals"