

# 개구부가 있는 전단벽의 구조성능 평가

## A Study on the Structural Performance of Reinforced Concrete Shear Walls with An Opening

최현기\*      최윤철\*\*      최창식\*\*\*      이리형\*\*\*\*

Choi, Hyun-Ki   Choi, Youn-Cheul   Choi, Chang-Sik   Lee, Li-Hyung

### Abstract

Nowadays, increase of demands on efficient utilization of resources while construction process stimulates structural engineers to select remodeling to improve old buildings. To analyze the effects of openings that may be installed in the course of remodeling old buildings, an experimental research was carried out using four approximately half scale of specimens subjected to constant axial forces, and cyclic loading to simulate seismic conditions. Consequently, the existence of opening was verified to induce different observed damages, which caused by reduction of compression strut support formed on the surface of wall. Especially, the maximum force was revealed to decrease approximately 35% as openings were existed. As this tendency was appeared with stiffness and energy dissipation capacity.

### 1. 서론

최근의 건설업계는 장기화된 불황과 함께 부동산에 관련된 각종 규제 강화로 신축 혹은 재건축보다 기존의 건축물에 대한 리모델링을 선호하고 있으며 발코니 확장에 대한 합법화로 리모델링에 대한 요구는 늘어날 것으로 예상된다. 이와 더불어 건축물의 리모델링은 재건축과 비교하여 그 비용이 적게 소요되며, 폐기물의 배출이 적어 비용적인 측면 뿐 아니라 환경적인 측면에서도 유리한 방법이다. 리모델링은 사용자의 요구에 따라 철거 혹은 주요구조 부재에 인위적인 손상을 가하게 된다. 특히 벽식 구조 아파트에서 세대간 병합을 위해 내력벽에 개구부를 설치하는 경우, 그 개구부가 구조체 전체에 미치는 영향은 매우 크다. 그러나 현행 UBC 및 ACI 기준에서는 대칭이나 비대칭형 벽체의 설계에 대한 규정은 명시하고 있으나, 개구부를 갖는 전단벽에 대한 설계방법은 제시되어 있지 않다.

지진의 우려가 높은 일본에서는 개구부의 영향에 따른 전단벽의 거동 및 지진 지역에서의 개구부 보강 상세에 관한 연구를 80년대 중반부터 青山博之<sup>(1)</sup>의해 진행되어 왔으며, 최근에 이르러 小野正行<sup>(2)</sup>는 개구부를 갖는 전단벽에서 재하속도에 의한 영향을 연구 보고하고 있다. 또한 Wallace와 Taylor<sup>(3)</sup> 등은 벽체의 저면에 개구부를 갖는 휨 항복형 벽체에 대한 휨거동 규명 및 변위기초설계법에 따른 경계부재의 횡보강근량 산정방법을 검증하기 위한 실험 연구를 실시하였으며, J.I.Daniel<sup>(4)</sup>은 6층의 벽에 개구부를 설치하여 개구부가 있는 내진 전단벽에 대한 설계 기준과 보강상세를 검토하여 개구부가 있는 벽체 설계

\* 정회원, 한양대학교 건축공학과 석사과정

\*\* 정회원, 한양대학교 STRESS 센터 연구 조교수, 공학박사

\*\*\* 정회원, 한양대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

\*\*\*\* 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수, 공학박사

시의 권장사항을 보고하였다.

따라서 본 연구에서는 공동주택을 대상으로 인접세대간의 벽을 철거하여 세대를 병합하는 세대병합형 리모델링 공사에서 기존벽에 개구부를 설치하는 경우 내력벽의 손상 이전과 손상 이후의 구조성능을 비교 분석하여 인위적 손상을 가한 내력벽의 응력손실에 따른 거동 특성을 평가하고자 한다.

## 2. 실험체 계획, 설치 및 측정 장치

실험대상 건물은 그림 1과 같은 1980년도 초반 한국주택공사에서 임대주택으로 설계 및 시공한 18평 벽식 아파트를 대상으로 하였으며 실험대상 부위 벽체는 세대간벽을 이상화하였다. 또한, 스케일의 영향을 고려하여 본 연구에서는 1/2 축소모델을 제작하였다. 벽체에 배근된 철근비는 실제연구 대상 부위에 대한 철근비 및 간격을 반영하여 계획하였다. 실제 적용시 시공성을 고려하여 모든 실험체는 수직 타설 및 분리타설 하였으며, 벽체의 부분적인 절단시 예상되는 충격 및 진동에 의하여 벽체가 손상을 받을 것으로 예상되어 실험체 제작시 미리 소요의 개구부가 확보될 수 있도록 거푸집을 조립하였다.

수평하중은 실험체의 가력보와 동일한 높이의 반력벽에 설치된 200ton 용량의 Actuator에 의하여 가력하였다. 또한, 축력은 실험체 상부 프레임에 연결되어 있는 2대의 100ton 용량의 Actuator를 사용하여 실험체 단면적의 10%( $0.1 f_{ck} A_g$ )로 실험 종료시까지 일정하게 가력하였다. 이때 벽판의 내외 좌굴을 방지하고, 실제 건물에서 각층 슬래브의 격막작용(Diaphragm) 효과를 고려하기 위하여 실험체 상부 횡가력보에 좌굴 방지용볼 지그(Guide beam and ball jig)를 설치하였다.

표 1 실험체 일람

실험체	개구부 유무	개구부 크기(mm)	개구부 면적비 (%)	$f_{ck}(Mpa)$	철근		$l_w \times h_w \times t$		
					수직	수평			
Prototype	x	-	-	21.23	D6@225	D6@225	3000	1300	100
WB-0.23	o	900x1050	23%		D6@225	D6@225	3000	1300	100

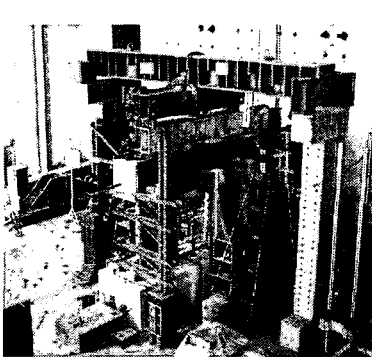
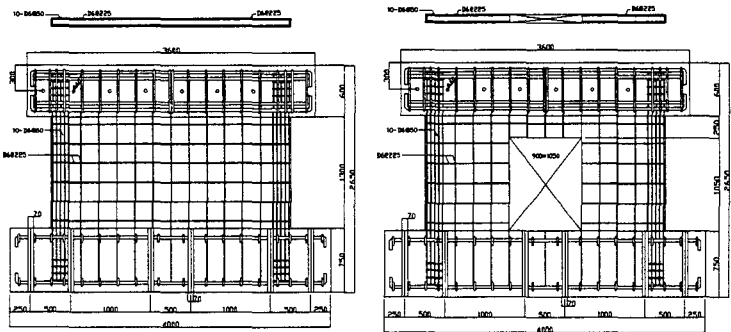


그림 1 실험대상 건물 평면



(a)

(b)

그림 2 실험체의 배근 및 상세 : (a) Prototype, (b) WB-0.23

## 3. 실험 결과 및 분석

### 3.1 실험체 거동 및 최종 파괴 상황

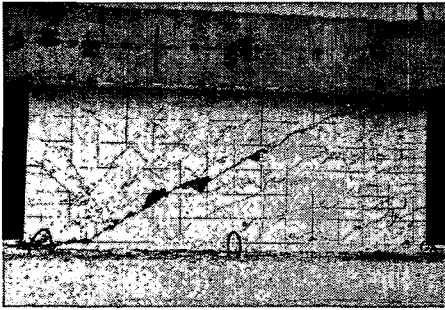
각 실험체에서 벽체는 휨 파괴 보다는 전단 파괴가 주요 파괴모드로 나타났으며, 각 실험체의 파괴형상은 그림 3과 같다. 실험체에 대한 점중반복 가력의 하중-변위 곡선을 그림 4에 나타내었다. 변위는 벽체 의 가력 지지점에서 측정된 값이다. 그림 4에서와 같이 개구부가 설치되지 않은 Prototype의 경우 740kN에서 최대 내력을 보였으며, 이후 급격한 강도 및 강성 저하는 보이지 않았다. 이에 비해 벽체 면적의 23%의 개구

부를 갖는 WB-0.23 실험체의 경우 최대내력은 540kN로 나타났으며, 이후 하중이 급격히 감소하는 취성

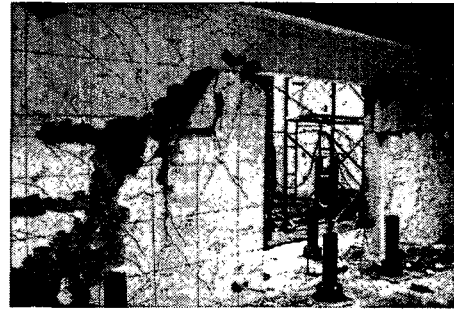
표 2 실험결과

실험체	$V_y$ (kN)	$V_{max}$ (kN)	$\Delta_y$ (mm)	$\Delta_u$ (mm)	$\mu$	$R_y$ (rad.)
Prototype	560	740	8	12	1.5	0.009
WB-0.23	420	560	7	10	1.4	0.007

$V_y$ : 항복하중,  $V_{max}$ : 최대하중,  $\Delta_y$ : 항복변위,  $\Delta_u$ : 최대변위,  $\mu = \Delta_u / \Delta_y$ : 변위연성비,  $R_y$ : 항복부재각,

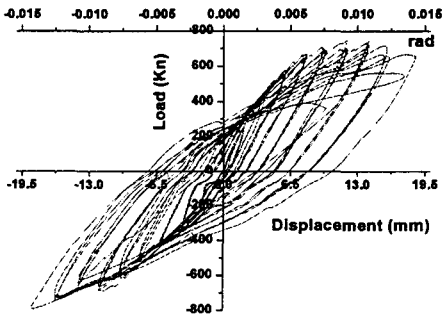


a) Prototype

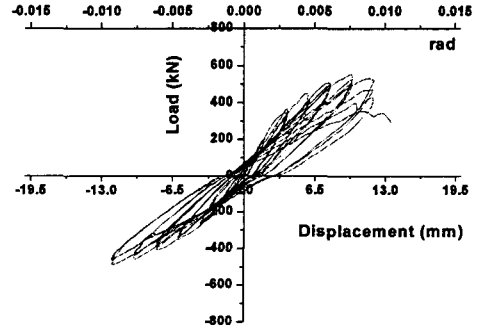


b) WB-0.23

그림 3 최종파괴 상황



a) Prototype



b) WB-0.23

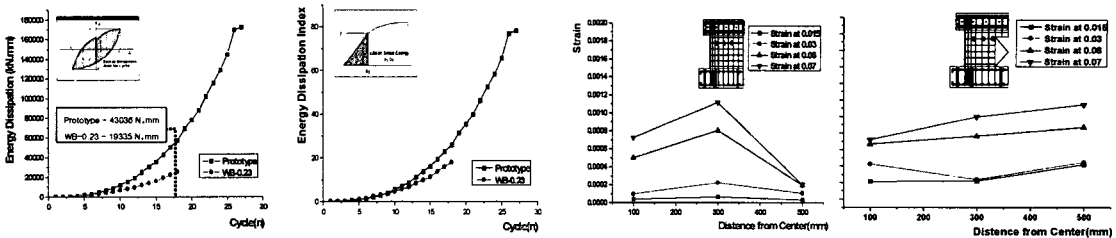
그림 4 하중-변위 관계 곡선

적 거동을 나타내었다. 이는 기준 실험체에 비해 약 35%의 내력 저하를 나타낸 것으로서 이는 개구부에 따른 벽체의 유효단면 감소에 의한 내력 저하로 판단된다. 따라서 개구부 유·무에 따른 전단벽체에서 내력의 크기는 면적비에 따라 비례하는 것으로 나타났다.

### 3.2 에너지 소산능력

그림 5(a)는 철근콘크리트 부재의 중요한 주기거동 특성 중의 하나인 에너지 소산능력을 확인하고자 하중-변위의 주기곡선으로 둘러싸인 부분의 면적을 산정하였다. 13사이클(부재회전각 0.007rad)까지는 거의 동일한 소산 능력을 발휘하고 있으며 이후 Prototype의 경우 선형적으로 증가하고 있는 반면 WB-0.23의 경우 증가율이 매우 둔화되었다. 각 실험체의 누적에너지 소산면적은 동일 사이클에서(n=16)에서 Prototype의 경우 43,036N·mm이며 손상을 입은 시험체인 WB-0.23의 경우는 19,335N·mm로 개구부로 인해 손상을 입은 실험체가 약 55%작게 나타났다. 그림5(b)는 Darwin과 Nmai<sup>(5)</sup> 등이 제안한 에너지 소산지표를 비교하여 나타낸 것으로, 초기 균열이 발생되기 전에는 모든 실험체의 누적에너지 소산 지수의 범위는 10사이클까지 0.09 ~ 5.4 내외로 대등한 수치를 보이고 있다. 그러나 WB-0.23 실험체의 경우 최종

파괴직전의 소산지수는 기준 실험체에 비해 약 31%작게 나타났다.



a) 누적에너지 소산능력      b) 에너지 소산지표  
 그림 5 에너지 소산특성      a) Prototype      b) WB-0.23  
 그림 6 개구부로 인해 손상을 입은 철근의 변형률

### 3.4 철근의 변형률

그림 6은 개구부 설치로 인해 손상을 입은 철근의 변형률 분석을 나타낸 것이다. 개구부가 설치되는 임계의 위치에서 철근의 변형률을 관찰한 결과 기준 시험체인 Prototype의 경우 철근의 변형률은 위치에 따라 비슷한 경향의 증가율을 보였다. 그러나 개구부 설치로 인해 절단된 철근의 경우 동일 부재각 0.007rad에서 철근의 변형률은 기준 실험체 보다 28% 낮은 변형률을 보였다. 이는 절단된 철근의 경우 정착길이 감소에 의한 부착능력 감소에 따라 철근의 인장 부담능력의 상실로 사료된다.

### 4. 결론

- 1) 개구부 설치를 위해 인위적으로 손상을 가한 시험체 WB-0.23의 경우 최대 내력은 손상전에 비해 35%의 강도 저하 특성을 보였다. 이는 개구부 설치로 인해 절단되는 철근의 능력 상실과 개구부로 인한 콘크리트의 유효 단면적의 감소로 인해 벽체에 개구부를 설치할 경우에는 개구부가 벽체의 거동에 영향을 주는 것으로 확인되었다.
- 2) 개구부를 갖는 WB-0.23 실험체의 경우 기준실험체에 비해 에너지소산 능력이 기준 실험체에 비해 현저히 작게 나타나고 있는데 이는 손상을 입은 철근의 강성 감소와 개구부로 인한 콘크리트의 단면손실에 따른 것으로 판단된다.
- 3) 개구부 설치를 위해 인위적으로 절단된 벽체 철근의 변형률은 개구부 영역에서 철근의 절단으로 인한 소정의 정착길이가 소실되어 부착성능의 감소로 철근의 변형 능력을 충분히 발휘할 수 없었으며, 이에 따른 적절한 보강방법이 필요한 것으로 사료된다.

### 감사의 글

이 연구는 건설교통부에서 시행한 2003 건설핵심기술연구개발사업 「철근콘크리트 벽식 구조 아파트의 환경친화적 리모델링 기술개발」(과제번호 : 03산학연 A07-09) 연구과제의 일환으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 青山博之, “鐵筋コンクリート造開口耐震壁の補強設計法に関する研究”, 東京大學青山研究室, 1991.
2. 小野正行, “鐵筋コンクリート造有開口耐震壁の弾塑性性狀に関する研究”, 近畿大覺 博士學位論文, 2000.
3. Taylor. C. P., and Wallace. J. W., “ Design of Slender Reinforced Concrete Walls with Openings” Report No. CU/CEE-95/13, Dept. of Civil and Environmental Eng'g, Clarkson Uni., Posdam, Ne York, 1995.
4. By J. I. Daniel., K. N. Shiu., and W. G. Corle., “ Openings in Earthquake-Resistant Structure Walls” Journal of Structural Engineering, Vol,112, No.7, July, 1986, pp. 1660-1676.
5. Darwin, D, and Nmai, C.K, “Energy Dissipation in RC Beams under Cyclic Load”, Journal of Structural Div, ASCE, Vol. 112, No.8, Aug 1986, pp. 1829-1846.