



## 슬래브가 있는 전단벽의 구조적 거동에 대한 개구부의 영향

최윤철<sup>1)</sup> · 최현기<sup>1)\*</sup> · 최창식<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>한양대학교 건축공학부

## Influence of Openings on the Structural Behavior of Shear Walls with Slabs

Youn-Cheul Choi<sup>1)</sup>, Hyun-Ki Choi<sup>1)\*</sup>, and Chang-Sik Choi<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Dept of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

**ABSTRACT** An experimental investigation was conducted with half-scale representations of the reinforced concrete shear walls with the opening subjected to cyclic loads. Specimens were half scale representations of a one-story wall in the apartment built in 1980. The area ratio of the opening section, as well as the size and critical section of coupling slabs, were decided based on results from a previous researches. The test result of WS-0.23 specimen, which has artificial damages to install the opening, the strength of the wall decreased due to the opening. It is apparent that influence of cutting reinforcing bars and decrease of effective section area lead to early first yield of the reinforcing bars before the allowable limit of drift ratio of the shear walls was reached. Therefore, proper reinforcing method is needed to prevent this. The decrease of strength of the shear walls by installation of openings shows a great deal of difference compared to previous researches. This is because flexural capacity of the slabs is working as coupling elements for the shear walls. The critical section of coupling slabs that works as coupling elements for shear walls was a little different from the results of previous researches.

**Keywords** : coupling slab, deformation capacity of coupling element, opening, shear wall, apartment building

### 1. 서 론

점차 심화되는 택지난을 감안할 때 향후 국내의 주택 건설 산업은 신규 택지개발에 의한 주택 공급 방식보다는 기존 주택의 개량이나 재건축을 통한 주거환경의 개선과 공급에 더 큰 비중을 둘 수밖에 없으며, 현재 그러한 추세가 급격하게 확산되고 있다.

이와 더불어 건축물의 리모델링은 재건축과 비교하여 그 비용이 적게 소요되며, 폐기물의 배출이 적어 비용적인 면 뿐 아니라 환경적인 면에서도 유리한 방법이다. 리모델링은 사용자의 요구에 따라 철거 혹은 주요 구조 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 설계 방법은 제시되어 있지 않다<sup>1)</sup>.

이러한 벽식 구조에서 전단벽 사이에 개구부가 있는 경우 슬래브는 응력이 바닥판의 전폭에 균일하게 분포하

지 않고, 개구부로 인하여 개구부 주위에 응력이 집중되는 경향이 있다. 또한 개구부 주위의 연결부재 (연결보, 슬래브)가 양측 전단벽 간의 병렬 (coupling) 작용을 할 수 있도록 충분한 강도와 강성을 갖지 못할 경우, 수평력에 저항하는 벽식 구조 시스템의 구조 성능에 많은 문제점을 초래하며<sup>2)</sup>, 특히 개구부의 크기와 차이에 따른 연결보의 단면 변화로 인한 강도, 강성, 연성 등의 차이는 지진 등 수평하중에 대해 구조적으로 문제점을 일으킬 수 있다. 이에 Coull<sup>3)</sup>, Paulay & Taylor<sup>4)</sup>, Schwaighofer<sup>5)</sup> 등은 연결부재 즉, 슬래브의 유효폭 산정 및 보강 방법을 위한 실험을 통해 외부 횡력에 저항하는 연결 슬래브의 모멘트 능력을 제시하였다. 이에 본 연구에서는 부분 구조체 실험을 통하여 슬래브를 가지는 국내 벽식 구조에서 개구부 유무에 따른 벽체의 거동 특성과 슬래브의 변형 정도를 분석하여 효과적인 보강기법 및 보강량 산정을 위한 설계 자료를 제공하고자 한다.

### 2. 실험 계획 및 방법

#### 2.1 실험체 계획 및 제작

실험 대상 건물은 Fig. 1과 같은 1980년도 초반 대한 주택공사에서 임대주택으로 설계 및 시공한 18평 벽식

\*Corresponding author E-mail : chk7796@naver.com

Received October 23, 2006, Accepted October 20, 2007

©2008 by Korea Concrete Institute

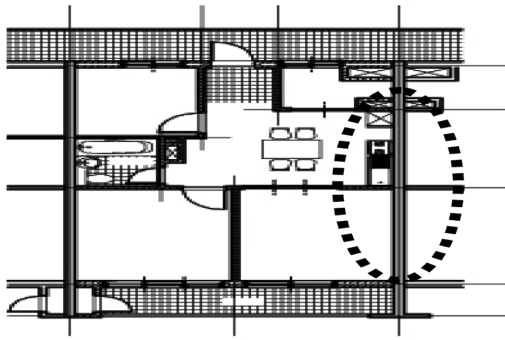


Fig. 1 Plan of prototype building

아파트이며, 본 연구에서는 이 소형 임대주택을 대상 건물로 선정하여 점선 부위의 세대 간 벽에 세대병합을 위하여 개구부를 설치함으로써 중형 아파트로 리모델링할 경우를 가정하였다. 개구부 면적비 (개구부 면적/벽체의 면적)는 선행 연구 결과<sup>6)</sup>를 반영하였다. 선행 연구 결과는 Table 1과 같으며 노후주택의 리모델링시 개구부 면적비 30% 이상인 경우는 구조적으로 많은 문제를 발생시키며, 목표 강도까지 보강하는 것도 비현실적인 것으로 판단되었다. 따라서 개구부의 크기는 폭 900 mm, 높이 1,050 mm로써 개구부 면적비가 23%인 실험체를 계획하였다. 슬래브의 크기 및 유효폭은 개구부 폭의 1/2과, 슬래브 두께의 8배로 산정된 연구 결과<sup>6,7)</sup>를 토대로 슬래브의 모멘트가 반전되는 반곡점의 위치에서 절단하여 제작하였다.

슬래브 및 전단벽체는 실제 대상건물의 전단벽체 및 슬래브 두께를 참고로 하여 제작하였으며, 배근된 철근비는 실제 연구 대상 부위에 대한 철근비 및 간격을 반영하여 계획하였다.

실험체의 구성은 전단벽체에 인위적으로 개구부를 설치시 개구부로 인한 전단벽체의 단면 변화와 철근 절단에 의한 전단벽체의 거동 특성의 변화를 알아보려고 하였으며, 개구부 설치시 발생하는 연결부재의 응력 재분배 효과 및 특성을 알아보려고 슬래브를 설치하였다. 또한 횡력이 작용하는 전단벽체에서 개구부 상부의 연결부재 즉 연결보의 영향을 고려하기 위해 개구부 상부를 강

Table 1 Test result of existing researcher<sup>6)</sup>

Specimen	Area of opening ratio (%)	Strength degradation (%)	Etc.
Prototype wall	0	-	Ver. steel: D6@225 Hor. steel: D6@225
Wall I-0.23	23	30	
Wall I-0.30	30	50	
Wall I-0.39	39	70	

Table 2 List of specimens

Specimen	Opening	Slab	Opening size (mm)	Area of opening ratio (%)	$f_{ck}$ (MPa)	Steel of wall		Steel of slab		$l_w \times h_w \times t_{wall} \times t_{slab}$ (mm)
						Ver.	Hor.	Ver.	Hor.	
WS - soild	×	○	-	-	21.23	D6@225	D6@225	D6@120		3,000 × 2,030 × 100 × 80
WS - 0.23	○	○	900×1,050	23				-		
WB - 0.23	○	×						-		3,000 × 1,300 × 100

체로 제작한 실험체를 포함시켰다.

지진하중과 같은 반복 수평하중에 대한 전단벽의 구조 거동 평가를 위하여 제작한 3개의 실험체에 대하여 실제 적용시 시공성을 고려하여 모든 실험체는 수직타설 및 분리타설 하였다. 기존 벽체를 부분적으로 절단하여 설치되는 개구부는 실험체가 1/2 규모로 축소 제작됨에 따라 벽체의 두께가 100 mm로 절단장비를 이용하여 벽체의 부분적인 절단시 예상되는 충격 및 진동에 의하여 벽체가 손상을 받을 것으로 예상되어 실험체 제작시 미리 소요의 개구부가 확보될 수 있도록 거푸집을 조립하였다. 개구부가 설치되는 부위의 철근은 별도로 정착하지 않았으며 개구부 주변은 특별히 보강하지 않았다. 실험체의 일람은 Table 2와 같으며 Fig. 2에 실험체 상세 및 제원을 나타내었다.

## 2.2 재료 시험 및 실험 방법

실험체 제작에 사용된 콘크리트의 압축강도와 철근의 인장강도에 관한 재료시험 결과를 Tables 3, 4에 정리하여 나타내었다.

실험 방법은 Fig. 3과 같다. 수평하중은 실험체의 가력보와 동일한 높이의 반력벽에 설치된 2,000 kN 용량의 액츄에이터에 의하여 가력 하였다. 또한 축 응력은 실험체 상부 프레임에 연결되어 있는 2대의 1,000 kN 용량의 액츄에이터를 사용하여 벽체 단면적의 10% ( $0.1f_{ck} A_g$ )로 실험 종료시까지 일정하게 가력 하였다. 이때 벽판의 내외 좌굴을 방지하고, 실제 건물에서 각층 슬래브의 격막 작용 (diaphragm) 효과를 고려하기 위하여 슬래브 측면에 좌굴 방지용 볼 지그 (guide beam and balljig)를 설치하였다. 반력벽에 설치된 수평하중 가력용 2,000 kN 액츄에이터와 실험체 상부 가력보를 일체화하기 위하여 실험체 상부 보에 이미 설치된 볼트 구멍을 이용하여 가력형강과 플레이트를 볼트 집합하여 가력형강과 실험체 상부 콘크리트 보의 상대 미끄러짐 변위를 최소화하였다.

횡력의 가력 방식은 Fig. 4와 같이 실험체의 횡변위를 가력점의 높이로 나누어준 부재각 (1/1000, 1/500, 1/300, 1/250, 1/200)으로 제어 되었으며, 각각의 부재각별로 3회 변위 사이클 (cycle)이 진행되도록 제어되었다. 실험체 내부의 응력 분포, 철근의 변형 상태와 실험체의 항복을 결정하기 위하여 변형 게이지 (wire strain gage)를 주요 수직, 수평철근에 부착하였으며 실험체의 항복은 벽체 양단부에 위치한 휨 철근의 변형률이 항복변형률에 도달한 시점으로 평가되었다.

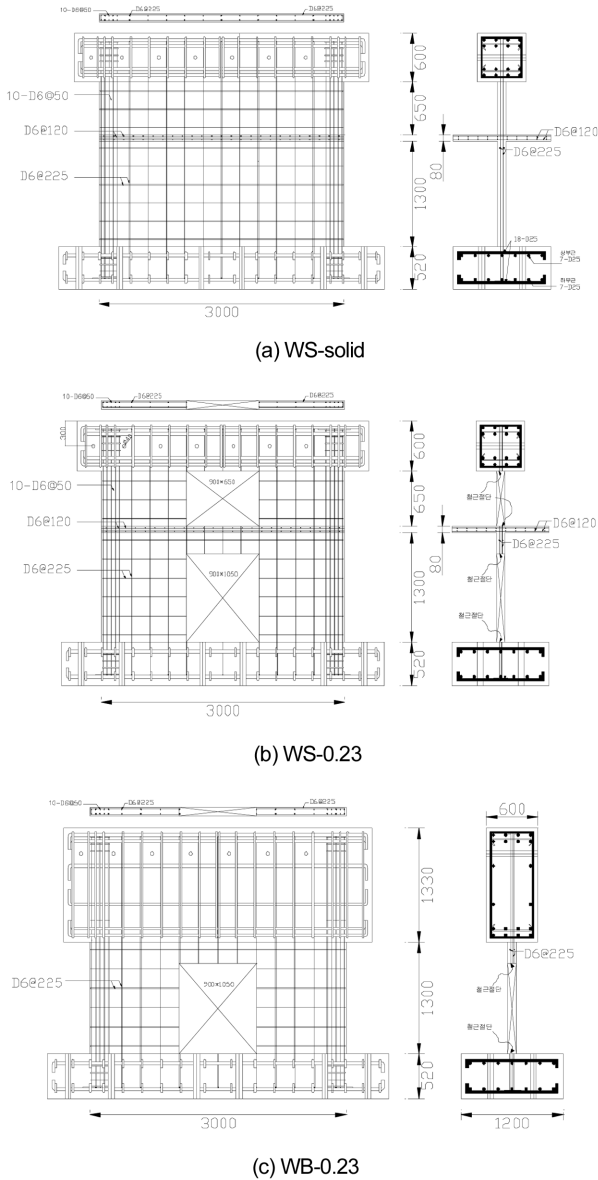


Fig. 2 Details of specimens (unit : mm)

Table 3 Material properties of steel

Materials	Yield strength (MPa)	Yield strain, $\epsilon_y$	Tensile strength (MPa)	Poisson's ratio
D6	291.19	0.0019	375.01	0.28

Table 4 Material properties of concrete

Materials	Compressive strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Maximum strain, $\epsilon_u$	Poisson's ratio
Concrete	21.23	21.92	0.00171	0.15

### 3. 실험 결과 및 분석

#### 3.1 균열 및 파괴 양상

각 실험체의 파괴모드는 개구부가 없는 WS-solid의 경우 초기 휨 균열이 발생하였으나 그 후 전단파괴가 주 파괴모드로 나타났으며, 집중 가력됨으로써 중앙의 전단 균열로 발전하여 전면의 전단균열과 벽체 하부의 압괴로

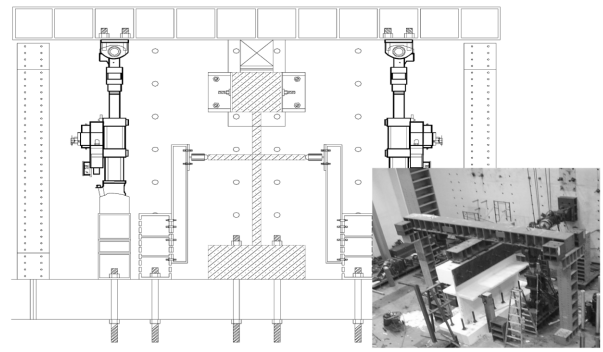


Fig. 3 Setting for test

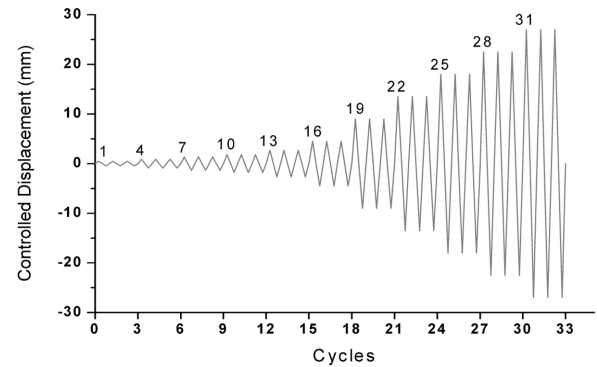


Fig. 4 Applied displacement history

중국 파괴되었다. 개구부가 있는 WS-0.23, WB-0.23의 경우 휨과 전단균열이 동시에 발생하였으며 그 균열이 실험 종료까지 계속되었다. 각 실험체의 파괴 형상은 Fig. 5와 같다. 개구부가 없는 WS-solid 실험체의 균열 양상은 벽체의 넓은 면을 따라 비교적 고르게 분포하였으며 슬래브의 균열도 슬래브 전단면에 고르게 분포되었다. 또한 하중 증가에 따른 급격한 균열의 확산은 나타나지 않았으나 실험 중반 (변위 6 mm) 이후 나타난 전단 균열의 폭이 증대 되었으며 콘크리트의 박리와 벽체 하부 단부에서 부분적인 압괴로 최종파괴 되었다. 반면 개구부가 있는 WS-0.23 실험체의 균열은 부재각 1/300~1/150에서 벽체 개구부의 모서리와 연결 슬래브에서 초기균열이 발생하였으며, 횡변위가 증가함에 따라 벽체의 양 측면에서 다수의 휨균열이 증가되었다. 또한 슬래브의 균열은 개구부 주변에 집중되어 U자형 형태의 균열 형태로 발생되었으며, 하중의 증가에 따라 슬래브의 균열의 폭과 수가 증가되고 균열의 길이가 길어지면서 개구부와 멀리 떨어진 부분까지 이어지는 현상을 보여주었다.

WS-solid와 WS-0.23의 초기균열은 벽체 단부에서 발생하여 중앙부로 발전하였으며 대체적으로 비슷한 양상을 보였으나 WS-solid의 경우 중앙부의 균열이 발전하여 전단파괴를 보인 반면 WS-0.23의 경우 초기 발생된 휨-전단 균열로 중국파괴 되었으며 개구부로 인한 응력 집중 현상이 나타났다.

개구부 상부를 강체로 계획한 WB-0.23 실험체의 경우 WS-0.23 실험체와는 다른 결과를 보였다. 하중의 증가에 따라 벽체 전면에 휨 및 전단균열이 발생하였으며

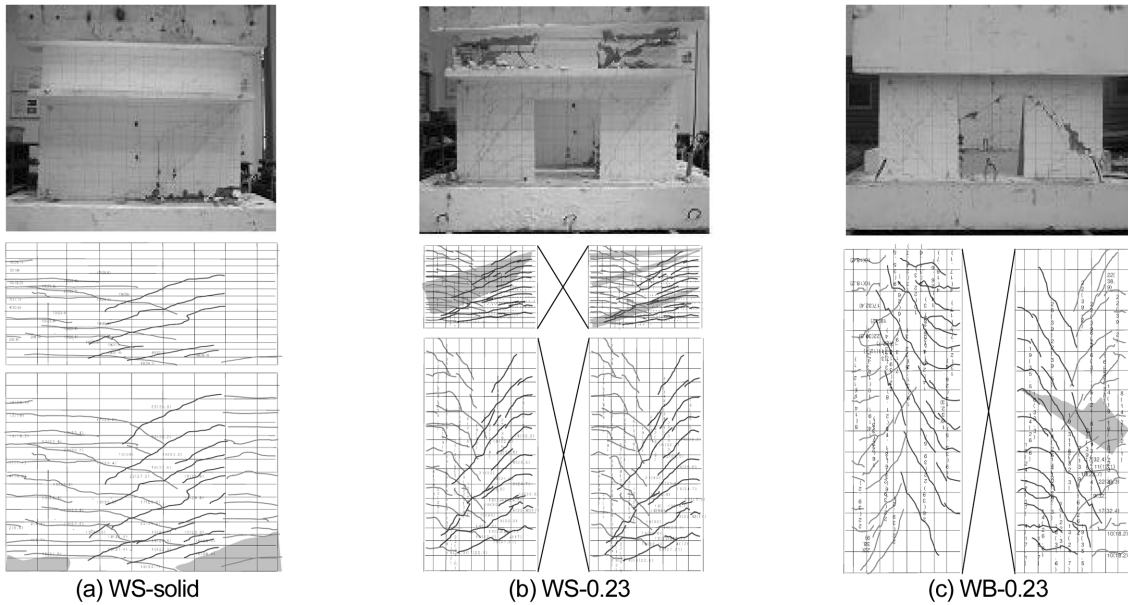


Fig. 5 Crack patterns and failures of specimens

실험 후반의 상부 가력보의 중량에 의해 벽체에 비틀림 현상이 발생하여 이미 발생된 균열이 급격히 발전함으로써 내력이 급격하게 저하되는 취성적 파괴 양상을 보였다.

### 3.2 하중-변위 관계

실험체의 하중-변위는 Fig. 6과 같다. 개구부가 설치되지 않은 WS-solid 실험체의 경우 520 kN의 최대 내력을 보였으며, 최대 내력 이후 벽체 전면의 전단균열과 벽체 하부의 압괴로 인하여 내력이 감소되었다. 또한 개구부가 설치된 WS-0.23 실험체의 경우 500 kN으로 개구부 유무에 따른 내력 저하의 영향은 크게 나타나지 않았다. 이는 슬래브를 설치하지 않고 벽체의 개구부 유, 무에 따라 30%의 내력 감소를 나타낸 기존 연구 결과<sup>6)</sup> 와도 다소 차이가 있는 것으로서 개구부 주위의 연결부재 즉 슬래브가 양측 전단벽 간의 병렬 (coupling) 작용에 기여하기 때문으로 사료된다. 반면 슬래브가 설치되지 않고 개구부 상부를 강체로 설계한 WB-0.23 실험체의 경우 최대 내력은 480 kN으로 개구부가 없는 실험체인 WS-solid 실험체에 비해 10% 정도의 내력 감소를 보였으며,

WS-0.23 실험체와 비교하여 4% 정도의 내력 감소를 나타냈다. 이는 다른 두 실험체와 동일한 높이로 제작하였으며 개구부 상부를 강체로 연결하였으나, 하중이 증가함에 따라 응력도 개구부 주위로 집중하였기 때문으로 사료된다. 따라서 전단벽체의 연결 부재에서 개구부 상부의 연결보와 함께 슬래브가 응력분배에 기여함을 알 수 있다.

### 3.3 에너지소산 면적

실험체의 에너지소산 능력은 Fig. 7과 같이 변위제어용 LVDT의 하중-변위 곡선에 의해 둘러싸인 전체 면적으로 비교할 수 있다. Fig. 7(a)에 정가력 및 부가력을 합친 전체 에너지소산능력을 가력 단계별로 누적시킨 결과를 나타내었다. Fig. 7(b)는 Darwin과 Nmai<sup>7)</sup>등이 제안한 에너지소산 지표로서 적용된 변위 이력 상의 오차와 보강근량 변화 및 연결 부재의 형상에 따른 내력상의 차이를 보정하기 위하여 각 변위 연성에서 소산된 에너지를 항복시 소산된 에너지로 무차원화시켜 나타내었다. 시스템의 감쇠율을 측정하는데 유용하게 사용될 수 있는

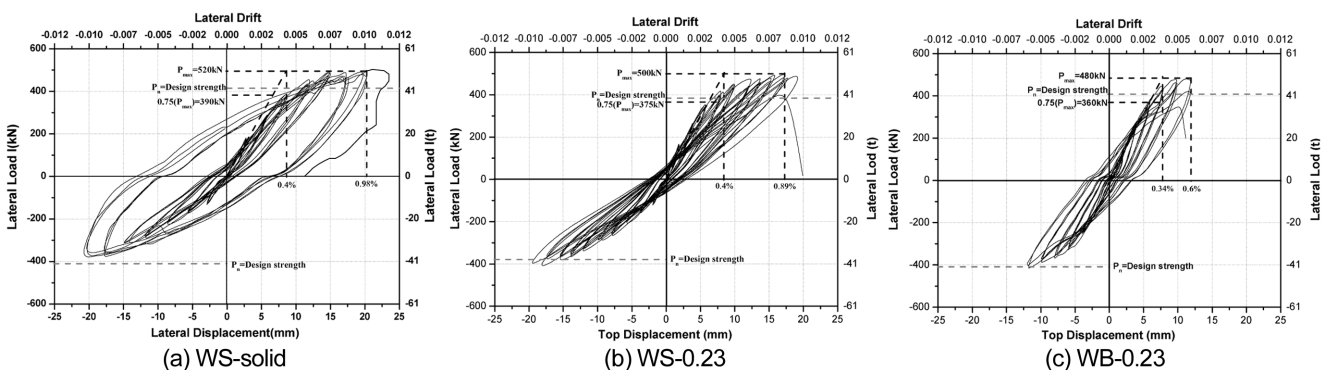
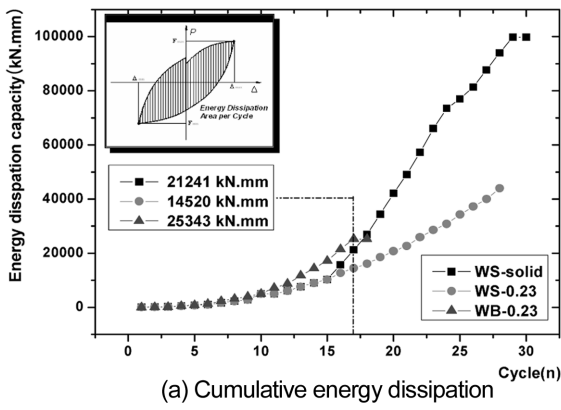
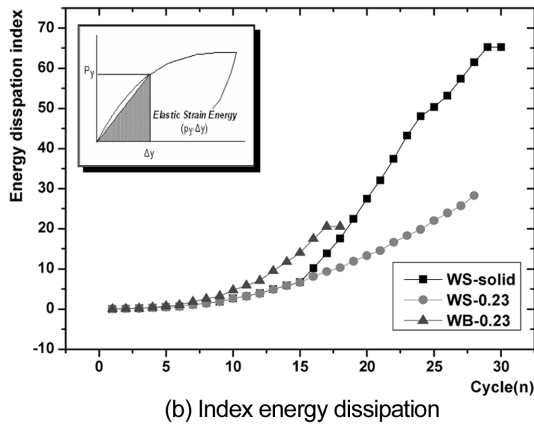


Fig. 6 Load-displacement relationship



(a) Cumulative energy dissipation



(b) Index energy dissipation

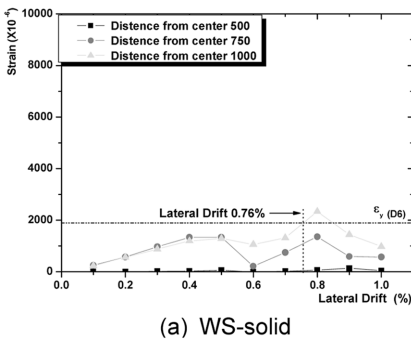
Fig. 7 Energy dissipation capacity

값을 나타내었다. 가력 초반 동일 부재각 (drift ratio = 0.5%)에서 WS-solid, WS-0.23, WB-0.23 실험체의 누적 에너지 소산 면적은 5,020 kN · mm, 5,010 kN · mm, 5,000 kN · mm 으로 비슷한 경향을 보였다. 슬래브가 없는 WB-0.23 실험체의 파괴 시점 (drift ratio = 0.9%)에서의 에너지소산 면적은 개구부가 없는 WS-solid 실험체의 에너지 값이 비교적 높게 나타났으며, WS-solid 실험체에 비해 개구부가 있는 WS-0.23, WB-0.23 실험체는 각각 40% 및 6% 정도 작게 나타났다. 이는 개구부로 인해 전단벽체의 유효 단면적의 감소 및 철근의 손상에 기인한 것으로 사료된다. 또한 슬래브 유무에 따른 두 실험체의 비교 결과 WS-0.23과 WB-0.23 실험체의 에너지소산 면적은 WB-0.23 실험체가 약 36% 정도 높게 나타났다. 이는 개구부 상부를 강체로 연결하여 연결보의 강성 증대에 따른 것으로 사료된다. 그러나 WB-0.23 실험체의 경우 변위가 증가할수록 급격한 취성적 파괴 양상을 보이며 총 누적 에너지소산 면적은 두 실험체에 비해 약 64% 정도 작게 나타났다. 이러한 결과는 에너지소산 지표에서도 비슷한 경향을 보였다. 이와 같이 각각의 부재가 연결되어지는 부분에서는 서로의 에너지소산 능력의 차이로 인한 불균형으로 시스템의 성능이 취약해질 가능성이 있으며 이에 따른 적절한 보강이 필요하다고 사료된다.

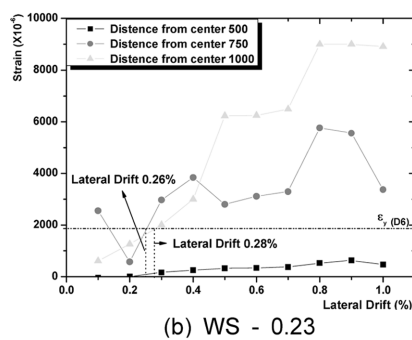
### 3.4 철근의 변형률

에너지소산 면적은 개구부가 없는 실험체가 비교적 높은

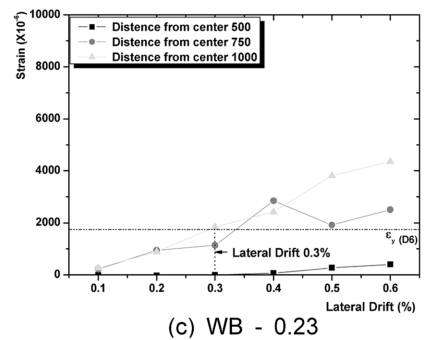
Figs. 8, 9에 전단벽체의 수직 철근 및 가력 방향으로



(a) WS-solid

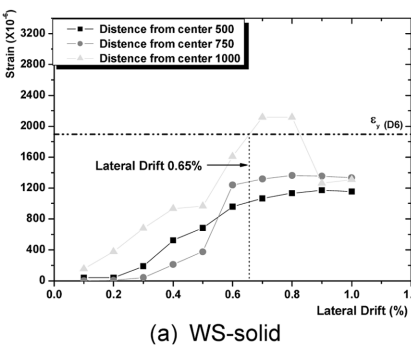


(b) WS - 0.23

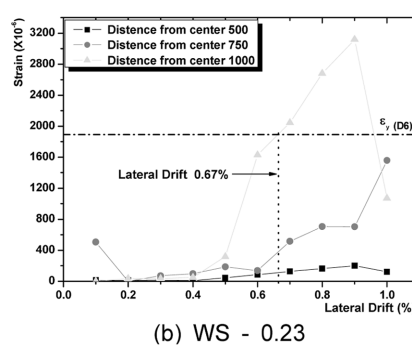


(c) WB - 0.23

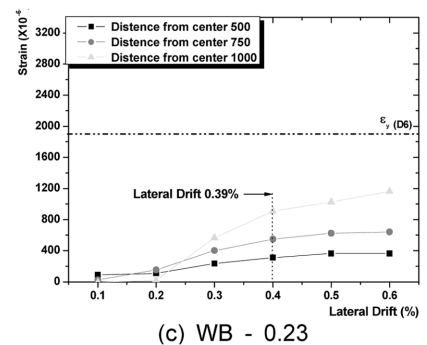
Fig. 8 Vertical - steel strain under the drift ratio



(a) WS-solid



(b) WS - 0.23



(c) WB - 0.23

Fig. 9 Horizontal-steel strain under the drift ratio

배근된 수평철근의 변형 성상을 부재각으로 나타내었다. 동일 부재회전각 시 개구부로부터 임계의 위치에 있는 철근의 변형률을 살펴본 결과 모든 실험체는 개구부와 비교적 가까운 곳에 위치한 철근의 변형은 매우 미미한 것으로 나타났다. 실험체의 수직 철근 변형률은 개구부 중앙부에서의 거리에 비례하여 증가하는 경향을 보였으며 가력 방향으로 배근된 수평 철근의 변형률 또한 거리에 비례하여 증가하였다. 수직 철근의 변형률을 살펴보면 WS-solid 실험체의 경우 부재각 0.78%에서 철근이 항복을 경험하였으며 WS-0.23 및 WB-0.23 실험체의 경우 두 실험체 모두 부재회전각 0.26%에서 항복을 경험하였다. 개구부로 인해 단면적의 손실 및 철근의 손상에 따라 WS-solid 실험체보다 먼저 항복을 경험하는 것으로 나타났다. 그러나 수평철근의 경우 WS-solid 실험체와 WS-0.23 실험체는 비슷한 부재회전각 (drift ratio 0.65%)에서 항복을 경험하였으나, WB-0.23 실험체의 경우 동일 부재회전각에서 철근의 변형률은 항복에 들어가지 않았다. 이는 개구부 상부의 강체로 인해 발생된 비틀림에 의한 취성적 파괴 거동을 보였기 때문으로 사료된다. 개구부가 있는 두 실험체의 분석 결과 개구부로 인해 손상을 입은 수평철근은 소정의 부착응력 상실에 따라 그 변형이 매우 작아 개구부로 인해 손상을 입은 경우 전단보강근의 역할을 수행할 수 없다고 판단된다. 그러나 개구부 상부가 연결 슬래브로 연결된 경우 슬래브의 휨 변형의 기여분에 따른 변형률은 증가되는 경향을 보였으며, 변형률 증가분은 동일 부재회전각시 2배 정도 차이가 나는 것으로 나타났다. 그러나 개구부가 설치된 두 실험체 모두 개구부로 인해 손상을 받은 철근의 변형률은 매우 미미하여 이에 따른 적절한 보강 방법이 필요하다고 사료된다.

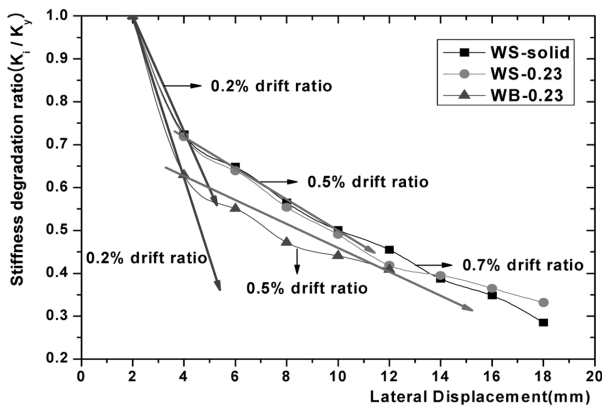


Fig. 10 Stiffness degradation

Table 5 Summary of test results

Specimen	$\Delta_y$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\Delta_m$ (mm)	$P_m$ (kN)	$\Delta_f$ (mm)	$P_f$ (kN)	$_{The}P_n$ (kN)	$P_m / _{The}P_n$	Displacement ductility	
									$u_{\Delta 1}$	$u_{\Delta 2}$
WS-solid	8.5	390	20	520	22	570	462	1.12	2.35	2.48
WS-0.23	8	375	18	500	20	520	380	1.31	2.25	2.5
WB-0.23	7	360	12	480	14	440	410	1.17	1.71	2

$\Delta_y$ : displacement at yielding,  $P_y$ : load at yielding,  $\Delta_m$ : displacement at maximum strength,  $P_m$ : load at maximum strength,  $\Delta_f$ : displacement at failure,  $P_f$ : load at failure,  $_{The}P_n$ : maximum strength(design),  $u_{\Delta 1} : \Delta_m/\Delta_y$ ,  $u_{\Delta 2} : \Delta_f/\Delta_y$

### 3.5 강성 및 연성

각 실험체의 강성 변화는 Fig. 10에 정리하였다. 정·부방향 가력시 최대 변위점을 잇는 강성의 변화를 초기 항복강성에 대한 비율로 나타낸 것이다. 모든 실험체에서 비탄성 이력 사이클이 증가함에 따라 강성이 저하되는 특성을 나타내고 있으나 개구부 상부가 강체로 연결된 WB-0.23 실험체에 비해 슬래브를 가지는 WS-solid, WS-0.23이 비교적 완만한 감소 형태를 보였다. 이러한 강성 저하는 실험체에 적용된 전단응력과 변위 연성비의 크기 즉 소성인장지부의 전단 변형과 단혀 지지 않은 사인장균열에 의한 것으로 사료된다. 결국 강성의 변화는 개구부에 의한 것으로 사료된다. 결국 강성의 변화는 개구부에 의한 강성 저하 보다 슬래브에 따른 휨 강성의 변화에 따라 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다. 이는 슬래브에 의해 발생된 유효 휨 강성이 전단벽에 일정 부분 기여했기 때문으로 사료되며, 동일 부재각 (drift ratio=0.5%)에서 강성의 변화는 슬래브 유무에 따른 WS-0.23과 WB-0.23 실험체를 비교한 결과 17% 정도 차이가 나는 것으로 나타났다. 또한 Table 5에서와 같이 연성 능력도 강성과 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. WS-solid, WS-0.23의 경우 비슷한 연성효과를 나타낸 반면 WB-0.23 실험체는 두 개의 실험체에 비해 27%, 24% 정도의 휨 변위 저항 성능의 감소를 보였으며, 두 실험체에 비해 매우 작은 변형각을 보유하는 것으로 측정되었다.

### 4. 슬래브의 변형

벽식 구조에서 연결부재로서 슬래브의 변형에 대한 연구로는 Quadeer<sup>8)</sup> 이후에 Coull<sup>3)</sup>, Paulay & Taylor<sup>4)</sup> 등에 의해 수행되었다. 이 연구에서 슬래브의 유효 휨 강성과 전단력에 대한 해석적 연구가 수행되었으며, Paulay & Taylor<sup>4)</sup>, Schwaighofer<sup>5)</sup>는 실험적 연구를 통해서 개구부가 있는 벽체의 전단응력에 의한 연결 슬래브의 위험단면의 크기를 Fig. 11과 같이 제안하였다. Paulay and Taylor<sup>4)</sup>는 위험단면을 항복선 원리를 통해 개구부 주변을 항복선으로 가정하고 중력하중에 대한 벽체의 부담 면적의 범위로 가정하였다. Schwaighofer<sup>5)</sup>는 위험단면의 형태는 전단벽 내부단 주위의 U 형태이고 3면이 같은 길이임을 제시하였으며, 전단 벽체의 위험단면의 크기는  $3(t+d)$ 로써 ( $d$ : 슬래브 두께,  $t$ : 전단벽 두께) 단면의 크기를 정의하였다. 또한 횡력에 저항하는 슬래브의 유효폭은 Fig. 12

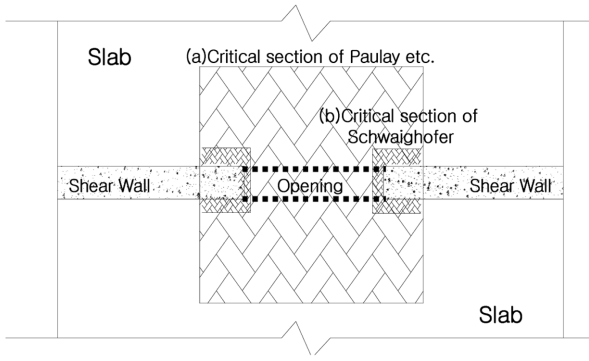


Fig. 11 Critical section of slab coupling

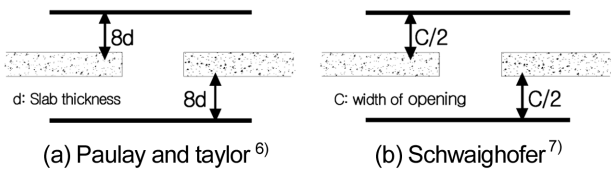


Fig. 12 Effective width of existing researcher

와 같이 제안하였다. Paulay & Taylor<sup>4)</sup>는 횡력에 저항하는 연결 슬래브의 폭이 슬래브 두께의 8배 정도로 산정하여 이 폭 만큼의 슬래브에 전단보강근을 제시하였으며, Schwaighofer<sup>5)</sup>는 개구부 폭의 절반과 동일하게 고려할 수 있음을 제시하였다. 본 실험을 통해 나타난 슬래브의 균열 형상의 분포는 Fig. 13과 같으며 개구부가 있는 WS-0.23 실험체의 경우 개구부가 없는 WS-solid에 비해 개구부 주위에 응력이 집중되고 있으며 다수의 균열이 Schwaighofer<sup>5)</sup> 및 Chang<sup>10)</sup>이 제안한 U자 형태 즉, 개구부 주위에 U자 형태의 단면을 제외한 부분에서의 균열이 관찰 되었다. 이러한 균열 진전 현상은 Schwaighofer의 균열 진전 상황과 비교적 일치한 경향을 보였으나, 위험단면의 길이는 Table 6에서와 같이 2배 정도 과대평

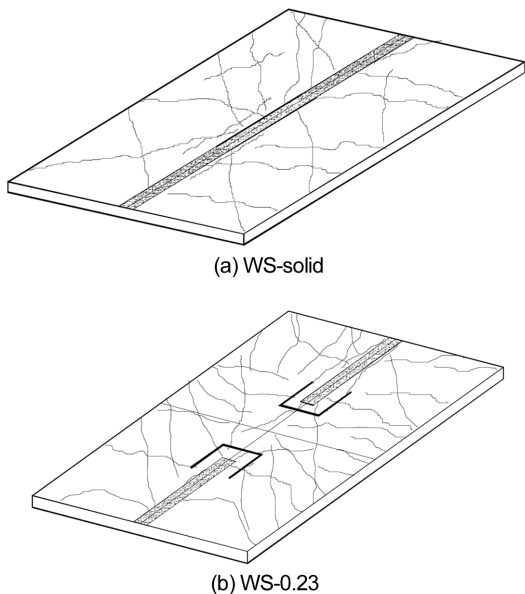


Fig. 13 Slab of crack pattern

Table 6 Comparison of critical section (WS-0.23)

	Schwaighofer	Experimental value
Form of critical section	U	U
Total length of critical section	$3(t+d)$	$\frac{3(t+d)}{2}$

t : wall thickness, d : slab thickness

가 되는 경향을 보였다.

Fig. 14는 기존 연구문헌을 토대로 개구부 폭과 동일

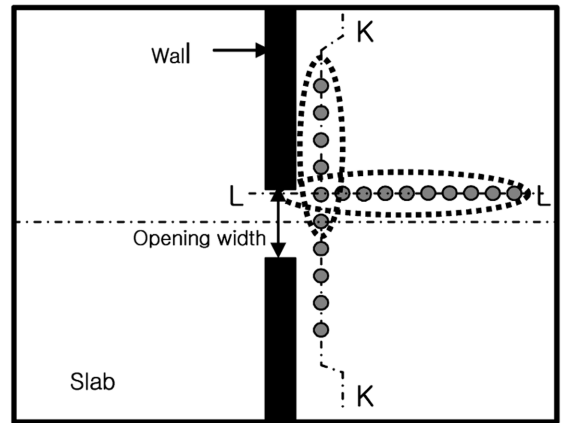
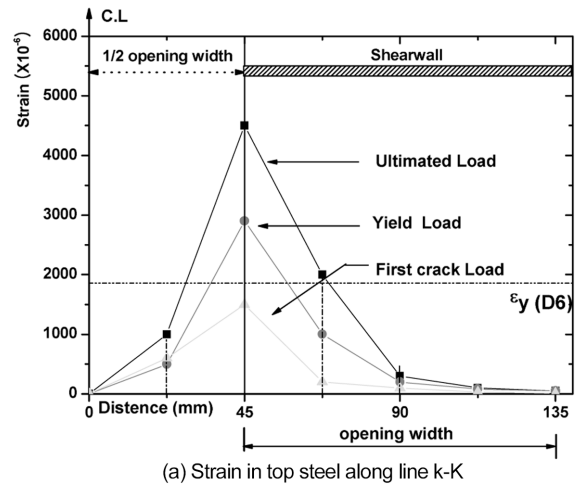
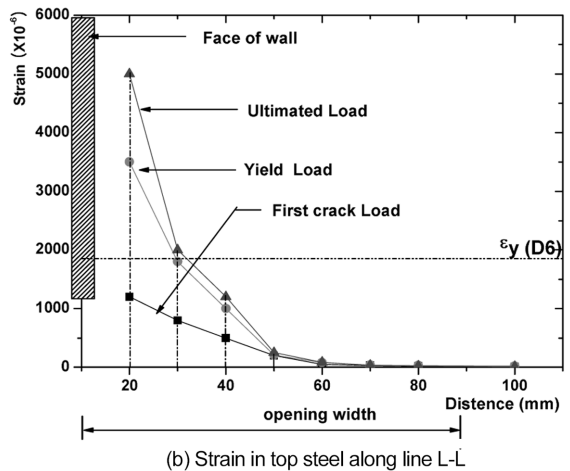


Fig. 14 WSG location



(a) Strain in top steel along line k-k



(b) Strain in top steel along line l-l

Fig. 15 Distribution of strain in slab

한 위치까지를 고려하여 설치한 W.S.G의 위치이며, Fig. 15는 실험체의 가로, 세로철근에 설치한 W.S.G의 각 단계별 (초기균열 하중, 항복 하중, 최대 하중) 변형률의 값을 측정하여 나타내었다. Fig. 15(a)는 개구부가 설치된 WS-0.23 실험체의 가력방향으로 설치된 철근의 변형률 분포를 나타내었다. 초기균열 하중시 철근의 인장응력 분포는 항복을 경험하지 않았으며, 그 변형률 또한 변화가 거의 없음을 나타내었다. 그러나 실험체의 내력이 항복에 도달한 시점에서 개구부에 위치한 철근의 인장응력 분포는 항복에 도달하였으며, 개구부의 중앙부에서 멀어질수록 그 변형률은 감소하는 경향을 나타내었다. Fig. 15(b)는 가력 방향과 직각으로 설치된 철근의 변형률 분포를 나타내었으며, 가력 방향으로 설치된 철근의 변형률과 비슷한 경향을 보였다. 개구부 폭의 1/1.8 (500 mm)을 넘어서는 위치에서의 철근 변형률은 매우 작았다. 또한, 개구부 폭의 1/1.8 (500 mm) 범위를 넘지 않은 위치에 설치된 철근 변형률은 비슷한 경향을 보였다. 이는 슬래브의 휨응력이 전단벽체의 응력에 대한 기여분으로 판단할 수 있으며, 횡력에 대한 슬래브의 휨응력 유효폭으로 판단된다. 또한 개구부에서 멀어질수록 철근의 인장응력의 감소는 개구부로 인해 발생한 전단벽체의 단면손실에 따라 개구부 주변의 응력 집중 현상에 의한 슬래브의 응력부담률 변화에 따른 것으로 사료된다. 따라서 실험 결과 나타난 슬래브의 유효폭은 Table 7과 같이 Schwaighofer가 제안한 유효폭 (개구부 폭/2)과는 비교적 일치하였으나 Paulay와 Priestley가 제안한 유효폭 (슬래브 두께의 8배)은 다소 과대평가되고 있음을 알 수 있다. 그러나 본 실험체의 경우 80년대의 국내 아파트 구조를 바탕으로 제작되어 슬래브 부재가 세장하고, 횡력에 대한 적절한 휨 및 전단보강이 되어 있지 않은 실험체이며, 부분 구조체의 제한된 실험 결과에 근거한 것으로 벽체와 커플링 작용을 하는 연결 슬래브의 유효폭을 정량화하기 위해서는 보다 많은 양의 데이터를 근거로 하여야 하므로 이에 따른 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

결과적으로 철근의 인장응력 분포를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 개구부의 폭과 동일한 위치까지의 슬래브 철근의 변형률 분포는 부재의 항복 시점과 유사하게 분포하는 것으로 나타났다.
- 2) 슬래브 철근의 변형률은 개구부 주변에서 멀어질수록 감소하는 경향을 나타내었다.
- 3) 부재 내력과 철근의 변형률을 살펴본 결과 연결 슬래브에서 발생한 휨강성이 전단벽체의 유효강성에 기여

**Table 7** Comparison of effective width (WS-0.23)

Paulay, Priestley <sup>4)</sup>	Schwaighofer <sup>7)</sup>	Experimental value
8d	c/2	c/1.8
640 (mm)	450 (mm)	500 (mm)

d : slab thickness, c : opening width

하는 것으로 판단되며, 기존 연구 결과에서 제안된 횡력에 대한 슬래브의 휨응력 기여분의 유효폭은 다소 과대평가되고 있으나 그 값의 차이는 작은 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 개구부가 있는 전단벽체의 커플링 효과를 알아보고자 벽체와 슬래브로 구성된 부분 구조체 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 개구부 설치로 인한 내력의 감소량은 슬래브를 설치하지 않은 기존 연구 결과<sup>8)</sup>와 다소 차이를 보였으며, 이는 전단 벽체와 커플링 작용을 하는 슬래브의 휨 성능에 기인한 것으로 사료된다.
- 2) 개구부 상부가 강체로 연결된 WB-0.23 실험체에 대해 슬래브를 가지는 WS-solid, WS-0.23이 비교적 완전한 강성 감소를 나타내고 있으며, 이는 개구부에 의한 강성 저하보다 연결부재에 따른 휨강성의 변화에 따른 것으로 판단된다.
- 3) 수평 철근의 변형률은 동일 부재회전각 시 개구부 중앙부에서의 거리에 비례하여 증가하는 경향을 보였다. 이는 개구부 설치로 인해 손상을 입은 철근의 부착응력 상실에 따른 것으로 사료되며, 개구부 설치시 이에 따른 적절한 보강이 필요하다고 사료된다.
- 4) 전단벽체와 커플링 작용을 하는 연결 슬래브의 위험단면의 형태는 U 자형으로 유사하게 나타났으며, 유효단면의 전체 길이와 슬래브의 유효폭은 기존 연구<sup>6,7,11-13)</sup> 결과에 비해 다소 과대평가되는 경향을 보였다. 그러나 본 연구에서는 위험단면을 정량화하기에는 부족한 부분 구조체 실험이며 이에 따른 추가적 연구가 필요하다고 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업 (과제번호: R11-2005-056-03002-0) 및 2005년도 건설핵심기술개발사업 노후공동주택 연구비 지원에 의해 수행 (과제번호: C105A1050001-05A0505-00210)되었으며, 2007년 정부 (교육인적자원부)의 지원을 받아 수행된 연구(지방연구중심대학육성사업/바이오하우징연구사업단)입니다.

## 참고문헌

1. 건교부, “벽식아파트의 리모델링 기술개발에 관한 연구”, 건설교통부 연구보고서, 2006, 188pp.
2. Paulay, T. and Priestley, M. J. N., *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building*, John Wiley & Sons Inc., 1992, pp.362~389.
3. Coull, A. and El-Hag, A. A., “Effective Coupling of Shear Walls by Floor Slabs”, *ACI Structural Journal*, Vol.72,



- 1975, pp.429~431.
4. Paulay, T. and Taylor, R. G., "Slab Coupling of Earthquake-Resisting Shearwalls", *ACI Structural Journal*, Mar.-Apr. 1981, pp.130~140.
  5. Schwaighofer, J. and Michal, Collins, P., "Experimental Study of the Behavior of Reinforced Concrete Coupling Slabs", *ACI Structural Journal*, Vol.64, Mar. 1977, pp.123~127.
  6. 윤현도, 김선우, 박완신, 김효진, 최창식, 최기봉 "개구부 설치를 위해 부분적으로 절단한 철근콘크리트 장방형 전단벽의 구조성능", 대한건축학회 논문집, 21권 6호, 2005, pp.33~40.
  7. Darwin, D. and Nmai, C. K., "Energy Dissipation in RC Beams under Cyclic Load", *Journal of Structural, Div., ASCE*, Vol.112, No.8, 1986, pp.1829~1846.
  8. Qadeer, A. and Smith, B. S., "The bending Stiffness of Slabs Connecting Shear Walls", *ACI Structural Journal*, Vol.66, Jun. 1969, pp.464~472.
  9. Marquis, G. M., *Effect of High-Strength Concrete on the Seismic Response of Concrete Frame*, M. Eng. Thesis, Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, Montreal, Quebec, 1997, 62pp.
  10. Chang, Y. Ch., *Slabs in Shear Wall Buildings*, MSc Thesis, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Sep. 1969, 218pp.
  11. 장극관, 서대원, 천영수, "벽식 아파트 구조에서 연결부재의 거동 특성", 콘크리트학회 논문집, 14권 1호, 2002, pp.83~91.
  12. 송한범, 이원호, "병렬 전단벽 시스템에서 철골 커플링 보 접합부의 거동, 보강상세 및 설계방법", 대한건축학회 논문집 구조계, 21권, 12호, 2005, pp.109~118.
  13. Szalwinski, C., *The Behavior of Reinforced Concrete Coupling Slabs*, MS Thesis, Department of Civil Engineering, University of Toronto, 1976, 144pp.

---

**요 약** 현재 국내에서 건설되고 있는 대부분의 아파트는 철근콘크리트 전단벽과 바닥슬래브만으로 구성된 순수벽식 구조 형태를 이용하고 있다. 이러한 벽식 구조 아파트에 대한 리모델링시 개구부 설치의 필연적이며 개구부 설치시 벽체의 거동은 매우 복잡하며, 연결부재인 보와 슬래브 같은 부재에 많은 영향을 받는다. 본 연구에서는 개구부가 있는 전단벽에 대해 횡하중 실험을 실시하였다. 실험체는 1980년대에 지어진 벽식 구조아파트를 대상으로 1/2축소 실험체를 제작하였다. 개구부의 면적 및 연결 슬래브의 위험단면은 기존 연구를 참고하여 결정하였다. 실험 결과 개구부 설치에 따른 내력 감소가 나타났으며, 연결 슬래브의 응력은 전단면에 대하여 균일하게 작용하지 않았다. 전단벽체와 커플링 작용을 하는 슬래브의 유효폭 및 위험단면은 기존 연구와 비교하여 큰 차이점을 나타냈으며, 국내의 아파트에 적용하기에는 다소 과소평가되고 있는 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 연결 슬래브, 연결 부재의 변형 능력, 개구부, 전단벽, 아파트