

# 벽식 아파트 구조에서 연결슬래브의 거동특성

## The Behavior of Reinforced Concrete Coupling Slab in Wall-Dominant System

최윤철<sup>\*</sup>      최현기<sup>\*\*</sup>      최창식<sup>\*\*\*</sup>      이리형<sup>\*\*\*\*</sup>  
Choi, Youn Cheul      Choi, Hyun Ki      Choi, Chang-Sik      Lee, Li Hyung

### Abstract

A common form of construction for apartment buildings consists of walls and coupling element. But, the structural behavior of coupling element are very complex and affected by the properties of coupling element. The propose of this paper is to evaluation the behavior of coupling element in wall-dominant system. An 1/2 scale three specimens was constructed and under cyclic loads. The specimen was consisted of opening walls and coupling element as well as floor slabs.

From the result of this study, in coupling slabs, the stresses were not uniform across the width. And the effective width of coupling slabs was found smaller than the that of predicted from previous studies.

### 1. 서론

국내에서 건설되고 있는 대부분의 아파트는 철근콘크리트 전단벽과 바닥슬래브만으로 구성되어 25층 이상의 초고층 아파트가 건설되고 있다. 또한 벽식아파트의 설계를 위한 구조해석에는 MIDAS, ETABS 등의 해석프로그램이 주로 사용되고 있으나 전단벽의 이형성에 대한 강성평가 및 연결부재의 응력분석, 전단벽에 형성되는 개구부등의 평가를 명확하게 판단하기에는 어려움이 있다. 때문에 전체건물의 수평하중에 대한 해석시 슬래브는 평면방향으로 강막효과를 가지는 것으로 가정하여 해석을 수행하고 있다. 그러나 이러한 벽식구조에서 전단벽 사이에 개구부가 있는 경우 슬래브는 응력이 바닥판의 전폭에 균일하게 분포하지 않고, 개구부로 인하여 개구부 주위에 응력이 집중되는 경향이 있다. 또한 개구부 주위의 연결부재(연결보, 슬래브)가 양측 전단벽간의 병렬(Coupling) 작용을 할 수 있도록 충분한 강도와 강성을 갖지 못할 경우 수평력에 저항하는 벽식 구조 시스템의 구조성능에 많은 문제점을 초래하며 특히, 개구부의 크기와 차이에 따른 연결보의 단면변화로 인한 강도, 강성, 연성등의 차이는 지진동 수평하중에 대해 구조적으로 문제점을 일으킬 수 있다. 이에 Coull<sup>1)</sup> Paulay<sup>2)</sup> Schwaighofer<sup>3)</sup> 등은 슬래브의 유효폭 산정을 위한 실험을 통해 외부 횡력에 저항하는 연결슬래브의 모멘트 능력을 제시하였다. 이에 본 연구에서는 부분 구조체 실험을 통하여 국내 벽식구조의 연결부재, 즉 슬래브의 내진성능을 조사하고, 개구부 주위의 연결부재에 대한 개구부의 영향을 파악하여 슬래브의 커플링 효과를 알아보고자 한다.

\* 정회원, 한양대학교 STRESS 센터 연구조교수, 공학박사

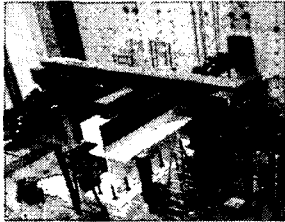
\*\* 정회원, 한양대학교 건축공학과 석사과정

\*\*\* 정회원, 한양대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

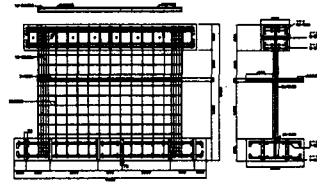
\*\*\*\* 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수, 공학박사

표 1. List of specimen

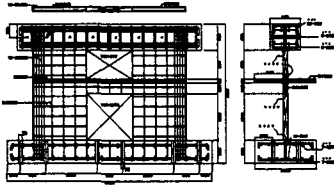
Specimen	Opening	Slab	Opening Size(mm)	Area of opening ratio(%)	$f_{ck}$ (MPa)	Steel of Wall		Steel of Slab		$l_w \times h_w \times t_{wall} \times t_{slab}$ (mm)
						Ver	Hor	Ver	Hor	
WS - solid	x	o	-	-	21.23	D6@225	D6@225	D6@120	3000 × 2030 × 100 × 80	
WS - 0.23	o	o	900x1050	23						
WB - 0.23	o	x								-



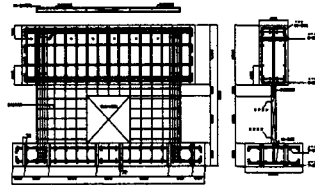
a) Setting



b) WS-solid



c) WS-0.23



d) WB-0.23

그림 1 Setting for test and details of specimens

## 2. 실험체 계획

실험대상 건물은 1980년도 초반 대한주택공사에서 임대주택으로 설계한 18평형 벽식 아파트로서, 본 연구에서는 세대간 벽에 세대병합을 위하여 개구부를 설치함으로써 중형아파트로 리모델링할 경우를 가정하였다. 개구부 면적비는 선행 연구결과<sup>4)</sup>에 따라 개구부 면적비 23%를 적용하였다. 슬래브의 크기 및 유효폭은 기존 연구문헌<sup>1),2),3)</sup>을 토대로 하여 슬래브의 모멘트가 반전되는 반곡점의 위치에서 절단하여 제작하였다. 유효폭은 개구부 폭의 1/2, 슬래브 두께의 8배로 산정된 연구 결과를 토대로 두 연구 결과를 포함할 수 있는 길이로 하였다. 또한 횡력이 작용하는 전단벽체에서 개구부 상부의 연결부재 즉 연결보의 영향을 고려하기 위해 개구부 상부를 강체로 제작한 실험체를 포함시켰다.

## 3. 실험 결과 및 분석

### 3.1 하중-변위관계

실험체의 하중-변위는 그림 2와 같다. 개구부가 설치되지 않은 WS-solid 실험체의 경우 530kN의 최대 내력을 보였으며, 최대 내력 이후 급격한 강도 및 강성저하를 보이지 않았고 비교적 안정된 거동양상을 보였다. 또한 개구부가 설치된 WS-0.23 실험체의 경우 500kN으로 개구부 유무에 따른 내력저하의 영향은 크게 나타나지 않았다. 이는 개구부 유무에 따라 30%의 내력 감소를 나타내는 기존연구 결과<sup>4)</sup>와도 다소 차이이가 있는 것으로서 개구부 주위의 연결부재 즉 슬래브가 양측 전단벽간의 병렬(Coupling) 작용을 할 수 있도록 충분한 강성과 강도가 확보되었기 때문으로 사료된다. 이에 반해 슬래브가 설치되지 않고 개구부 상부를 강체로 설계한 WB-0.23 실험체의 경우 최대 내력은 480kN으로 개구부가 없는 실험체인 WS-solid 실험체에 비해 10%, WS-0.23 실험체와 비교하여 4%정도의 내력 감소를 나타냈다. 이는

표 2 Summary of test results

Specimen	$\Delta_y$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\Delta_m$ (mm)	$P_m$ (kN)	$\Delta_f$ (mm)	$P_f$ (kN)	Displacement ductility	
							$u_{\Delta 1}$	$u_{\Delta 2}$
WS-solid	8.5	390	20	520	22	570	2.35	2.48
WS-0.23	8	380	18	500	20	520	2.25	2.5
WB-0.23	7	350	12	420	14	440	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  $u_{\Delta 1} = \Delta_m / \Delta_y$ ,  $u_{\Delta 2} = \Delta_f / \Delta_y$

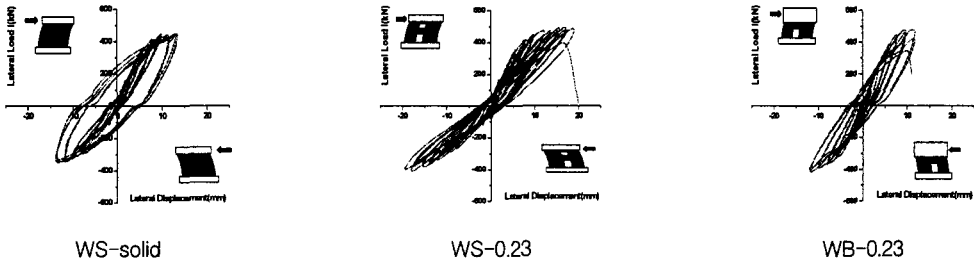


그림 2 Load-displacement relationship

다른 두 실험체와 동일한 높이로 제작하였으며 개구부 상부를 강체로 연결하였으나, 하중이 증가함에 따라 응력도 개구부 주위로 집중하였기 때문으로 사료된다. 또한 전단벽체의 연결 부재에 대한 거동특성은 개구부 상부의 연결부 보다는 슬래브가 응력분배에 더 기여함을 알 수 있다.

#### 4. 슬래브 변형

벽식구조에서 연결부재중 슬래브의 변형에 대한 연구로는 Coull<sup>1)</sup>, Paulay와 Taylor<sup>2)</sup>등에 의해 수행되었다. 이 연구에서 슬래브의 유효 휨 강성과 전단력에 대한 해석적 연구가 수행되었으며, Paulary<sup>2)</sup> Schwaighofer<sup>3)</sup>는 실험적 연구를 통해서 개구부가 있는 벽체의 전단응력에 의한 연결슬래브의 위험단면의 크기를 그림 3과 같이 제안하였다. 또한 횡력에 저항하는 슬래브의 유효폭은 그림 4와 같이 제안하였다. Paulary, Priestley는 횡력에 저항하는 연결슬래브의 폭이 슬래브 두께의 8배 정도로 산정하여 이 폭만큼의 슬래브에 전단보강근을 제시하였으며, Schwaighofer는 개구부 폭의 절반과 동일하게 고려할 수 있음을 제시하였다. 그러나 이러한 연구결과는 개구부의 폭과 벽체 및 슬래브의 두께 등 국내 벽식 구조와 많은 차이가 있어 기존 연구결과를 그대로 적용하기에는 많은 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 실험을 통해 얻어진 자료를 기존 연구와 비교·분석함으로써 유효폭의 적용가능성을 평가하였다.

본 실험을 통해 나타난 슬래브의 균열 형상의 분포는 그림 5와 같으며 개구부가 있는 WS-0.23 실험

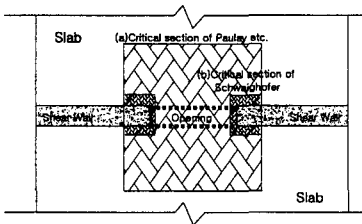


그림 3 Critical section of slab coupling

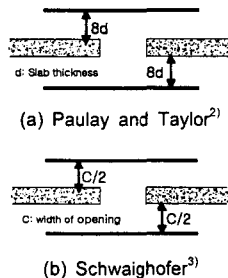


그림 4 Effective width of existing researcher

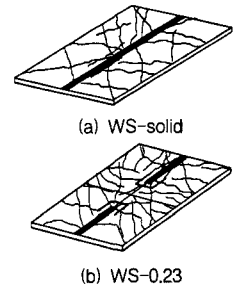
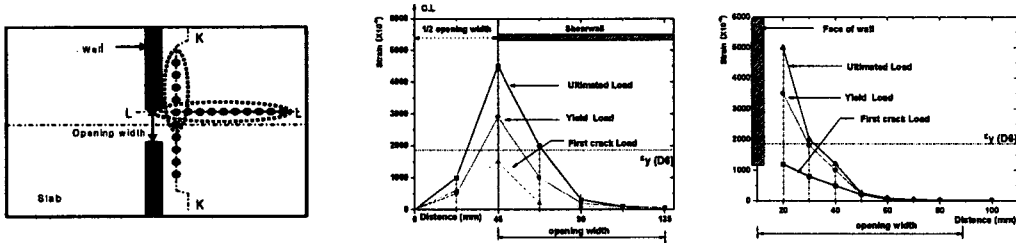


그림 5 Slab of crack patten

체의 경우 위험단면의 형태는 Schwaighofer 및 Chang이 제안한 U자 형태와 비교적 일치한 경향을 보였으나, 위험단면의 길이는 2배정도 과대평가 되는 경향을 보였다.

초기 균열 하중, 항복 하중, 최대 하중시 동일 부재각에서 변위가 증가함에 따라 철근 변형도 분포를 분석하였다. W.S.G의 위치는 기존 연구문헌을 토대로 개구부 폭과 동일한 위치까지를 고려하여 설치하였다. 그림 6은 실험체의 가로, 세로철근에 설치한 W.S.G의 각 단계별(초기균열 하중, 항복 하중, 최대 하중)변형률 값을 측정하여 나타내었다. 그림 6(b)는 개구부가 설치된 WS-0.23 실험체의 가력방향으로 설치된 철근의 변형률 분포를 나타내었다. 초기 균열하중시 철근의 인장응력 분포는 항복을 경험하지 않았으며, 그 변형률 또한 변화가 거의 없음을 나타내었다. 그러나 실험체의 내력이 항복에 도달한 시점에서 철근의 인장응력의 분포는 항복에 도달하였으며, 개구부의 중앙부에서 멀어질수록 그 변형률은 감소하는 경향을 나타내었다. 그림 6(c)는 가력방향의 직각으로 설치된 실험체의 철근변형도 분포이다. 철근의 변형도 분포는 가력방향으로 설치된 실험체와 비슷한 경향을 보였다.



(a) W.S.G location (b) Strain in top steel along line k-k (c) Strain in top steel along line L-L  
 그림 6 Distribution of strain in slab longitudinal bars for specimens

#### 4. 결론

- (1) 실험결과, 개구부 설치를 위해 인위적으로 손상을 가한 실험체 WS-0.23의 경우 개구부로 인해 그 내력이 감소하는 경향을 보였다. 이는 절단된 철근의 영향과 유효단면적의 감소에 의한 것으로 확인되었으며, 전단벽체의 허용 변위각 이전에 항복하였다.
- (2) 개구부 설치로 인한 내력의 감소량은 기존 연구와 다소 차이를 보였으며, 이는 전단벽체와 커플링 작용을 하는 슬래브의 휨 성능에 기인한 것으로 판단된다.
- (3) 전단벽체와 커플링 작용을 하는 연결 슬래브의 위험단면은 기존연구 결과와는 다소 차이가 났으며, 연결 슬래브의 유효폭은 과대 평가되는 경향을 보였다. 따라서 이를 국내 아파트 구조에 적용하기에는 다소 무리가 있다고 판단되며, 위험단면과 유효폭의 정량화를 위한 추가적 연구가 필요하다고 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2005년도 건설핵심기술연구 개발사업 노후공동주택 리모델링 연구단의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다. (과제번호 : C105A1050001-05A0505-00210)

#### 참고문헌

1. Coull, A., and El-Hag, A. A., "Effective Coupling of Shear Walls," ACI Structural Journal, Vol.64, No. 2, Feb., 1967.
2. Paulay, T. and Taylor, R. G., "Slab COupling of Earthquake-Resisting Shearwalls," ACI Structural Journal, Mar-Apr., 1981, pp.130~140.
3. 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.
4. 윤현도, 김선우, 박완신, 김효진, 최창식, 최기봉 "개구부 설치를 위해 부분적으로 절단한 철근콘크리트 장방형 전단벽의 구조성능" 대한건축학회 논문집, 제 21권 6호, 2005, 06월, pp 33-40.