

# 벽체-슬래브 구조시스템에서의 슬래브의 커플링 효과

## A Coupling Effect of the Slab in Wall-Slab Structural Systems

장극관\*      천영수\*\*      서대원\*\*\*

Chang, Kug Kwan, Chun, Young Soo, Suh, Dae Won

### ABSTRACT

This paper is investigated the coupling effect in slab-wall structural system. An experimental investigation of reinforced concrete wall-slab structures were performed. For the purpose of this study slab-wall substructures of an apartment building were chosen. And two specimens with different a/d ratios have been tested. There were subjected to reserved cyclic loading, consistent with coupling action, with increasing imposed inelastic deformations.

From the result of this test, 1) in slabs, the coupling stress are not uniform across the width, 2) cracks are tending to be concentrated in the regions near the inner edges of the walls, 3) the effective width used in previous theoretical or model studies may not be enough.

### 1. 서론

현재 국내에서 건설되고 있는 대부분의 아파트는 기둥이 없이 철근콘크리트 전단벽과 바닥 슬래브로만 구성된 특유의 구조형식을 취하고 있다. 이러한 구조형식은 전단벽과 함께 바닥 슬래브의 강막작용에 의해 수평 및 수직 하중을 저항하는 효율적인 구조시스템이며, 전단벽을 연결하는 슬래브 및 보의 효과를 고려함으로써 구조물 전체의 수평강성을 증가시킬 수 있다. 근래에는 이러한 구조형식을 채택한 아파트가 20층 이상의 고층으로까지 건설되는 경우가 빈번함에도 불구하고 전단벽의 이형성에 대한 강성평가나 연결 보 또는 슬래브의 발생 응력에 따른 배근설계 등에 대한 연구는 매우 부족한 실정이며, 실무에서도 부분적으로 이에 대한 어려움을 겪고 있다. 즉, 이러한 시스템의 바닥슬래브는 전단벽 사이의 개구부로 인하여 응력이 바닥판의 전 폭에 걸쳐 균일하지 않고, 거실이나 안방처럼 개구부의 크기에 따른 연결 보의 급격한 단면변화로 인한 강도와 강성차이는 수평하중을 전달하는 시스템의 강성평가가 어렵다는 문제를 만들어 내기 때문이다. 국내 아파트건물의 구조형식과 유사한 병렬전단벽(coupled shear wall)에 대한 연구는 Qadeer<sup>1)</sup>를 시작으로, Wong과 Coull<sup>2)</sup>, Paulay와 Taylor<sup>3)</sup> 등에 의해 슬래브의 유효 휨 강성과 전단력에 대한 이론 및 실험적 연구가 수행된 바 있으나, 국내 아파트의 경우에 적용하기에는 개구부의 폭과 벽체의 두께 등 많은 차이가 있다.

따라서, 본 연구의 목적은 실험을 통하여 연결슬래브(Coupling slab)의 거동과 휨 강도와 강성평가

\* 정회원, 서울산업대학교 건축공학과 부교수

\*\* 정회원, 대한주택공사 주택연구소 연구원

\*\*\*정회원, 서울산업대학교 건축공학과 연구원

에 기여하는 유효 폭에 대하여 살펴봄으로써 동 시스템의 효율적인 설계를 위한 기초자료를 제공하는 데 있다.

## 2. 실험

### 2.1 실험체 계획

커플링 효과를 발생시키는 연결슬래브의 유효 폭은 이전에 경험한 비탄성응답으로 인한 면내 균열에 따라 좌우됨으로 실제 아파트건물로부터 개구부의 크기가 다른 장변방향의 두 부분 구조체를 선정, 제작함으로써 서로 다른 전단응력에 따른 균열분포의 영향을 고려하도록 실험체를 계획하였다(그림 1 참조).

실험체는 실물 크기로 제작하였으며, 슬래브는 모멘트가 반전되는 변곡점의 위치에서 절단되었다. 실험체 각 단면의 치수와 배근상세는 표 1 및 그림 2에 나타내었으며, 철근의 변형도 분포와 실험체의 항복 등을 결정하기 위하여 슬래브의 주근에 스트레인게이지를 부착하였다. 사용된 콘크리트의 강도는  $270 \text{ kgf/cm}^2$ 이며, 철근의 인장강도는 D10의 경우  $4,100 \text{ kgf/cm}^2$ , D16의 경우  $4,300 \text{ kgf/cm}^2$ 이다.

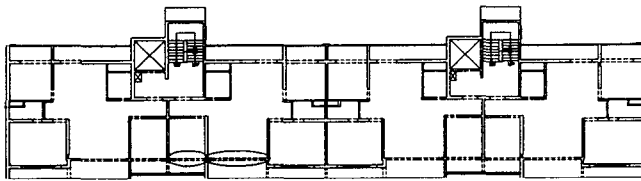


그림 1 실험대상 아파트 평면 및 부분 구조체의 선정 위치

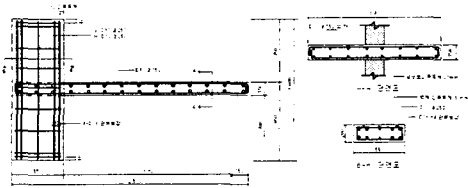


그림 2 실험체 배근상세

표 1 실험체 일람표

실험체명	실험체 형상	슬래브			벽체	
		층-스팬비	공칭 휨강도* (tf · m)	배근 (철근비,%)	축력 (tonf)	배근 (철근비,%)
LS1		12	3.7	0.54	$0.15 A_g f_{ck}$	1.58
LS2		8	3.7	0.54		1.04

\* 슬래브의 전단면이 유효한 것으로 가정한 경우

### 2.2 실험체 설치 및 가력방법

실험체 설치는 그림 3과 같이 슬래브에 반복 수직하중을 가력할 수 있도록 설치하였으며, 슬래브의 변형을 측정하기 위하여 슬래브의 단부와 슬래브의 상하면에 LVDT를 설치하였다.

실험체의 가력방식은 초기 2 사이클은 항복점을 결정하기 위하여 하중제어 하였으며, 3 사이클부터는 변위제어에 의하여 반복하중을 가력하였다. 가력하중의 이력형태는 그림 4와 같다. 벽체의 축하중은  $0.15 A_g f_{ck}$ 에 해당하는 하중을 실험종료시까지 유압잭을 사용하여 재하하였으며, 모든 LVDT와 스트레인게이지의 데이터는 TDS 602를 통해 수집하였다.

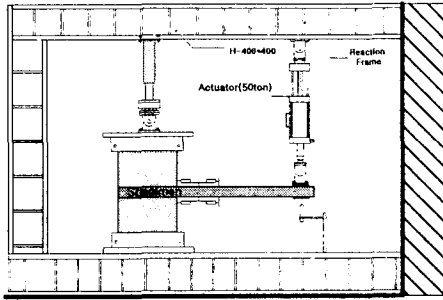


그림 3 실험체 설치

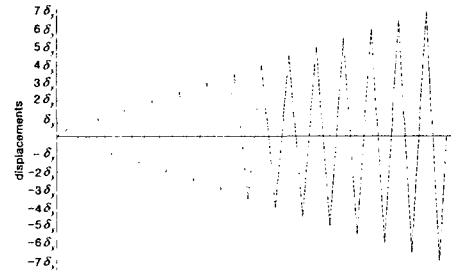


그림 4 하중이력

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 균열 및 파괴상황

두 실험체 모두 초기균열은 벽과 슬래브의 접합면에서 발생하였으며, 사이클이 증가됨에 따라 이 위치에서 균열이 집중되는 양상을 보였다. 균열은 휨에 의한 균열이 지배적이었으며, 벽체로의 진전은 거의 발생하지 않았다. 변위연성비 4를 넘으면서 슬래브의 콘크리트 피복이 박리되었으며, 최종파괴는 접합면의 균열이 크게 확대되어 휨파괴되었다.

축-스팬비가 작은 LS2의 경우 접합면에서의 파괴가 상대적으로 심한 것을 제외하고는 전체적인 균열 양상은 LS1과 유사하였다. 그림 5에 두 실험체의 균열 및 파괴상황은 도시하였으며 실험결과는 표 2에 나타내었다.

#### 3.2 하중-변위 곡선

그림 6에 두 실험체의 하중-변위 곡선을 도시하였다. 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 두 실험체 모두 파괴시까지 비교적 내력의 감소가 완만한 안정된 거동을 나타내었다. 실험체의 파괴는 LS1의 경우 변위연성비 7인 14사이클에서 발생하였으며, LS2의 경우 변위연성비 6.5인 13사이클에서 발생하였다. 이는 축-스팬비의 차이에 따른 영향 때문인 것을 사료되며, 강도의 감소정도 역시 이러한 경향을 반영하고 있는 것으로 나타났다. 하지만, 전단으로 인한 취성적인 파괴양상은 관측되지 않았다.

#### 3.3 실험체 최대내력과 강도의 변화

두 실험체의 사이클별 최대내력의 변화를 예측된 값과 비교하여 그림 7에 나타내었다. 계산된 실험체의 휨 강도는 슬래브의 전단면이 유효한 것으로 가정하여 계산된 것이다. 그림으로부터 알 수 있는 바와 같

이 실험값은 예측값보다 작은 것으로 나타났으며, 이러한 값의 차이는 춤-스팬비가 작은 LS2 실험체에서 더 큰 것으로 나타났다. 이는 벽체와 일체로서 거동하는 슬래브의 유효 폭이 예측된 바와 다르다는 것을 말해주는 것으로 슬래브의 커플링 효과 검토시 적절한 유효 폭에 대한 고려가 필요한 것으로 사료된다.

두 실험체의 강도변화는 그림 6의 하중-변위 관계로부터 관찰할 수 있다. LS1 실험체의 경우 변위연성비 1을 경험한 후 재하시 강도의 감소율은 약 3%였으며, 변위연성비 2에서 6%, 3에서 10%를 나타낸 반면, 춤-스팬비가 상대적으로 적은 LS2 실험체의 경우 변위연성비 1을 경험한 후 재하시 강도의 감소율은 약 2%, 변위연성비 2에서 7%, 3에서 13%로 나타나 비탄성 사이클이 증가함에 따라 강도의 감소정도가 점점 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 강도의 감소 경향은 춤-스팬비가 매우 낮은 경우 갑작스런 붕괴의 위험성을 내포하고 있으며, 불안정한 거동을 유도함으로써 에너지소산능력의 현저한 저하와 더불어 구조물 전체의 내진성능을 크게 감소시키게 되므로 설계시 주의하여야 한다.

표 3 실험결과

실험체명	항복하중( $F_y$ )		최대하중( $F_m$ )		최대변위( $\delta_{max}$ , mm)		변위연성비
	하중(tonf)	변위(mm)	하중(tonf)	변위(mm)	하중(tonf)	변위(mm)	
LS1	1.7	15.8	2.0	45.8	1.6	70.8	7
LS2	1.8	8.9	2.9	45.7	2.8	56.7	6.5

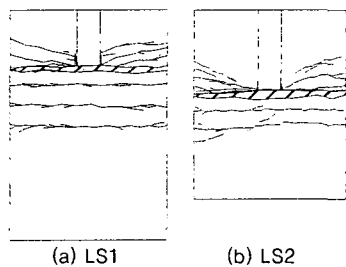


그림 5 최종파괴 및 균열상황

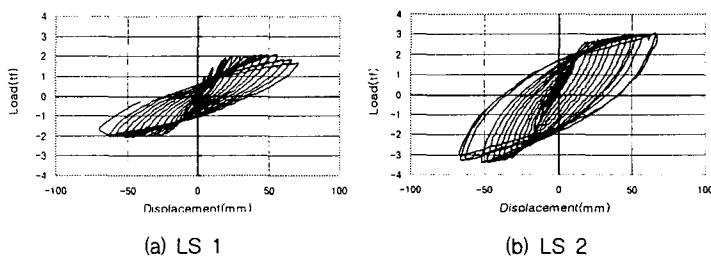


그림 6 하중-변위 곡선

### 3.4 강성의 변화

부재가 항복한 후, 휨 강성은 초기 탄성강성보다 작은 값을 갖게 된다. 강성의 저하현상은 소성영역에서 닫혀지지 않은 휨 균열과 전단변형 그리고 축방향 철근의 미끄러짐 등과 관련이 있으며, 하중-변형 관계로부터 이러한 사실을 관찰할 수 있다. 그림 8은 각 사이클별로 정·부방향 가력시의 최대 변위점을 잇는 강성의 변화를 초기 항복강성에 대한 비율로 나타낸 것으로, 비탄성 이력 사이클이 증가함에 따라 두 실험체 모두 강성이 저하되고는 있으나, 두 실험체 모두 휨 파괴되었으며 전단으로 인한 영향이 크지 않아 춤-스팬비의 변화에 따른 강성 저하의 차이는 크게 나타나지 않았다.

### 3.5 에너지 소산능력

에너지 소산능력은 요구되는 강도를 유지하면서 도입된 지진에너지를 소산시킬 수 있는 능력을 의미하

며, 하중-변위 곡선으로 둘러싸인 면적에 의하여 평가된다. 그림 9는 두 실험체의 누적된 에너지 소산량을 나타낸 것으로, 적용된 변위이력상의 오차와 춤-스팬비의 변화에 따른 내력상의 차이를 보정하기 위하여 각 변위연성에서 소산된 에너지를 항복시 소산된 에너지로 무차원화하여 나타낸 것이다. 무차원화된 에너지소산능력을 비교하여 보여주는 그림 9에 의하면 실험체의 춤-스팬비에 따라 에너지 소산능력이 다르게 평가되고 있음을 알 수 있다. 즉, 춤-스팬비가 12로 매우 세장한 부재인 LS 1 실험체는 항복강도와 항복 변위로 무차원화 시킨 단위에너지의 100배에 해당하는 에너지 소산능력을 보여주고 있으며 상대적으로 춤-스팬비가 짧은 LS 2 실험체는 단위에너지의 85배에 해당하는 에너지 소산능력을 보여주고 있다. 따라서 LS2 실험체가 춤-스팬비가 작을수록 상대적으로 에너지소산능력이 취약해질 가능성이 있다고 판단된다.

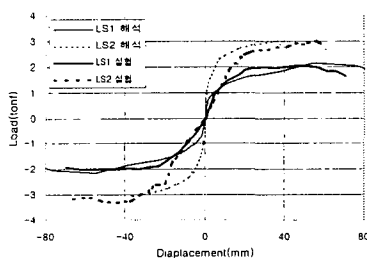


그림 7 최대강도 비교

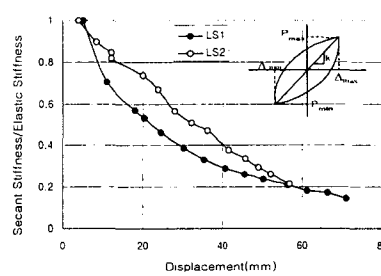


그림 8 강성저하비교

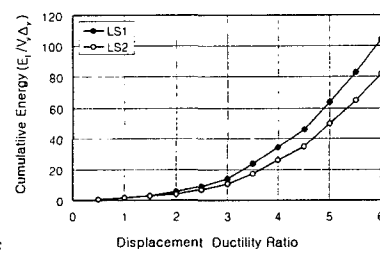
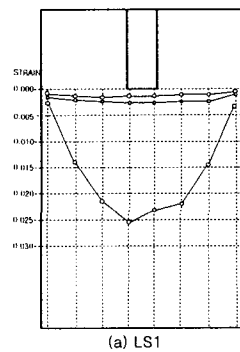
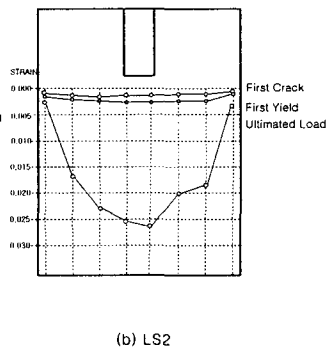


그림 9 무차원화된 에너지 소산능력의 비교



(a) LS1



(b) LS2

그림 10 슬래브 주근의 변형분포

표 3 기존 유효폭 제안식과 실험값과의 비교

	제안된 유효폭	휨강도 (tf · m)
Paulay & Priestly	8 h <sub>s</sub>	4.41
Schwaighofer & Collins	C+t	4.95
본 실험의 제안값	4 h <sub>s</sub>	3.49
실험값	-	3.56

C:개구부의 폭, t: 벽체두께, h<sub>s</sub>:슬래브의 두께

### 3.6 슬래브의 유효 폭

슬래브의 주 보강근에 부착된 스트레인게이지로부터 얻은 변형도 이력곡선은 슬래브의 커플링에 대한 중요한 정보를 제공한다. 그림 10은 두 실험체의 슬래브 길이방향 철근의 변형도 분포를 나타내고 있다. 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 철근의 항복이 발생하기 전까지는 모든 철근이 거의 비슷한 변형도를 나타내고 있으나, 하중이 증가함에 따라 점차 변형도의 차이를 보이기 시작하여 최대 하중에 이르러서는 상당히 큰 차이를 나타내었다. 최대하중시 인장영역 분포는 슬래브의 두께의 4배 정도이며, 약 슬래브 두께의 4배에 해당하는 영역내의 철근들은 항복을 경험하였다. 이는 기존 연구로부터 Paulay와 Priestley<sup>4)</sup>가 제안한 슬래브 두께의 8배나 Quader<sup>1)</sup>가 실험으로부터 제안한 (개구부 폭+벽두께)만큼의 유효폭에 비하여

매우 작은 값이다. 기존연구와 본 실험결과를 토대로 휨 강도를 계산한 결과가 표 2에 제시되어 있다. 표로부터 알 수 있는 바와 같이 슬래브 두께의 4배를 유효 폭으로 하여 계산한 값이 실험결과와 유사한 경향을 보이고 있으며, 기존 연구로부터의 결과는 큰 차이를 보이고 있다. 그러므로, 기존 연구로부터 제안된 값은 슬래브의 커플링 효과를 과대평가하고 있는 것으로 사료되며, 상기 결과는 제한된 실험결과에 근거한 것이므로 벽체와 커플링 작용을 하는 슬래브의 유효 폭을 정량화하기 위해서는 보다 많은 양의 데이터를 근거로 하여야 하므로 추가적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 벽체와 커플링효과를 나타내는 연결슬래브의 거동과 휨 강도 및 강성평가에 기여하는 유효 폭에 대하여 살펴보고자 벽체와 슬래브로 구성된 부분 구조체를 대상으로 실험을 실시하였으며, 이로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 실험결과, 동 시스템의 경우 균열과 파괴는 벽과 슬래브의 접합면에 집중되는 것으로 나타났으며, 연성적인 거동의 확보를 위해서는 접합면에 집중되는 파괴에 대한 보강이 필요할 것으로 판단된다.
- (3) 벽체와 커플링 작용을 하는 연결슬래브의 유효 폭은 기존의 연구에서 제안한 값과 비교하여 큰 차이가 있는 것으로 나타났으며, 이를 정량화하기 위해서는 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부 99 산학연 연구개발사업(과제번호: 건축-06-01)과 한양대학교 초대형구조시스템연구센터의 연구지원에 의한 연구내용의 일부로서, 본 실험체의 제작에 도움을 주신 (주)대우건설에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. A. Qadeer, B. Stafford Smith, "The Bending Stiffness of Slabs Connecting Shear Walls", American Concrete Institute Journal, Vol. 66, Jun., 1969, pp.464-472
2. A. Coull and A. A. El-Hag, "Effective Coupling of Shear Walls", American Concrete Institute Journal, Vol. 64, No. 2, Feb., 1967
3. T. Paulay and R. G. Taylor, "Slab Coupling of Earthquake-Resisting Shearwalls", ACI Journal, Mar.-Apr., 1981, pp. 130-140
4. T. Paulay, M. J. N. Priestley, "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings", John Wiley & Sons, INC., 1992. pp.362-389
- 5 Joseph Schwaighofer, Michal P. Collins, "Experimental Study of the Behavior of Reinforced Concrete Coupling Slabs", ACI Journal, Mar., 1977, pp.123-127