



## 벽식 아파트 구조에서 연결부재의 거동특성

장극관<sup>1)\*</sup> · 서대원<sup>1)</sup> · 천영수<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>서울산업대학교 건축공학과 <sup>2)</sup>대한주택공사 주택연구소

(2001년 8월 2일 원고접수, 2002년 1월 3일 심사완료)

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

Kug-Kwan Chang<sup>1)\*</sup>, Dae-Won Seo<sup>1)</sup>, and Young-Soo Chun<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Architectural Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul, 139-743, Korea

<sup>2)</sup> Korea National Housing Corporation, Sungnam, 463-704, Korea

(Received on August 2, 2001, Accepted on January 3, 2002)

### ABSTRACT

A common form of construction for apartment buildings consists of walls and coupling elements. But, the structural behavior of coupling elements are very complex and affected by the properties of coupling elements.

The objective of this study is to estimate the behavior of coupling elements in wall-dominant systems. For the purpose of this study, two wall-slab specimens and two wall-beam specimens were tested. The specimens with different reinforcement layouts were subjected to reversed cyclic loading, consistent with coupling action, with increasing imposed inelastic deformations.

From the results of this study, 1) in coupling slabs, the stresses were not uniform across the width, 2) the effective width of coupling slabs was found smaller than that of predicted from previous studies, 3) diagonally reinforced coupling beam with slab showed larger ductility and more amount of energy dissipation to be attained compared with conventionally reinforced coupling beam.

**Keywords :** coupling slab, coupling beam, apartment building, shear walls

### 1. 서 론

현재 국내에서 건설되고 있는 대부분의 아파트는 철근콘크리트 전단벽과 바닥슬래브만으로 구성된 순수벽식 구조형태로 근래에는 이러한 구조형식으로 25층 이상의 초고층아파트가 건설되고 있다. 이러한 벽식아파트의 설계를 위한 구조해석에는 ETABS 등의 해석프로그램이 주로 사용되고 있으나, 전단벽의 이형성에 대한 강성평가 및 연결부재의 응력분석 등에 어려움이 있기 때문에 전체건물의 수평하중에 대한 해석시에는 바닥슬래브는 평면방향으로 강막효과(rigid diaphragm effect)를 가지는 것으로 가정하여 해석을 수행하고 있다. 즉, 슬래브의 강막(diaphragm)작용에 의해 모든 전단벽이 같은 변형을 일으킨다는 가정에 따라서 벽체를 이상화시켜, 변위응답을 산정하는 방법이 일반적이다.

그러나 이러한 벽식구조의 슬래브는 전단벽사이의 개구

부로 인하여 응력이 바닥판의 전폭에 균일하지 않으며, 거실과 안방처럼 개구부의 크기와 차이에 따른 연결부재의 단면변화로 인한 강도와 강성차이는 지진 등 수평하중에 대해구조적 문제점을 야기 시킨다.

대한주택공사<sup>1,2)</sup> 및 한국건설기술연구원<sup>3)</sup>에서는 기존의 중저층 아파트에서 채용되던 벽식구조형식에 의한 초고층 아파트가 건설될 경우의 문제점에 대한 분석 후에 대안으로 조적벽을 전단벽으로 대체할 것, 벽의 단부는 띠철근으로 배근하고 벽체는 보로 연결할 것 등을 제안하고 있다. 그러나 이 보고서에서의 결과는 탄성정적해석에 의한 결과를 바탕으로 하고 있으며, 따라서 지진하중 등에 대한 안정성의 평가가 충분하다고 하기는 어렵다. 이외에도 벽식아파트에 대한 연구가 전단벽체의 거동에 집중되어 왔으나, 연결부재에 대한 자료는 매우 부족한 상태이다.

해외의 경우 벽식구조에 대한 연구로는 Quadeer<sup>4)</sup>이후에, Coull<sup>5)</sup>, Paulay와 Taylor<sup>6)</sup>등에 의해 슬래브의 유효 휨강성과 전단력에 대한 해석 및 실험적 연구가 수행되었으며, Schwaighofer<sup>7)</sup>는 연결슬래브의 실험에 의해 전단응력에 대한 위험단면은 전단벽 내부단 주위의 U형태이고 3

\* Corresponding author

Tel : 02-970-6667 Fax : 02-974-1480

Email : kkch@plaza1.snut.ac.kr

면이 같은 길이임을 제시하였다.

3면의 길이는  $3(t+d)$ 로서 허용전단응력은  $4\sqrt{f_{ck}}$  (psi)가 되어 허용전단력은  $4\sqrt{f_{ck}}3d(t+d)$ 로 산출할 수 있음을 제안하였다( $t$ : 전단벽의 두께,  $d$ : 슬래브의 두께). 또한 횡력에 저항하는 슬래브의 폭은 개구부 폭과 동일하게 고려할 수 있음을 제시하였다. 이외에도 Paulay, Priestley<sup>8)</sup>는 횡력에 저항하는 연결슬래브의 폭이 슬래브 두께의 8배 정도로 산정하여 이 폭만큼의 슬래브에 전단 보강근을 제안하였다. 또한 연결보에 대하여 보 전체의 X자형 보강근을 제시하였다. 그러나 이러한 대부분의 연구가 국내 아파트의 경우에 적용하기에는 개구부의 폭과 벽체 및 슬래브의 두께 등 많은 차이가 있어 연구결과를 그대로 적용하기에는 많은 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 부분구조체 실험을 통하여 국내 벽식구조의 연결부재, 즉 슬래브 및 연결보의 내진성능을 조사하고, 보강에 따른 효과를 검토하여 벽식아파트의 효율적인 구조설계를 위한 기초 자료를 제시하는데 그 목적이 있다.

## 2. 실험 계획 및 방법

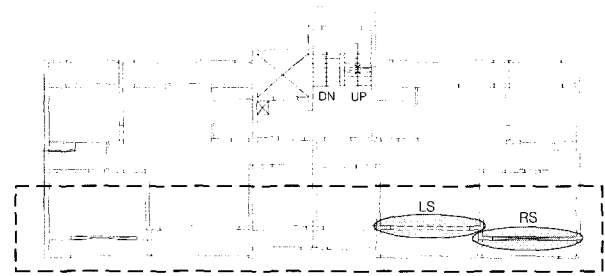
### 2.1 실험계획

실험체는 Fig. 1 과 같은 아파트건물의 구조해석을 수행한 후 콘크리트구조설계기준(건설교통부,1999)을 적용한 부재설계를 바탕으로 하여 장변방향 개구부의 연결슬래브 및 연결보를 대상으로 실물크기로 제작하였다<sup>12,13)</sup>. 일반적으로 실무에서 슬래브의 부재설계는 수직하중에 의하여 결정되어지며, 횡력에 대한 고려는 하지 않고 있다. 또한 연결보의 휨강성은 단부의 힌지발생을 가정하여 실제보다 상당히 낮은 값으로 고려하기 때문에 병렬전단효과를 기대하기 어렵다. 따라서 횡하중에 대한 벽식구조의 거동이 연결부재의 강성에 따라 큰 영향을 받게 되며 이에 대한 합리적인 고려가 필요하다. 슬래브로 연결된 경우, 슬래브 두께의 8배만큼의 유효폭을 고려하여<sup>8)</sup> 해석을 수행한 후 요구되는 철근량을 배근한 LS2 실험체와 수직하중만을 고려한 기존의 설계방식에 의한 LS1 실험체로 구분하여 연결슬래브 실험체를 제작하였다. 연결보의 경우 역T형의 형태의 슬래브를 포함한 현행설계에 의한 RS1 실험체와 소성힌지부에 X자형으로 보강한 RS2 실험체를 제작하였다. 실험체별 특성은 Fig. 1, Table 1에 나타나 있다.

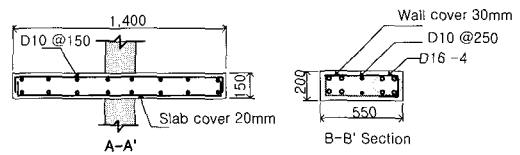
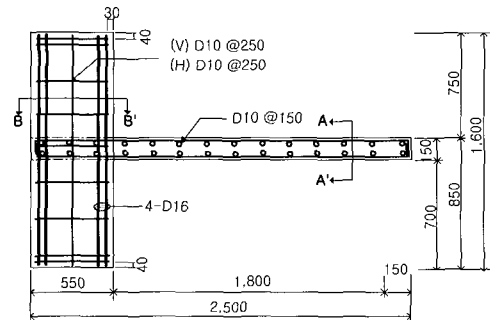
### 2.2 사용재료

콘크리트는 설계기준강도  $270 \text{ kgf/cm}^2$ 이고, 슬럼프는 12 cm로 제한하였다. 실험체의 보강근으로는 항복강도  $4000 \text{ kgf/cm}^2$ 의 고강도 철근을 사용하였으며, 벽체는 D10, 단부보강근

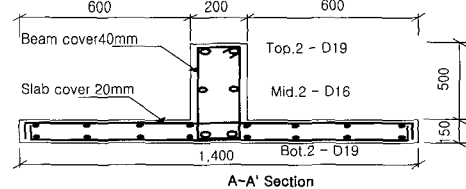
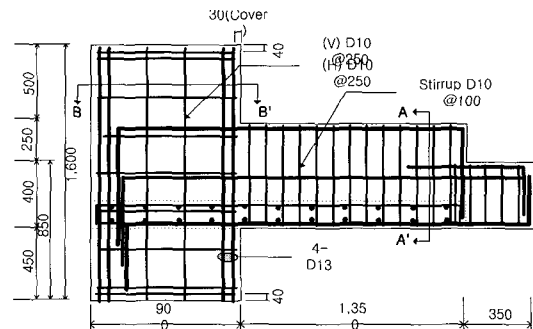
으로는 D16을, 슬래브는 각 방향 D10, 보주근은 D19를 사용하였다.



(a) Floor plan



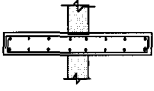
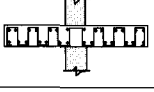

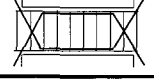
(b) LS



(c) RS

Fig. 1 Locations and details of specimens

Table 1 Specimen characteristics

	Reinforcement layout	a/d	$\rho_s$ (%, Total)	$M_n$ (tf · m)	$V_n$ (tonf)	
Slab	LS1		12	0.54	3.7	2.1
	LS2		12	0.94	5.8	3.2
Beam	RS1		2.3	0.54	44.32(+) 39.49(-)	29.55(+) 25.19(-)
	RS2		2.3	0.54		

### 2.3 실험체의 설치 및 가력방법

실험체는 연결슬래브와 보(린넬부재)에 반복하중을 가력할 수 있도록 설치하였으며, Fig. 2와 같이 상·하부와 측면에 LVDT를 설치하였다. 또한 철근의 변형도 분포와 실험체의 항복 등을 결정하기 위하여 스트레인게이지를 부착하였다.

하중의 가력방식은  $0.15 A_g f_{ck}$ 에 해당하는 축하중을 벽체에 일정하게 가력한 상태에서, 점증가력하였으며, 초기 1, 2 사이클은 항복점을 측정하기 위하여 하중제어하였고, 3사이클부터는 변위제어에 의하여 반복하중을 가력하였으며, 역T형 보의 경우 하중은 슬래브가 압축을 받는 경우를 정(+)  
방향으로, 슬래브가 인장을 받는 경우를 부(-)  
방향으로 정의하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 균열 및 파괴양상

모든 슬래브 실험체의 초기균열은 벽과 슬래브의 접합면에서 발생하였으며, 하중이 증가됨에 따라 이 위치에서 균열이 집중되는 양상을 보였다. 균열은 휨에 의한 균열이 지배적이었으며, 벽체로의 진전은 거의 발생하지 않았다. LS1의 경우, 변위연성비 4를 넘으면서 슬래브의 콘크리트 피복이 박리되었으며, 최종파괴는 접합면의 균열이 크게 확대되어 휨파괴되었다. 보강된 실험체 LS2는 접합면에서의 균열 및 파괴가 집중된 기존배근의 실험체에 비해 넓은 부분에 분산되었다. 균열의 진전은 양호하였으나 하중이 증가할수록 뿔임전단 균열이 발생하였다.

RS1 실험체는 정(+)  
방향 가력시 초기부터 전단균열의 발생이 두드러졌다. 초기균열은 +1사이클(8.3 tonf)에 벽체와의 접합면에서 5 cm정도 떨어진 곳에서 발생하였으며,

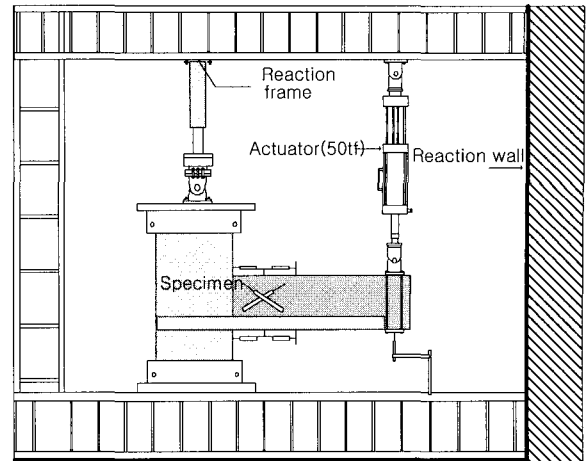


Fig. 2 Test setup

3사이클시 균열이 벽체 내부로 진전되어 6사이클에서는 벽체 중앙부까지 균열이 진전되었다. 부(-)  
방향 가력시의 균열은 보의 형태가 역 T형이므로 슬래브에서 주로 발생하였으며 7사이클에 보로 균열이 진전되어 이 균열이 심화되었다. 전체적인 파괴양상은 보 상부 압축영역의 파쇄에 의한 전단 압축파괴의 양상으로 나타났으며, 주로 벽과 보의 접합면에서 파괴가 집중되어 나타났다. 연결보의 힌지부에 X자형 철근으로 보강한 RS2 실험체의 전체적인 균열 양상은 RS1과 유사하게 나타났다. 다만, 보에서 전단 균열의 발생과 접합부로의 진전이 느리게 나타났으며, RS1 실험체보다 균열이 집중되지 않고 분산되는 경향을 보였다. 하지만, 10사이클을 넘어서면서부터는 벽체로 균열이 진전되고 보의 균열도 크게 발전하여 주근을 따라 쪼갬균열이 발생하였으며, 보 상부의 콘크리트가 박리되면서 내력이 급속하게 저하되었다.

실험체의 균열 및 파괴상황은 Fig. 3에 도시하였으며 실험결과는 Table 2에 나타내었다.

### 3.2 하중-변위곡선

실험체의 하중-변위 곡선은 Fig. 4에 도시하였다. (a), (b)부터 알 수 있는 바와 같이 슬래브로 연결된 LS Series 실험체의 경우 모두 파괴시까지 비교적 내력의 감소가 완만한 안정된 거동을 나타내었다.

보로 연결된 실험체 RS Series의 경우 슬래브의 영향으로 가력방향에 따른 강도와 강성의 차이가 크게 나타났고 전단의 감소영향으로 인한 편칭현상이 발생되었다. 이러한 강도와 강성의 저하는 전단균열이 심화되기 시작한 후반 사이클에서 특히 크게 나타나 전단저항능력의 상실이 주요 원인인 것으로 판단되며, 정(+)  
방향 가력시보다는 부(-)  
방향 가력시 요구 전단강도의 증가에 따른 내력상실과 강성의 감소가 더 큰 것으로 나타났다. 부(-)  
방향 가력의

경우 기존 배근방식의 RS1 실험체는 이전에 경험한 비탄성 싸이클의 영향으로 인하여 내력의 현격한 감소를 나타내 최종적으로 RS2보다 50% 이상 강도가 낮게 평가되었다. 이러한 강도의 저하는 공칭 휨 강도보다도 낮게 나타나 설계시 주의 깊게 고려되어야 할 것으로 사료된다.

반면, RS2 실험체는 정(+), 부(-)방향 가력시 슬래브로

인한 강도와 강성의 차이는 RS1과 유사한 경향을 보였으나, 하중의 증가에 따른 내력과 강성의 감소는 크게 개선되어 나타났다. 또한 정(+), 부(-)방향의 내력차가 크게 줄어들었으며 상대적인 강도 감소율 저하는 X자형 보강근의 추가 보강에 따른 전단 저항능력의 증가 때문인 것으로 판단된다.

Table 2 Summary of test results

	$\Delta_y$ (mm)	$P_y$ (tf)	$\Delta_m$ (mm)	$P_m$ (tf)	$\Delta_u$ (mm)	$P_u$ (tf)	$E_t$ (tf · mm)	Displacement ductility	
								$u_{\Delta 1}$	$u_{\Delta 2}$
LS1	11.0	1.4	55.8	2.07	70.1	1.6	980.3	5.06	6.36
LS2	14.2	2.0	76.12	3.36	92.4	3.1	2562.2	5.36	6.54
RS1	8.0	13.5(+) -9.1(-)	40.0 -50.1	25.6 -17.8	51.0 -65.2	18.7 -16.24	4326.3	5.00	6.46
RS2	8.1	13.3(+) -16.5	44 -55.1	27.5 -32.2	56.2 -70.3	21.0 -27.2	6705.5	5.00	6.99

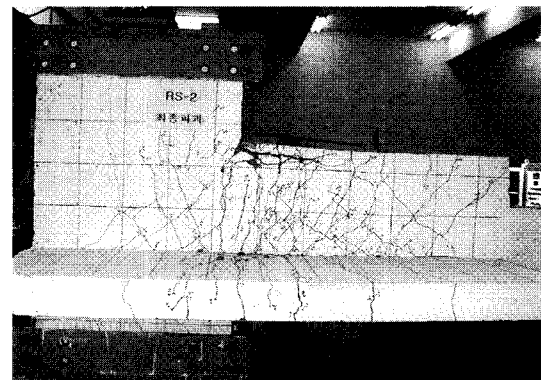
$\Delta_y$  : Displacement at yielding,  
 $P_y$  : Load at yielding,  
 $u_{\Delta 1} = \frac{\Delta_m}{\Delta_y}$  ,  $u_{\Delta 2} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$

$\Delta_m$  : Displacement at maximum strength,  
 $P_m$  : Load at maximum strength,

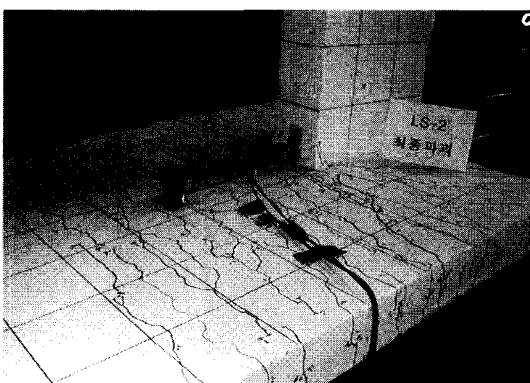
$\Delta_u$  : Displacement at failure,  
 $P_u$  : Load at failure,



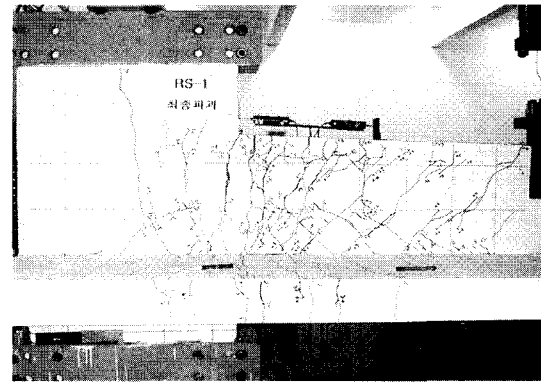
(a) LS1



(c) RS1



(b) LS2



(d) RS2

Fig. 3 Crack patterns and failures of specimens

### 3.3 강성의 저하

각 실험체의 강도변화는 Fig. 4의 하중-변위 관계그래프로부터 읽을 수 있다.

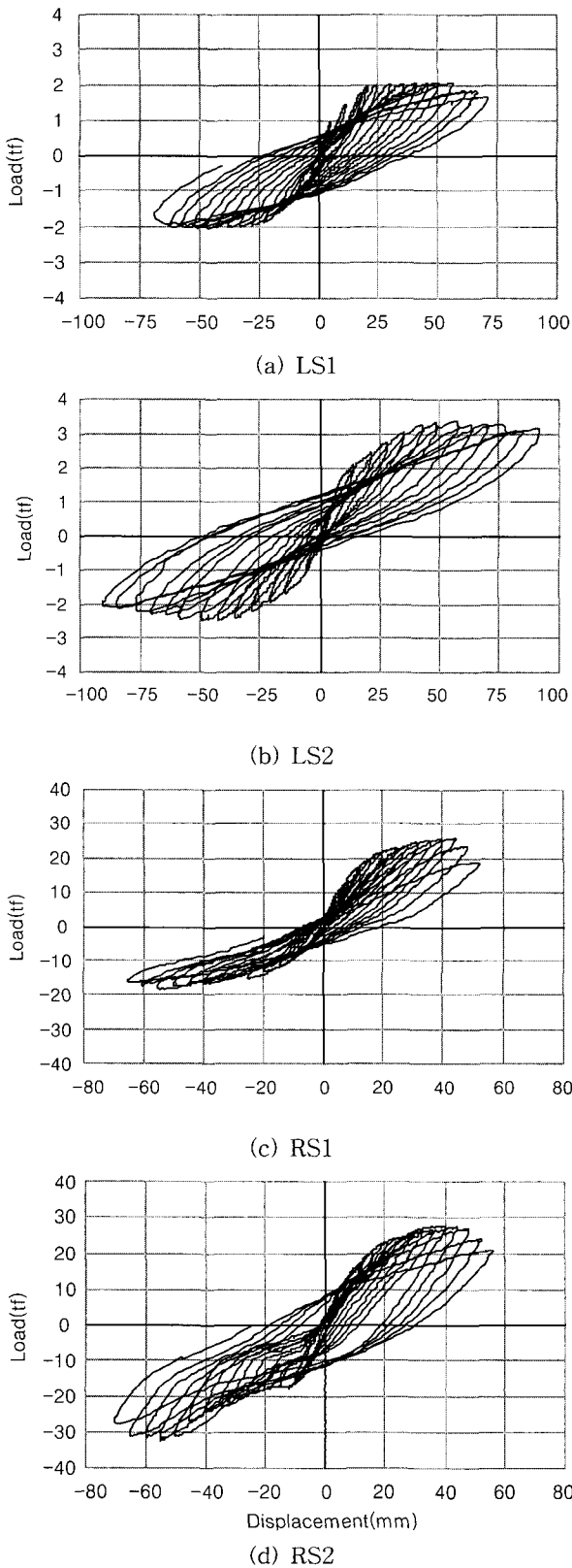


Fig. 4 Load-displacement relations

Fig. 5는 각 사이클별로 정·부방향 가력시의 최대 변위점을 잇는 강성의 변화를 초기 항복강성에 대한 비율로 나타낸 것으로, 비탄성 이력 사이클이 증가함에 따라 슬래브로 연결된 LS실험체 모두 강성이 저하되고는 있으나, LS1의 경우보다, 보강된 실험체 LS2의 강성저하가 상대적으로 양호하게 나타났다. 따라서, LS2는 사이클 후반에 벽체 주위에 뚫림전단의 균열이 발생하기는 하였으나 균열의 폭이 그다지 크지 않았고, 전단보강에 대한 내력증가의 효과가 있음을 추정할 수 있다. RS1 실험체의 경우 비탄성 사이클의 진전에 따른 전단균열의 심화와 전단 저항능력의 상실로 급격한 강성의 저하현상을 보이고 있는 반면, RS2 실험체의 경우에는 X자형 보강근의 영향으로 이러한 핀칭현상이 개선되고 있음을 알 수 있으며, 이로 인해 상대적으로 안정된 이력거동을 나타내고 있음을 볼 수 있다.

이러한 강성저하는 실험체에 적용된 전단응력과 변위연성비의 크기 그리고 소성힌지부에 나타난 균열의 크기 즉, 소성힌지부의 전단변형과 닫혀지지 않은 사인장 균열에 의한 것으로, X자형 보강근은 사인장 균열을 억제하고 실험체의 이력거동을 개선하는데 상당한 효과가 있는 것으로 판단되며, 스티럽만의 보강으로는 소성힌지부에 발생된 높은 전단력을 저항하기에 부족한 것으로 판단된다.

### 3.4 에너지소산능력

에너지 소산능력은 실험체가 지니고 있는 고유한 에너지 흡수능력을 산정하여 내진성능을 평가하기 위한 것으로 하중-변위 곡선으로 이루어진 면적에 의하여 산정될 수 있다. Fig. 6은 실험체의 누적된 에너지 소산량을 나타낸 것으로, 적용된 변위이력상의 오차와 보강근량 변화 및 연결부재의 형상에 따른 내력상의 차이를 보정하기 위하여 각 변위연성에서 소산된 에너지를 항복시 소산된 에너지로 무차원화하여 나타낸 것이다. Fig. 6에 의하면 슬래브 실험체에 비해 연결보 실험체의 에너지 소산능력이 다르게 평가되고 있음을 알 수 있다. 즉, 춤-스팬비가 12로 매우 세장한 LS1 실험체는 항복강도와 항복변위로 무차원화시킨 단위에너지의 약 80배에 해당하는 에너지 소산능력을 보여주고 있으며 기존배근의 연결보 RS1 실험체는 단위에너지의 60배에 해당하는 에너지 소산능력을 보여주고 있다. 따라서 각각의 부재가 연결되어지는 부분에서는 서로의 강도 및 에너지소산능력의 차이로 인한 불균형으로 건물전체의 성능이 취약해질 가능성이 있으며 이러한 부재간의 큰 차이가 생기는 연결부에 대한 적절한 보강이 필요하다고 사료된다.

보강된 실험체 LS2는 LS1에 비해 단위에너지의 120배 정도의 에너지소산량 증가를, X자형 철근으로 보강한 RS2 실험체는 스티럽만으로 보강된 RS1에 비하여 16% 증가한 단위에너지의 약 80배의 에너지 소산량을 나타내

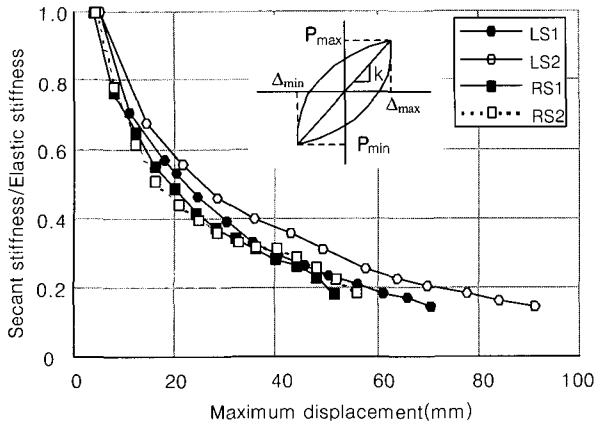


Fig 5 Stiffness degradation of specimens

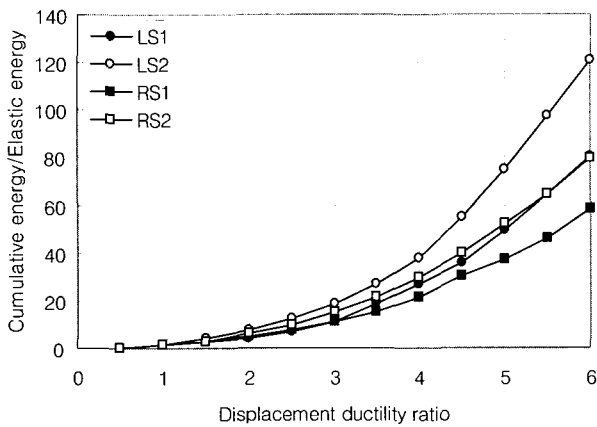


Fig. 6 Cumulative energy dissipation of specimens

고 있다. 이러한 차이는 후반 싸이클로 갈수록 심화되는 것을 알 수 있다. 이는 소성힌지부에 발생하는 큰 전단력을 스티럽 보강만으로는 효과적이지 못하며 핀칭현상 및 강도저하현상이 나타난 것으로 판단된다.

### 3.5 슬래브의 변형

슬래브의 주 보강근에 부착된 스트레인게이지로부터 얻은 변형도 이력곡선은 연결슬래브의 거동에 대한 중요한 정보를 제공한다. Marquis가 슬래브의 휨에 기여하는 유효폭을 측정하는 방법<sup>11)</sup>으로 LS Series 실험체의 슬래브 길이방향 철근의 변형도 분포를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 볼 수 있는 바와 같이 철근의 항복이 발생하기 전까지는 모든 철근이 거의 비슷한 변형도를 나타내고 있으나, 하중이 증가함에 따라 상당히 큰 차이를 나타내었다. 최대하중시 인장응력 분포는 슬래브 주근량에 따라 다소간의 차이가 있으나 슬래브의 두께의 4배 정도폭에서 비교적 일정한 거동을 보였으며 휨능력에 기여하는 것으로 추정된다. 이는 기존 연구로부터 Paulay와 Priestley<sup>8)</sup>가 제

안한 슬래브 두께의 8배나 Schwaighofer<sup>7)</sup>가 제안한 (개구 부폭+벽두께)만큼의 유효폭에 비하여 매우 작은 값이다. 이는 국내 아파트 구조의 슬래브 부재가 세장하고, 횡력에 대한 적절한 휨 및 전단보강이 되어지지 않기 때문으로 사료된다. 기존연구와 본 실험결과를 토대로 휨 강도를 계산한 결과를 Table 3에 정리하였다. Table 3으로부터 알 수 있는 바와 같이 슬래브 두께의 4배를 고려하여 산정한 휨모멘트 값은 기존 연구로부터 산정된 결과와는 큰 차이를 보이고 있다. 그러므로, 기존 연구로부터 제안된 값은 국내 아파트구조에 적용하기에는 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<sup>12)</sup>.

슬래브의 위치에 따른 변형을 측정하기 위해 내측전단벽의 접합면(region 1)과 d만큼 떨어진 영역(region 2)로 나누어 변형량을 측정하였다. Fig. 8에서 도시한 바와 같이 벽체와의 접합면에 파괴가 집중된 LS1 실험체는 LS2 실험체에 비해 측정지점에서의 변형차이가 크게 나타났다. 이는 슬래브의 파괴가 내부전단벽에 집중됨으로 벽체에서 멀어질수록 균열의 발생 및 변형이 작은 것으로 판단된다. LS2 실험체는 하중이 증가할수록 벽체면과 d만큼 떨어진 영역에서의 변형차이가 증가하기는 했지만 동일한 변위(50 mm)에서 LS1과 비교하여 약 40% 작은 값을 나타내었다. 이는 전단보강된 철근이 응력 재분배 효과가 있으며, 위험단면의 집중현상을 어느 정도 완화시켜주는 효과가 있는 것으로 판단된다. LS1 실험체의 경우 균열양상에서도 나타난 바와 같이 접합면에 변형이 집중됨으로 위험단면이 내측전단벽의 접합면에 형성되며 이는 기존 해외 연구의 U자형 위험단면과는 다른 양상을 나타냄으로 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

연결슬래브의 변위를 벽체의 회전량으로 변환할 경우,<sup>9)</sup> 국내 허용층간변위각인 0.015의 벽체변형시에 기존배근방식의 연결슬래브는 이미 항복이후(변위연성비 2)에 해당하며, 반면에 보강된 실험체 LS2의 경우 부재항복시점(변위연성비 1)과 거의 일치하였다. 따라서 현행설계기준으로 배근된 슬래브는 횡력에 효과적으로 저항할 수 없음을 보여준다.

Table 3 Comparison of effective width (LS1)

	Effective width	Moment capacity (tf · m)
Paulay & priestly	8d	4.41
Schwaighofer & collins	C+t	4.95
Experimental value	4 d	3.49

C : Width of opening, t : Wall thickness, d : Slab thickness

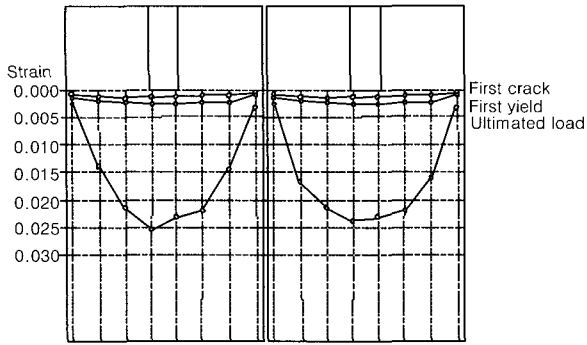
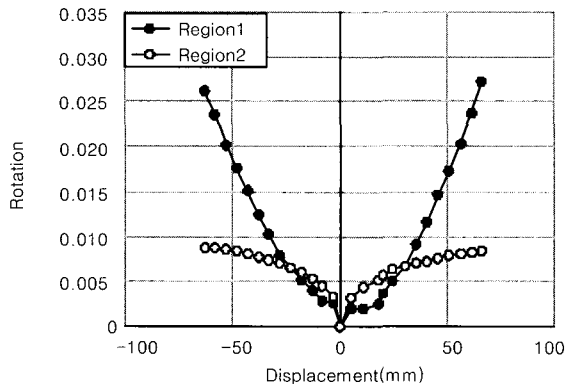
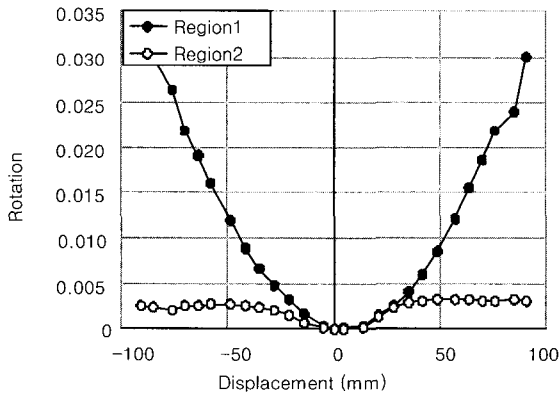


Fig. 7 Distribution of strain in slab longitudinal bars for specimens



(a) LS1



(b) LS2

Fig. 8 Slab rotation

### 3.6 연결부의 거동

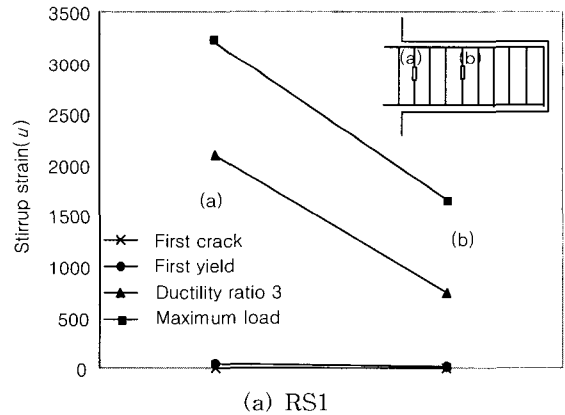
연결부의 힌지부 X자형 전단보강근의 효과를 검토하기 위하여 스티럽의 변형율을 비교하였다. Fig. 9에서 실험체의 벽체에 면한 스티럽과 벽체에서 d 만큼 떨어진 스티럽의 변형율을 비교하였다. Fig. 9에서 보여진 바와 같이 접합부에 면한 스티럽의 경우 X형으로 추가보강을 한 RS2의 경우 RS1에 비하여 현저히 작은 값을 나타내며 하중 10 사이클까지 항복되지 않았다. 그러나 기존 배근의 RS1은 하중 6 사이클(변위연성비 3)에 이미 스티럽근이 항

복하여 변형율이 크게 증가한 것을 알 수 있다. 따라서, X형 보강근이 전단균열에 의한 파괴를 저지하고 응력집중을 완화시키는 효과가 있는 것으로 판단된다.

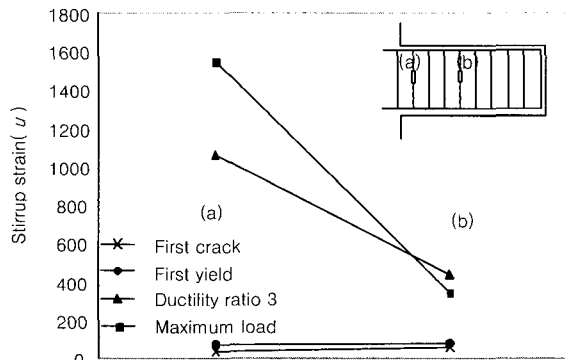
스티럽근이 RS2가 10사이클에서 항복한 것에 비해 Fig. 10에서 볼 수 있는 바와 같이 X형 보강근은 하중 4사이클에 이미 항복을 하여 그 변형도가 Fig. 9에 도시한 스티럽근의 변형에 비해 크게 증가한 것을 알 수 있다.

보의 전단변형도는 Fig. 2와 같이 측정되었으며, 전체 전단변형도는 2개의 성분으로 구분하여 구하였다. 전단변형도의 최대값을 작용된 전단력의 관계로 나타내면 Fig. 11과 같다. Fig. 11에서 나타낸 바와 같이 정(+)방향에서는 거의 비슷한 거동을 보였으나, 부(-)방향에서는 현저히 줄어들었다. 각 방향에서의 전단변형도의 감소효과는 정방향 5%, 부방향 50%가 LS1에 비해 줄어들었으며, 따라서 X형 보강근이 전단변형의 저항에 효과가 있음을 알 수 있다.

이러한 힌지부 X형보강근의 면내효과는 Fig. 12에 도시하였다<sup>10)</sup>. Fig. 12에 도시한 바와 같이 하중이 증가할수록 X형철근에 의해 F방향으로의 구속효과에 의하여 보의 전단저항기구에 기여하는 것으로 판단되며, 대각선 방향의 전단균열이 발생한 5사이클(변위연성비 2.5)까지 X형 보강근이 미끄러짐균열 방지 및 균열폭의 증가에 대해 억제 효과를 가진 것으로 추정할 수 있다.



(a) RS1



(b) RS2

Fig. 9 Variation of stirrup-strains along beam

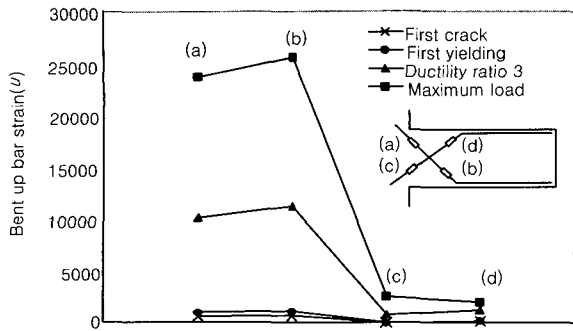


Fig. 10 Variation of bent up bar strains along RS2

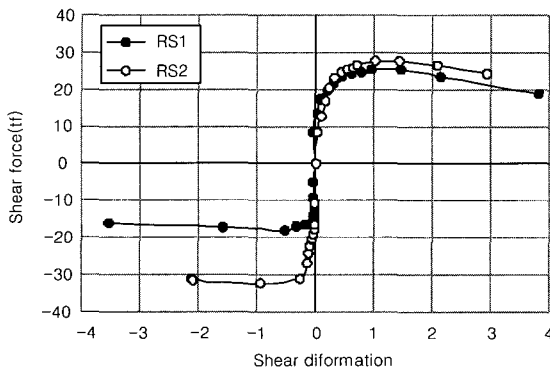


Fig. 11 Shear deformation degradations of specimens

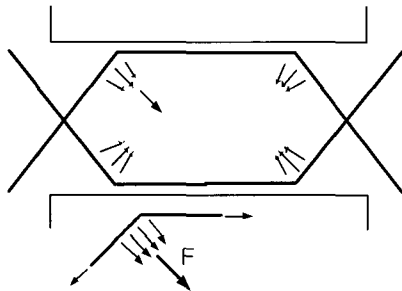


Fig. 12 In plane compression forces "F" induced by X-bars of specimens RS2

#### 4. 결 론

본 연구에서는 벽체와 커플링효과를 나타내는 연결슬래브 및 연결보의 상대강성에 따른 커플링 거동을 살펴보기 위해 벽체와 슬래브, 벽체와 보, 슬래브로 구성된 부분 구조체를 대상으로 실험을 실시하였으며, 이로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 실험결과, 동 시스템의 경우 현행배근방식의 연결슬래브의 균열과 파괴는 벽과 슬래브의 접합면에 집중되는 것으로 나타났으며, 벽체의 허용변위각 이전에 항복하였다. 따라서 설계시에 지진 등의 횡력에 안전한 거동의 확보를 위해서는 적절한 보강이 필요하다고 판단된다.

(2) 슬래브에서의 굴곡형 철근배근은 전단보강에 상당한 효과를 보였다.

(3) 벽체와 커플링 작용을 하는 연결슬래브의 유효 폭은 기존의 연구에서 제안한 값과 비교하여 큰 차이가 있는 것으로 나타났으며, 국내의 아파트구조에 적용하기에는 과대평가된 것으로 보여지며, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

(4) 현행 설계에 의한 벽체 연결보는 사이클하중 작용시 급격한 전단저항능력의 상실과 함께 강도와 강성의 급격한 저하를 경험하는 것으로 나타났으며, 스티럽만의 보강으로는 이러한 강도와 강성의 감소를 억제하기에 부족한 것으로 판단된다.

(5) 연결 보에서의 X자형 보강은 사인장 균열의 억제와 전단변형의 감소효과가 있는 것으로 평가되며, 핀칭현상을 개선하여 안정된 이력거동을 확보할 필요가 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부 99 산학연 연구개발사업(과제번호: 건축-06-01)의 연구내용의 일부로서, 본 실험체의 제작에 도움을 주신 (주)대우건설의 김동현부장, 한양대학교 초대형구조시스템 연구센터(STRESS), 수원정자 대우아파트 현장 조운준 소장님 및 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 대한주택공사, "공동주택의 내진성능 향상을 위한 구조 계획기법 연구," 대한주택공사 연구보고서, 주택연구자료 주택생산기술, 1987.
2. 대한주택공사, "아파트 건물의 구조형식에 관한 연구-초고층 아파트를 중심으로," 대한주택공사 연구보고서, 연구' 90-16, 1990.
3. 과학기술처, "신주택 기술개발, 초고층 아파트 최적기법 개발(II)," 한국건설기술연구원, '91 SE 024-2, 1992.
4. Qadeer, A., and Smith, B. S., "The Bending Stiffness of Slabs Connecting Shear Walls," *ACI Structural Journal*, Vol. 66, Jun., 1969, pp.464~472.
5. Coull, A., and El-Hag, A. A., "Effective Coupling of Shear Walls," *ACI Structural Journal*, Vol. 64, No. 2, Feb., 1967.
6. Paulay, T., and Taylor, R. G., "Slab Coupling of Earthquake-Resisting Shearwalls," *ACI Structural Journal*, Mar.-Apr., 1981, pp.130~140.
7. Schwaighofer, J., and Michal, Collins, P., "Experimental Study of the Behavior of Reinforced Concrete Coupling Slabs," *ACI Structural Journal*, Mar., 1977, pp.123~127.



8. Paulay, T., and Priestley, M. J. N., "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings," John Wiley & Sons, INC., 1992. pp.362~389.
9. Tso, W. K., and Mahmoud, A. A., "Effective Width of Coupling Slabs in Shear Wall Buildings," ASCE, ST3, Mar., 1977, pp.573~585.
10. Tassios, T. P., Moretti, M., and Bezas, A., "On the Behavior and Ductility of Reinforced Concrete Coupling Beams of Shear Walls," *ACI Structural Journal*, Nov.-Dec., 1996, pp.711~720.
11. Marquis, G. M., "Effect of High-strength Concrete on the Seismic Response of Concrete Frames," M. Eng. Thesis, Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, Montreal, Quebec, 1997, p.62.
12. 장극관, 천영수, 서대원, "벽체-슬래브 구조시스템에서의 슬래브의 커플링효과," 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제13권 1호, 2001. 5, pp.417~422.
13. 장극관, 천영수, 서대원, "벽식구조 아파트에서 전단벽 연결보의 구조적 거동," 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제13권 1호, 2001. 5, pp.411~416.

## 요 약

현재 국내에서 건설되고 있는 대부분의 아파트는 철근콘크리트 전단벽과 연결부재만으로 구성된 순수벽식 구조형식을 취하고 있다. 그러나 이러한 벽식구조의 거동은 매우 복잡하며 연결부재의 영향을 크게 받는다. 따라서 본 연구에서는 부분구조체 실험을 통하여 국내 벽식구조의 연결부재, 즉 슬래브 및 연결보의 거동을 조사하고, 보강에 따른 효과를 검토하고자 하였다.

실험결과 1) 연결슬래브의 응력은 전폭에 걸쳐서 균일하지 않았고, 2) 벽체와 커플링 작용을 하는 연결슬래브의 유효 폭은 기존의 연구에서 제안한 값과 비교하여 큰 차이가 있는 것으로 나타났으며, 국내의 아파트구조에 적용하기에는 과대평가하는 경향이 있었다. 3) 또한 연결 보에서의 X자형 보강은 에너지소산 및 연성비 증가효과가 있는 것으로 나타났으며, 편칭현상을 개선하여 안정된 이력거동을 확보하는데 효과적인 것으로 나타났다.

**핵심용어 :** 연결슬래브, 연결보, 아파트, 전단벽