

벽식구조 아파트에서 전단벽 연결보의 구조적거동

The Structural Behavior of Reinforced Concrete R/C Coupling Beams in Wall-Dominant System

장극관* 천영수** 서대원***

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

ABSTRACT

Preliminary experimental results are reported on the response of reversed T type linking reinforced concrete shear wall. Different layouts of coupling beams were tested and stiffness degradation and energy dissipation of coupling beams were evaluated. Diagonally reinforced coupling beams with slab showed larger ductility and larger amount of energy absorption to be attained compared with conventionally reinforced concrete coupled beams.

1. 서론

현재 국내 아파트 건물의 구조형식으로 일반적으로 채택되고 있는 벽식구조는 국내의 상황에 맞게 경제성의 척도를 바탕으로 채택된 구조형태이다. 이러한 구조에서 전단벽은 출입구나 그와 유사한 개구부를 가로지르는 보 등에 의해 연결되며, 연결보의 강성에 따라 벽체들은 독립된 캔틸레버로 작용하거나(연결보의 강성이 0에 접근하는 경우) 하나의 일체화된 캔틸레버(연결보의 강성이 매우 큰 경우)로 작용한다. 이 경우 아파트 건물의 침실 부와 같이 적절한 강성을 갖고 두 벽체를 연결하게 되는 보는 전단력을 한쪽 벽체에서 다른 벽체로 전달하게 되므로 지진시 큰 전단변형을 겪게 되어 빠르게 전단저항 능력이 저하되며, 집중된 파괴를 경험하게 되고 결국 시스템 전체의 내진성능을 저하시키는 결과를 초래하게 된다¹⁾⁻²⁾. 하지만, 현재 국내 내진설계 기준에는 이에 대한 명확한 지침이 마련되어 있지 않으며, 특히 동 시스템에 대한 그간의 연구들도 대부분 전단벽체의 거동에 집중되어 이에 대한 설계나 배근지침을 마련하기 위한 기초자료가 매우 부족한 실정이다. 더욱이, 국내 아파트건물의 경우 침실 등에 형성되는 이러한 보가 슬래브와 연결되어 역 T형 보의 형태를 취하고 있으나 슬래브를 포함하는 효과에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 벽식구조 시스템에서 현행 설계에 따른 연결보(Coupling beam)의 거동특성을 파악하고, 제안된 X자형 보강근의 효과를 검토함으로써 동 시스템의 효율적인 설계를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

* 정회원, 서울산업대학교 건축공학과 부교수

** 정회원, 대한주택공사 주택연구소 연구원

***정회원, 서울산업대학교 건축공학과 연구원

2. 실험

2.1 실험체 계획

실험체는 그림 1에서 보는 바와 같이 실제 아파트 건물의 침실 개구부를 대상으로 실물크기의 부분 구조체를 계획하였으며, X자형 보강근의 유무에 따라 2개의 실험체가 제작되었다. 이 경우 연결 보의 모멘트의 반전이 예상되는 위치에서 절단되어 슬래브와 함께 역 T형 보의 형태로 제작되었다. 국내 기준에 따라 실험체가 설계되었으며, 각 단면의 치수와 배근상세는 표 1 및 그림 2에 나타내었다. 사용된 콘크리트의 강도는 270 kgf/cm^2 이며, 철근의 인장강도는 D10의 경우 $4,100 \text{ kgf/cm}^2$, D16, D19의 경우 $4,300 \text{ kgf/cm}^2$ 이다.

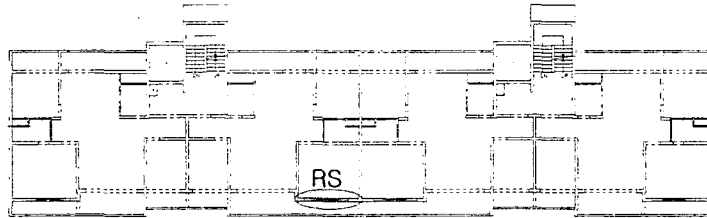


그림 1 연구대상 평면 및 실험대상 부분구조체

2.2 실험체 설치 및 가력방법

실험체 설치는 그림 3과 같이 연결 보에 반복하중을 가력할 수 있도록 설치하였으며, 연결 보의 변형을 측정하기 위하여 보의 상·하부와 측면에 LVDT를 설치하였다. 또한, 철근의 변형도 분포와 실험체의 항복등을 결정하기 위하여 연결 보의 주근과 스테럽에 스트레인게이지를 부착하였다

표 1 실험체 일람표

실험체	보				벽체		
	배근형태	전단스팬비	전단강도 (tf)	휨강도 (tf · m)	축력	ρ_c (%)	ρ_h (%)
RS1		2.3	29.55(+) 25.19(-)	44.32(+) 39.42(-)	$0.15 A_g f_{ck}$	1.61	0.18
RS2		2.3					

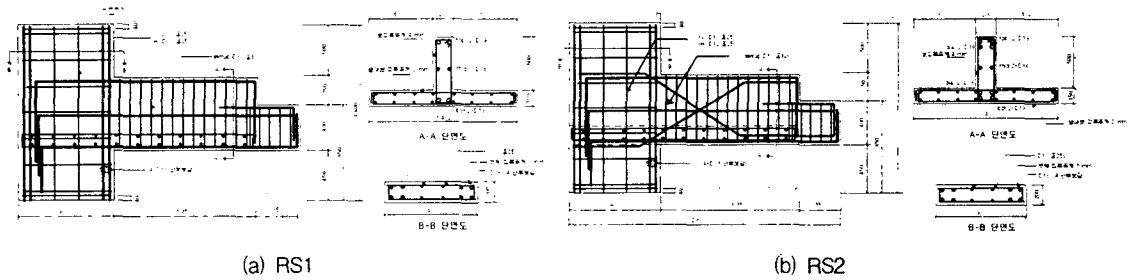


그림 2 실험체 배근 상세

하중의 가력방식은 $0.15 A_g f_{ck}$ 에 해당하는 축하중을 벽체에 일정하게 가력한 상태에서 점중가력하였으며, 초기 1, 2cycle은 항복점을 측정하기 위하여 하중제어하였고, 3 cycle부터는 변위제어에 의하여 반복하중을 가력하였다. 하중은 슬래브가 압축을 받는 경우를 정(+)방향 가력으로, 슬래브가 인장을 받는 경우를 부(-)방향 가력으로 정의하였으며, 중의 형태는 그림 4와 같다. 실험시 모든 LVDT와 스트레인게이지의 데이터는 TDS 602를 통해 수집하였다.

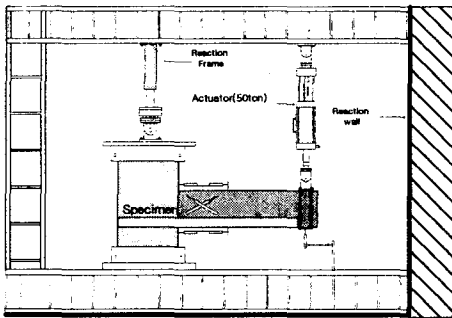


그림 3 실험체 설치상황

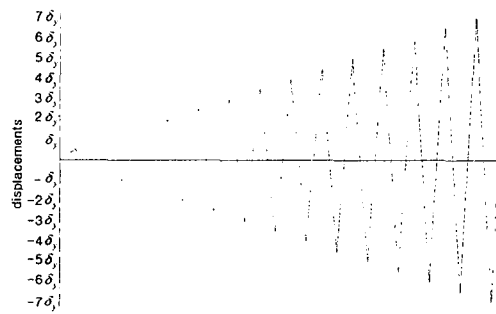


그림 4 하중이력

3 실험결과 및 분석

3.1 균열 및 파괴상황

RS1 실험체는 정(+) 방향 가력시 초기부터 전단균열의 발생이 두드러졌다. 초기균열은 +1cycle(8.3 ton)에 벽체와의 접합면에서 5cm정도 떨어진 곳에서 발생하였으며, 3cycle시 균열이 벽체 내부로 진전되어 6cycle에서는 벽체 중앙부까지 균열이 진전되었다. 부(-)방향 가력시의 균열은 보의 형태가 역 T형이므로 슬래브에서 주로 발생하였으며 7cycle에 보로 균열이 진전되어 이 균열이 심화되었다. 전체적인 파괴양상은 보 상부 압축영역의 파쇄에 의한 전단 압축파괴의 양상으로 나타났으며, 주로 벽과 보의 접합면에서 파괴가 집중되어 나타났다.

연결 보에 X자형 철근으로 보강한 RS2 실험체의 전체적인 균열 양상은 RS1과 유사하게 나타났다. 다만, 보에서 전단균열의 발생과 접합부로의 진전이 느리게 나타났으며, RS1 실험체보다 균열이 집중되지 않고 분산되는 경향을 보였다. 하지만, 10cycle을 넘어서면서부터는 역시 벽체로 균열이 진전되고 보의 균열도 크게 발전하여 주근을 따라 조깅균열이 발생하였으며, 보 상부의 콘크리트가 박리되면

서 내력이 떨어졌다. 각 실험체의 최종파괴 및 균열형상을 그림 5에 도시하였으며, 실험결과를 표2에 나타내었다.

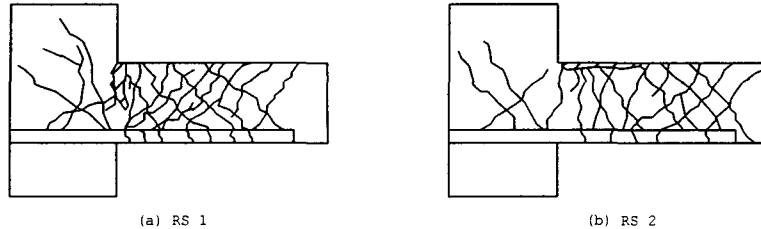


그림 5 실험체 최종파괴상황

표 2 실험결과

실험체명	항복하중(F_y)		최대하중(F_m)		최대변위(δ_{max})		변위연성비
	하중(tonf)	변위(mm)	하중(tonf)	변위(mm)	하중(tonf)	변위(mm)	
RS1	13.5(+)	8.1(+)	25.5(+)	44.1(+)	18.7(+)	51.7(+)	6.5
	9.1(-)	10.3(-)	17.9(-)	54.9(-)	16.2(-)	65.0(-)	
RS2	12.8(+)	8.2(+)	27.7(+)	44.8(+)	21.1(+)	56.1(+)	7
	16.5(-)	10.1(-)	31.1(-)	55.2(-)	27.6(-)	70.3(-)	

3.2 하중-변위 곡선

그림 6에 두 실험체의 하중-변위관계를 도시하였다. RS1 실험체의 경우 주목되는 특징은 먼저 슬래브의 영향으로 가력방향에 따른 강도와 강성의 차이가 크게 나타나고 있다는 점과 전단의 영향으로 인한 편칭현상이 두드러지게 나타나고 있다는 점이다. 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.

반면, RS2 실험체는 정(+)-부(-)방향 가력시 슬래브로 인한 강도와 강성의 차이는 RS1과 유사한 경향을 보였으나, 비탄성 사이클의 증가에 따른 내력과 강성의 감소는 크게 개선되어 나타났다. 이러한 이력저동상의 전단으로 인한 편칭효과와 상대적인 강도 감소를 저하는 X자형 보강근의 추가 보강에 따른 전단 저항능력의 증가 때문인 것으로 판단된다.

3.3 강도 및 강성의 비교

각 실험체의 연성비별 최대 강도를 그림 7에 도시하였다. 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 정(+)-부(-)방향 모두 X자형 보강근으로 보강된 RS2가 RS1에 비하여 강도 감소율이 적은 것으로 나타났으며, 특히 부(-)방향 가력의 경우 RS1 실험체는 이전에 경험한 비탄성 사이클의 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 사항인 것으로 판단된다.

그림 6의 하중-변위 관계로부터 두 실험체는 모두 이력루프의 편칭현상, 즉 강성의 저하를 경험하고 있음을 알 수 있다. 하지만, 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 편칭현상이 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, 스테럽만의 보강으로는 소성힌지부에 적용된 높은 전단력을 저항하기에 부족한 것으로 판단된다.

3.4 에너지 소산능력 비교

에너지 소산능력은 실험체가 지니고 있는 고유한 에너지 흡수능력을 파악하여 비탄성 변형에 저항하는 능력을 평가하기 위한 것으로 하중-변위 곡선상의 둘러싸인 면적에 의하여 평가될 수 있다. 그림 9는 두 실험체의 가력사이클에 따라 누적된 에너지 소산량을 나타낸 것이다. 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 X자형 철근으로 보강한 RS2 실험체가 스테럽만으로 보강된 RS1에 비하여 40% 이상 큰 에너지 소산량을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 이러한 차이는 후반 사이클로 갈수록 점점 더 크다는 것을 알 수 있다. 이는 소성힌지부에 도입된 높은 전단력을 스테럽만의 보강으로는 효과적으로 저항할 수 없어 나타난 편칭현상과 강도의 저하 때문인 것으로 판단된다.

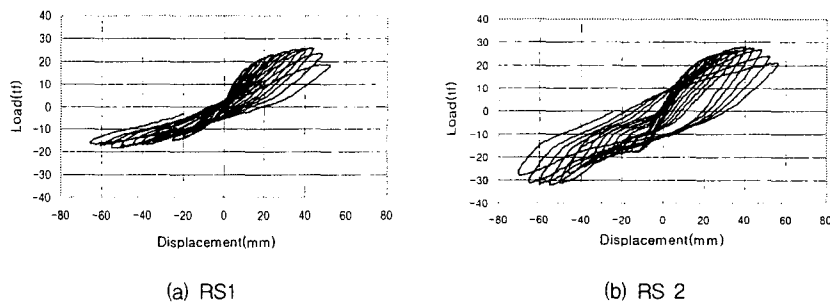


그림 6 하중-변위 곡선

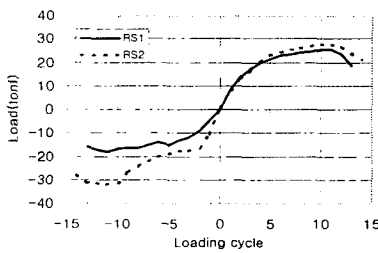


그림 7 최대내력 포락선의 비교

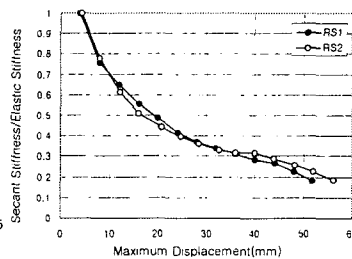


그림 8 실험체의 강성저하 비교

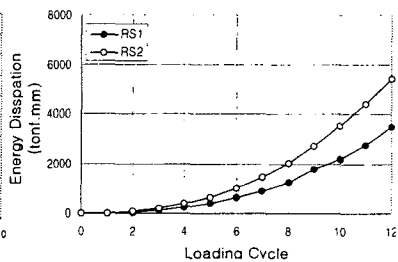


그림 9 누적된 에너지 소산량의 비교

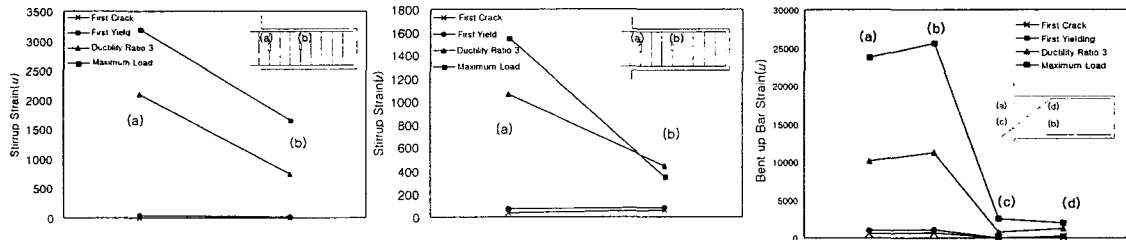
3.5 X자형 보강근의 효과

X자형 전단보강근의 영향을 알아 보기 위하여 스테럽의 변형율을 비교하였다. 그림 10에서 실험체의

벽체에 면한 스티럽과 벽체에서 d 만큼 떨어진 스티럽의 변형을 변화를 비교하고 있다.

그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 접합부에 면한 스티럽의 경우 X형으로 추가보강을 한 RS2의 경우 RS1에 비하여 현저히 작은 값을 보이며 10cycle까지 항복하지 않았다. 그러나 기존 배근의 RS1은 6cycle(변위연성비 3)에 이미 스티럽근이 항복하여 변형율이 크게 증가한 것을 알 수 있다. 따라서, X형 보강근이 전단균열에 의한 파괴를 막아주고 응력집중을 막는 효과가 있는 것으로 판단된다.

스티럽근이 RS2가 10cycle에서 항복한 것에 비해 그림 11에서 볼 수 있는 바와 같이 X형 보강근은 4cycle에 이미 항복을 하여 그 변형도가 그림 11에 도시한 스티럽근의 변형에 비해 크게 증가한 것을 알 수 있다. 이는 보강근이 보의 전단저항기구에 기여하는 것으로 판단되며, 대각선 방향의 전단균열이 발생한 5cycle(변위연성비 2.5)까지 X형 보강근이 균열에 대해 억제효과를 가진 것으로 여겨진다.



(a) RS1 (b) RS 2

그림 10 실험체별 보의 스티럽근의 변형비교

그림 11 RS 2 실험체의 보강근의 변형

4. 결론

국내 전단벽구조의 coupling 보의 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 현행 설계에 의한 벽체 연결 보는 비탄성하중 작용시 급격한 전단저항능력의 상실과 함께 강도와 강성의 급격한 저하를 경험하는 것으로 나타났으며, 스티럽만의 보강으로는 이러한 강도와 강성의 감소를 억제하기에 부족한 것으로 나타났다.
- (2) 연결 보에서의 X자형 보강은 사인장 균열의 억제와 전단변형의 감소효과가 있는 것으로 나타났으며, 핀칭현상을 개선하여 안정된 이력거동을 확보하는데 효과적인 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한양대학교 초대형구조시스템연구센터(한국과학재단지정)에서 지원한 것으로, 실험체제작에 (주)대우건설의 도움을 받았습니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. T. Paulay, M. J. N. Priestley, "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings", John Wiley & Sons, INC., 1992. pp.362-389
2. Theodosios P. Tassios, Marina Moretti, and Antonios Bezas, "On the Behavior and Ductility of Reinforced Concrete Coupling Beams of Shear Walls", ACI Structural Journal, Nov.-Dec., 1996, pp. 711-720