

탄소섬유를 사용한 철근콘크리트 전단벽의 휨성능 개선에 관한 실험연구

An Experimental Study on the Improvement of Flexural Capacity of Reinforced Concrete Shear Wall Using Carbon Fibers

하기주* 서수연** 신종학* 전찬목*** 김성수**** 이상근*****
Ha, Gee Joo Seo, Soo Yeon Shin, Jong Hack Jun, Chan Mog Kim, Seung Soo, Lee, Sang Kun

ABSTRACT

An experimental work is presented to evaluate the retrofit method for improving the flexural capacity of shear walls. Fives shear wall specimens are designed and retrofitted by using carbon fiber materials such as rod, sheet and plate. Cyclic horizontal loads are applied to the specimens under constant axial load, $0.1f_{ck}A_g$.

Test result shows that specimens with additional flexural reinforcement have the increased initial stiffness and deformation capacity. However, the strength is not improved as much as expected. This is because that the flexural reinforcement is pulled out from the foundation at the latter half of cycles. In order to maximize the flexural retrofit, therefore, it is required to study the anchorage behavior of the flexural reinforcement for retrofit.

1. 서론

최근 건물의 리모델링에 대한 많은 사회적 관심이 증대하고 있으며, 이의 일환으로 효율적인 구조물 성능개선을 위한 일련의 연구가 진행되어 오고 있다. 아파트 건물은 국내의 대표적인 주거형식으로서, 재건축사례가 가장 많기 때문에 특히 리모델링이 필요한 구조형식이라 할 수 있으나, 이의 활성화를 위해서는 현재 시공상의 문제와 더불어 구조성능을 개선할 수 있는 방안에 대한 많은 연구자료가 필요한 상황이다.

아파트 건물의 거동특성은 전체적으로 벽체의 높은 강성에 의해 휨이 지배되는 것으로 간주된다, 물론 건물의 층수가 낮거나 아파트의 장변방향 길이가 지나치게 긴 경우에는 전단거동을 보이는 경우도 있지만 기본적으로 휨이 지배되는 경우가 많다. 이러한 벽체에 대하여 구조성능의 개선이 필요한 경우에는 휨성능을 개선시키는 보강방안을 적용하여야 한다. 최근 탄소섬유슈트를 사용한 보강법이 많은 부재의 휨보강에 사용되고 있으나, 기본적으로 아파트 벽체에는 적용상 한계에 의하여 사용상 어려움이 많은 것으로 보고되고 있다. 특히, 각 벽체가 하나의 캔틸레버로 거동할 경우, 탄소섬유 슈트를 사용하여 건물의 하단부에서 최상단까지 연속된 휨성능을 유지하기에는 어려움이 많게 되는 것이다.

본 연구에서는 이와 같은 벽체의 휨성능을 개선시키기 위한 방안으로 탄소섬유계를 사용한 보강방

* 정희원, 경일대학교 건축공학과 교수
** 정희원, 충주대학교 건축공학과 교수
*** 정희원, 경일대학교 건축공학과 강사

**** 정희원, 경일대학교 건축공학과 대학원
***** 정희원. (주)리폼시스템 대표이사

법에 대한 실험연구를 실시하고자 한다. 전단벽에 대하여 탄소섬유계로 제작된 슈트, 로드와 판형태의 보강재를 이용한 휨보강법에 대하여 적용상의 문제점 등을 분석하고자 한다.

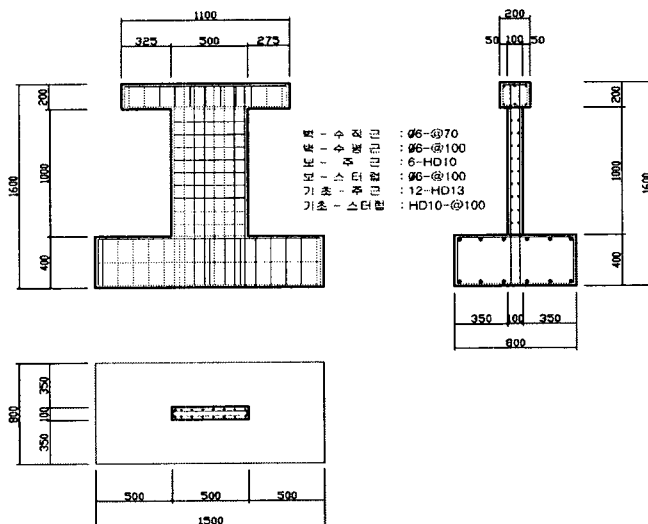
2. 실험계획

2.1 실험계획

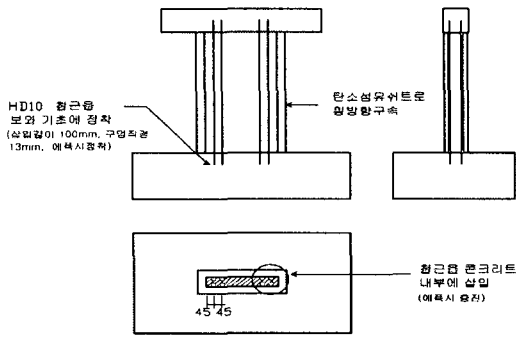
휨거동을 하는 전단벽은 보의 휨거동과 동일하게 압축측과 인장측으로 구분되는 단면력과 벽체에 연직방향으로 작용하는 압축력의 평형관계로 내력이 결정된다. 따라서 휨성능을 개선하기 위해서는 벽체가 보유하고 있는 인장측 단면력과 압축측 단면력을 동시에 높임으로써 가능하다. 인장측에 있는 철근의 경우에는 항복이후 비선형변형을 하면서도 강도를 유지하는 반면에 압축측에 있는 콘크리트의 경우에는 항복이후 급격히 강도가 저하되기 때문에 휨거동을 하는 전단벽의 경우, 최종파괴는 압축측 콘크리트의 파괴로 내력이 결정된다. 따라서, 전단벽의 휨성능개선을 위해서는 특히 압축측의 보강이 중요하다.

표 1 실험체 일람

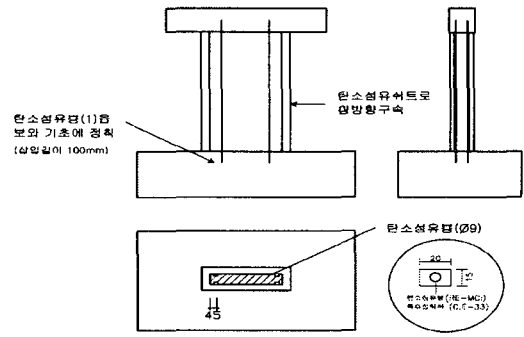
실험체 명	길이(mm)	형상비	인장영역 보강	압축영역 보강	축력
FW-0	500	2.2	-	-	0.1f _{ck} .A _g
RFW-S1	500	2.2	철근 (8-HD10)	탄소섬유슈트로 횡보강	
RFW-S2	500	2.2	탄소섬유봉 (4-φ9)	탄소섬유슈트로 횡보강	
RFW-S3	500	2.2	탄소섬유봉 (4-마름모형)	탄소섬유슈트로 횡보강	
RFW-S4	500	2.2	탄소섬유판 (4장)	탄소섬유슈트로 단부 보강	



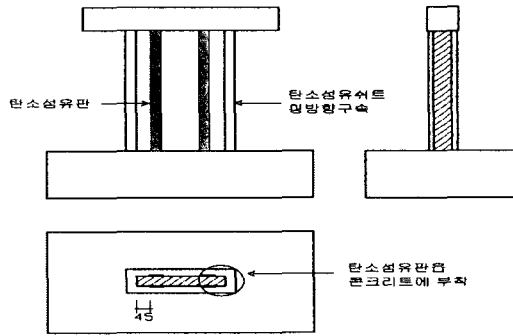
(a) 실험체의 형상 및 배근 상세(FW-0)



(b) FRW-S1 실험체



(c) FRW-S2, FRW-S3 실험체



(d) FRW-S4 실험체

그림 1 실험체 형상 및 보강상세

본 연구에서는 인장측 보강을 위한 방안으로서 철근, 탄소봉, 탄소판을 추가인장재로 보강하고, 압축측 보강방안으로서 탄소섬유슈트에 의한 횡보강 방법을 대상으로 실험을 실시하고 그 효과를 평가하고자 한다. 각 실험체별 특성은 표 1과 같고 실험체 상세는 그림 1과 같다.

실험체 제작에 사용된 철근은 D10 과 $\phi 6$ 으로서 각각의 항복강도는 4,000, 2,800 kgf/cm²이었으며, 최대강도는 각각 5,260, 4,570 kgf/cm²이었다. 콘크리트 압축강도는 243 kgf/cm²이며, 사용된 탄소섬유슈트와 탄소섬유봉 및 판의 최대 인장강도는 각각, 22863, 23868 kgf/cm² 이었다.

2.2 실험체의 설치 및 가력방법

실험체의 설치는 그림 2에 나타난 바와 같이 스트롱 프레임 위에 Base를 볼트로 고정시키고, 수직, 수평을 이루게 한 후 기둥의 수직하중 지점인 롤라(Roller)와 힌지(Hinge)를 보와 기둥이 중심을 이루는 정확한 위치에 배치하고 반력보의 수직하중계 중앙에 H-형강보를 설치하였다. 벽체의 좌굴에 영향이 미치지 않는 범위내에서 오일잭을 이용하여 단면력의 10%에 해당하는 수직하중을 벽체 1/4지점에 지속적으로 유지시킨 다음 수평하중은 실험체 우측보 중심에 하중이 작용토록 하여 편심이 일어나지 않도록 하였다. 작용 횡하중은 ACI 318위원회에서 제시한 방법과 같이 부재회전각으로 검증시켜 가력

하였으며 각 단계별로 3사이클씩 진행하였다. 실험체의 곡률분포를 알기위하여 1D구간까지와 그 이상 부분을 구분하여 수직방향으로 LVDT를 설치하였다. 또한 단부에서의 미끄러짐을 측정하기 위하여 벽체 하단부에 수평방향 설치 및 집중적으로 파괴가 발생하는 부위에서의 전단변형을 측정하기 위하여 1D 구간내에 X자 형태로 설치하였다.

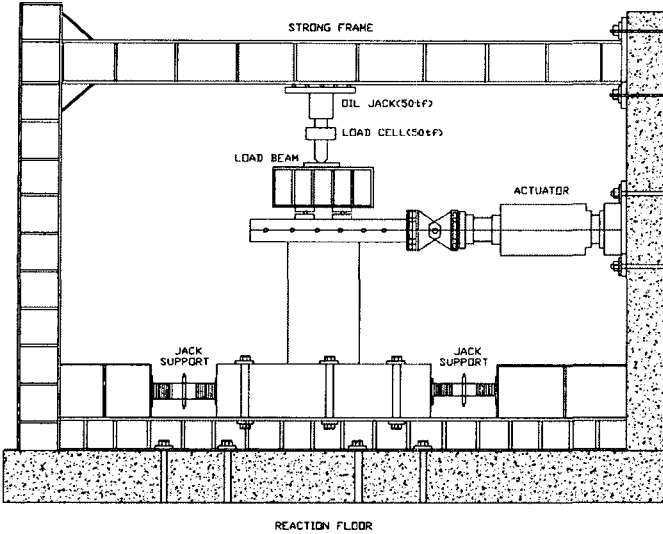


그림 2 실험체의 설치 상황 및 가력 장치

표 2 실험결과 일람

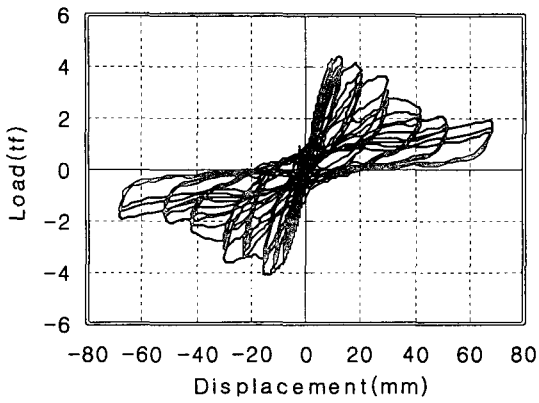
구분 실험체	초기강성		초기균열		최대하중				최대변위	
	하중 (tf)	탄성구배 (tf/mm)	하중 (tf)	변위 (mm)	정방향		부방향		압축 (mm)	인장 (mm)
					하중 (tf)	변위 (mm)	하중 (tf)	변위 (mm)		
FW-0	0.86	0.48	0.91	2.80	4.33	13.02	-4.07	-14.78	68.23	-68.22
FRW-S1	2.46	0.91	2.78	3.56	4.73	16.56	-5.76	-18.60	67.16	-65.21
FRW-S2	2.64	0.85	2.98	3.78	4.46	18.32	-5.30	-20.15	64.16	-65.98
FRW-S3	2.20	0.69	2.85	3.26	4.61	19.80	-5.53	-15.36	66.31	-66.68
FRW-S4	2.16	0.67	2.18	3.69	3.82	18.67	-4.67	-18.90	68.23	-70.23

실험결과 일람표와 하중-변위곡선으로부터, 휨보강되지 않은 FW-0 실험체에 비하여 휨보강이 된 실험체의 변형능력이 모두 우수함을 알 수 있다. 또한, 휨보강에 의해 초기강성도 증가되며, 철근으로 보강된 FRW-S1 실험체에서 가장 높음을 알 수 있다. 전체적으로 가장 보강효과가 높은 것은 8-HD10으로 휨보강한 FRW-S1 실험체이며, 보강효과가 낮은 실험체는 탄소판으로 보강한 경우이다. 탄소판으로 휨인장 보강한 FRW-S2 실험체의 경우에는 탄소섬유로서 단부에만 횡구속을 함으로써 이에 의해 보강효과가 저감된 것으로 보여진다. 전반적으로 휨보강양에 비하여 내력상승의 폭이 높지 않은 것으로 나타났는데, 이는 사이클 후반부, 기초바닥에 정착된 휨보강재의 정착부분에서 Pull out 파괴가 발생하였고 이에 의해 휨보강재의 보강효과가 저감된 것으로 보여진다.

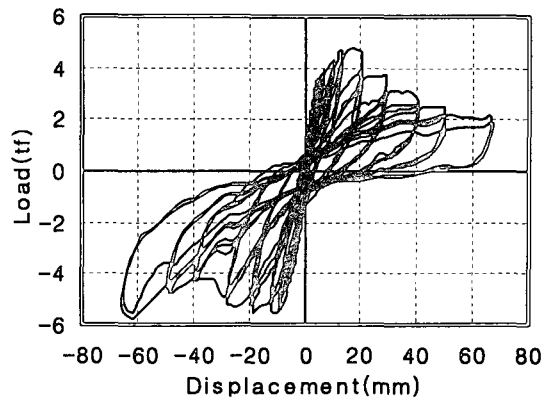
3. 실험결과 및 분석

실험결과 나타난 각 실험체의 초기강성, 균열하중, 최대하중 및 변위는 표 2에 나타내었다. 각 실험체별 파괴상황은 탄소섬유шит 내부에 발생하였기 때문에 육안으로 관찰이 어려웠지만 전체적인 파괴상황은 기초와의 접합면에서 휨인장 보강재가 사이클 후반부에 Pull out파괴되는 양상을 보였다. 이러한 양상에 의해 기초와 접하는 하부면에 균열이 주로 형성되었으며, 실험체의 전체내력이 휨인장 보강재의 정착성능에 많이 좌우되는 경향을 보였다.

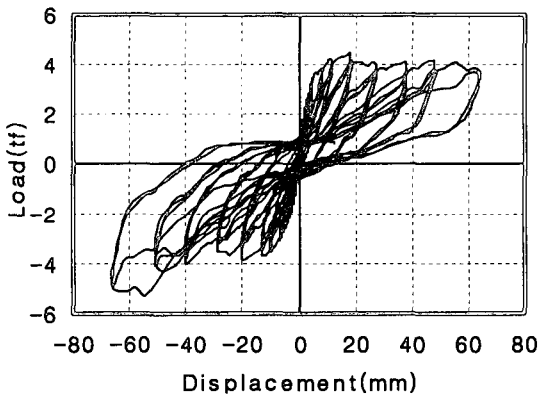
각 실험체의 하중-변위곡선을 나타내면 그림 3과 같다.



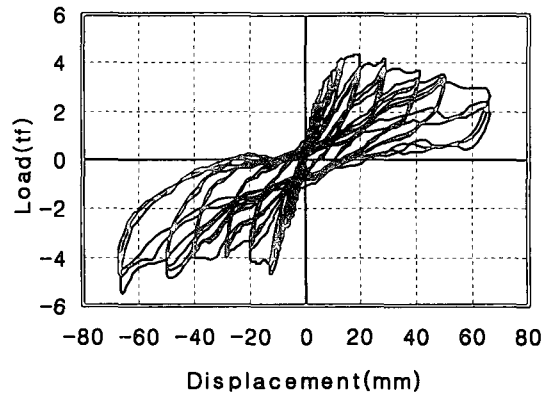
(a) FW-0 실험체



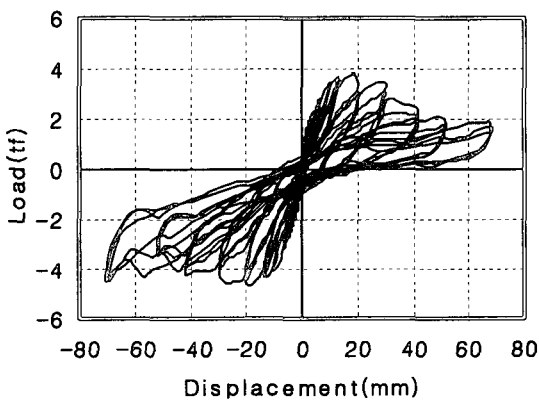
(b) FRW-S1 실험체



(c) FRW-S2 실험체



(d) FRW-S3 실험체



(e) FRW-S4 실험체

그림 3 실험체의 하중-변위 곡선

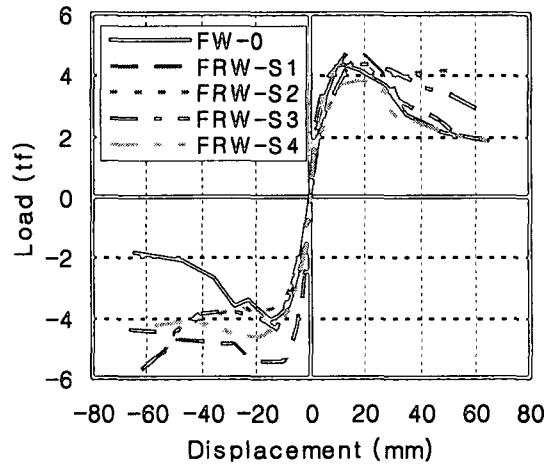


그림 4 각 실험체 포락선 비교

그림 4는 각 실험체의 포락선을 비교하여 나타낸 것으로서, 휨보강을 함으로써 최대강도 이후 급격히 내력이 저감되는 현상이 저감됨을 확인할 수 있다. 부재 항복시의 처짐량과 부재 최대하중시의 변위(δ_{max})와 최대하중(V_{max}), 최대하중의 80%에서의 변위량(δ_u)을 이용하여 연성능력을 비교·평가한 결과는 표 3과 같다. 전체적으로 휨보강된 실험체의 연성비 및 Drift가 높음을 알 수 있다. 따라서 휨보강근비가 낮은 전단벽에서 철근 또는 탄소섬유계로 휨보강을 실시할 경우, 연성능력이 상승됨을 확인할 수 있다.

표 3 실험체의 강도 및 변형능력

실험체	구 분	δ_y (mm)	V_y (tf)	δ_{max} (mm)	V_{max} (tf)	0.8 V_{max} 에서의 변위		V_u	$\mu = \delta_y / \delta_y$
						Dis.(mm)	Drift		
FW-0		7.06	3.53	13.02	4.33	29.83	2.7	3.46	4.16
FRW-S1		6.58	3.68	18.60	5.76	31.23	2.84	4.61	4.74
FRW-S2		8.56	3.51	20.15	5.30	48.15	4.38	4.24	5.62
FRW-S3		7.67	3.58	15.36	5.53	40.97	3.72	4.42	5.34
FRW-S4		8.47	3.26	18.90	4.67	35.82	3.25	3.74	4.23

4. 결론

전단벽의 휨성능을 개선시키기 위한 방안으로 탄소섬유계를 사용한 보강방법에 대한 실험연구를 실시한 결과, 휨보강되지 않은 실험체에 비하여 휨보강이 된 실험체의 초기 강성과 변형능력이 모두 상승되는 것으로 나타났다. 전체적으로 가장 보강효과가 높은 것은 8-HD10으로 휨보강한 FRW-S1 실험체이며, 보강효과가 낮은 실험체는 탄소판으로 보강한 경우로 나타났다. 그러나, 전반적으로 휨보강 양에 비하여 내력상승의 폭이 높지 않은 것으로 나타났는데, 이는 싸이클 후반부, 기초바닥에 정착된 휨보강재의 정착부분에서 Pull out 파괴가 발생하여 정착성능이 현저히 저하되었고 이에 의해 휨보강재의 보강효과가 저감된 것으로 보여진다. 따라서 휨보강시에는 보강재의 성능이 충분히 발휘될 수 있도록 보강재의 충분한 정착길이 또는 부착응력 확보에 대한 검토가 요망되며, 향후 이에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부(2002년 건설기술연구개발사업)의 지원을 받아 수행되었으며, 도움을 주신 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 신중학, 하기주, 권중배, 전찬목, "반복하중을 받는 철근콘크리트 전단 벽체의 접합방식에 따른 구조성능평가," 한국콘크리트학회 가을학술논문집 제9권 21호, 1997. 11, pp.513-518.
2. 오창학, 유승욱, 한상환, 이리형, "지진피해가 심한 벽체의 보수 후 구조성능 평가", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집 제11권 제2호, 1999. 11, pp.513-516.
3. 서수연, 이용택, 이현호, 이리형, 천영수, 양지수, "피해가 발생한 휨벽체의 내진보강에 관한 연구", 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제14권 제1호, 2002. 5, pp.811-816.
4. A. E. Fiorato, R. G. Oesterle, and W. G. Corley, "Behavior of Earthquake Resistant Structural Walls Before and After Repair", ACI Journal, Sep.-Oct. 1983, pp.403-413.
5. ACI committee, "Proposed Provisional Standard, Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing, 1996.