

# 피해를 입은 전단벽의 보강 후 구조성능 평가

## A Study on the Structural Performance of Retrofitted RC Shear Walls with An Opening

김 현 민<sup>\*</sup>      최 윤 철<sup>\*\*</sup>      최 창 식<sup>\*\*\*</sup>      이 리 형<sup>\*\*\*\*</sup>  
Kim, Hyun-Min    Choi, Youn-Cheul    Choi, Chang-Sik    Lee, Li-Hyung

### Abstract

A series of three shear wall specimens was tested under constant axial stress and reversed cyclic lateral loading in order to evaluate the seismic retrofit that had been proposed for the shear wall with the opening induced by remodeling. One of these specimens was tested in the as-built condition and the other two were retrofitted prior to testing. The retrofit involved the use of carbon fiber sheets and steel plates (thickness of 3mm) over the entire face of the wall. The test results show that the ultimate failure modes of the specimens were found to be shear fracture of the wall around the opening and two difference types of retrofitting strategy make the different effects of a rise in the strength of each specimen.

### 1. 서론

최근 건설업계는 장기화된 불황과 함께 부동산에 관련된 각종 규제 강화로 신축 혹은 재건축보다 기존의 건축물에 대한 리모델링을 선호하고 있는 실정이다. 이와 더불어 건축물의 리모델링은 재건축과 비교하여 그 비용이 적게 소요되며 폐기물의 배출이 적어 비용적인 측면 뿐 아니라 환경적인 측면에서도 유리한 방법이다. 그러나 철근콘크리트 구조물은 재료적, 시공적, 환경적, 구조적 요인 등으로 인하여 시간이 경과하면서 구조내력이 부족하거나 사용성이 저하하여 리모델링 시 보수, 보강 등을 실시하여 안전성을 확보하여야 한다. 특히 사용성의 증가, 내력저하, 각종 하자 발생 등으로 보강을 실시해야 하는데 있어서 중요한 것은 효율적이면서 경제적인 보강이 이루어져야 한다.

따라서 본 연구에서는 리모델링 공사에 있어서 세대병합을 위하여 기존 벽체에 개구부를 신설 할 경우 적정 면적비를 위한 선행 연구결과<sup>(1)</sup>를 바탕으로 손상부위를 갖는 철근콘크리트 벽체의 보강효과를 규명하고자 탄소섬유시트, 강판등과 같은 Passive 보강방법을 도입함으로써 개구부를 갖는 벽체에서 효율적인 보강방법을 도출하고 철근콘크리트 벽식 공동주택의 주요 구성부재에 대한 보강개념을 정립하고자 한다.

### 2. 실험체 계획 및 세팅 상황

본 연구를 위한 대상건물은 1980년도 초반 대한주택공사에서 임대주택으로 설계 및 시공한 18평 벽식 아파트를 대상으로 하였으며, 실험대상 부위 벽체는 세대간 벽을 이상화하였다. 실험체는 1/2 축소모델로 제작하였

\* 정회원, 한양대학교 건축공학과 석사과정

\*\* 정회원, 한양대학교 STRESS 센터 연구 조교수, 공학박사

\*\*\* 정회원, 한양대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

\*\*\*\* 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수, 공학박사

으며, 콘크리트 압축강도는 21MPa, 사용된 철근은 SD400으로 실험체를 설계하였다. 벽체의 배근된 철근비는 실제 연구 대상 부위에 대한 철근비 및 간격을 반영하여 계획하였다. 본 연구에서 계획된 실험체는 개구부의 크기가 폭 1,800mm, 높이 2,100mm인 실물 크기를 1/2로 축소하였으며 이는 개구부 면적비가 23%로서 보강하지 않은 기준 실험체 WB-0.23, 기준 실험체를 강판으로 보강한 WB-St. Plate, 기준 실험체를 탄소섬유시트로 보강한 WB-CFS로 총 3개로 계획하였다. 실험체 설치 상황은 그림 1과 같으며 수평하중은 실험체의 가력보와 동일한 높이의 반력벽에 설치된 200ton 용량의 Actuator에 의하여 가력하였으며 축력은 실험체 상부 프레임에 연결되어 있는 2대의 100ton 용량의 Actuator를 사용하여 실험체 단면적의 10%( $0.1 f_{ck} A_g$ )로 실험 종료시까지 일정하게 가력하였다. 이때 벽판의 내외 좌굴을 방지하고, 실제 건물에서 각층 슬래브의 격막작용(Diaphragm) 효과를 고려하기 위하여 실험체 상부 횡가력보에 좌굴 방지용 볼 지그(Guide beam and ball jig)를 설치하였다. 실험체 일람은 표 1과 같으며 실험체 배근 및 상세와 보강부위는 그림 2, 3과 같다.

표 1 실험체 일람

실험체	개구부 면적비	보강 방법	$f_{ck}(Mpa)$	$f_y(Mpa)$	철근		$l_x \times h_w \times t$		
					수직	수평			
WB-0.23	23% (900x1050)	무	21.23	291.19	D6@225	D6@225	3000	1300	100
WB-CFS		탄소섬유시트							
WB-St. Plate		강판							

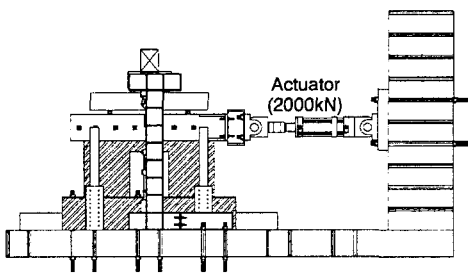


그림. 1 설치 상황

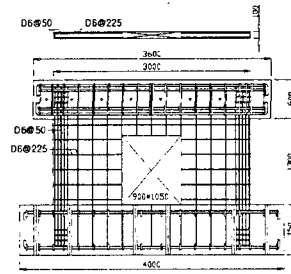


그림. 2 실험체의 배근 및 상세

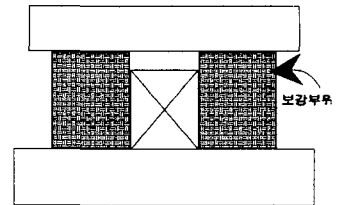


그림. 3 보강부위

### 3. 실험 결과 및 분석

#### 3.1 실험체 최종 파괴 상황 및 내력 비교

모든 실험체에서 벽체의 휨 파괴 보다는 전단 파괴가 주요 파괴모드로 나타났으며 각 실험체의 파괴형상은 그림 4와 같다. 파괴상황중 특이한 점은, WB-CFS의 경우 그림 4b)와 같이 C방향의 사인장 균열을 따라 탄소섬유시트가 항복하여 변색되는 것을 확인 할 수 있었던 반면, WB-St. Plate의 경우 벽체 복부에서 강판이 벽체 콘크리트의 일부를 물고 떨어지는 Rip-off현상을 관찰 할 수 있었다. 이는

표 2 실험 결과

실험체	$P_y$ (kN)	$P_u$ (kN)	$S_y$ (kN/mm)	$S_u$ (kN/mm)	$\Delta y$ (mm)	$\Delta u$ (mm)	$\mu$
WB - 0.23	420	555	84	56	7	10	1.5
WB - CFS	630	840	82	44	11	20	1.9
WB - St. Plate	622	830	78	60	11	14	1.3

$P_{cr}$  : 초기균열하중,  $P_y$  : 항복하중  $P_u$  : 최대하중  $S_y$  : 항복강성  $S_u$  : 극한강성  $\Delta y$  : 항복변위  $\Delta u$  : 최대변위  $\mu$  : 변위연성비

사인장균열 방향으로 강판이 탄소섬유시트보다 강성이 큰 것에 기인한 것으로 사료된다.

WB- 0.23의 경우 530kN의 최대내력을 보였고 최대내력 이후 급격한 강도저하는 보이지 않았다. 또한 WB-CFS와 WB-St. Plate의 경우 최대 내력이 각각 830kN 및 840kN으로 나타나 WB-0.23에 비해 약 63%의 강도증가를 보였다. 그러나 최대강도 이후 내력 저하율을 살펴보면 WB-St. Plate의 경우 최대강도 이후 다음 사이클에서 약 8%의 내력 감소율을 나타낸 반면, WB-CFS의 경우 최대강도 이후 다음 사이클에서 약 17%의 내력 감소율을 나타내며 다소 미미하지만 취성적인 거동을 나타내었다.

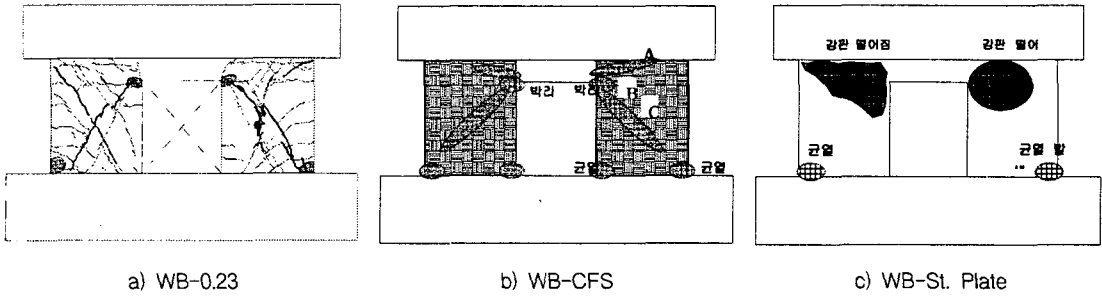


그림 4 최종파괴 상황

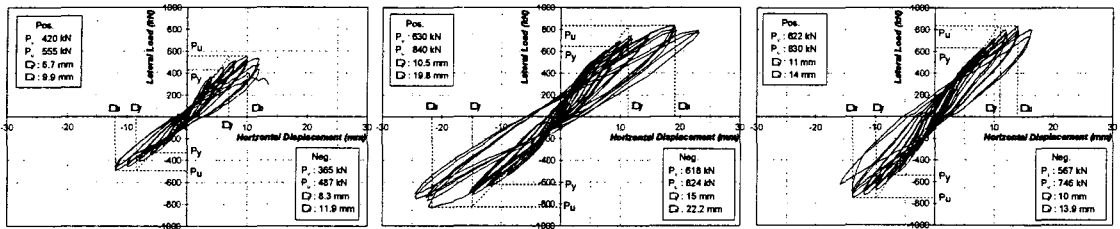


그림 5 하중-변위 관계 곡선

### 3.2 전단변형

그림 6은 부재각에 따른 실험체별 전단변형을 개구부 주위의 전단 변형각에 의한 횡변위로 산출하여 나타낸 것이다. 전체적으로 동일 변위에서 보강을 하지 않은 WB-0.23 실험체의 전단변형이 가장 크게 나타나고 있으며, WB-St. Plate 실험체의 전단변형이 가장 작게 나타났다. 특히, 강판 보강 실험체의 전단변형이 탄소섬유시트 보강 실험체 보다 작게 나타나 있는데 이는 강판이 전단력에 효과적으로 저항하기 때문으로 판단된다. 즉, 비등방성 재료(An-isotropic material)인 탄소섬유시트와는 달리 등방성 재료(Isotropic Material)인 강판이 전단력에 의한 사선 압축과 사선 인장에 효과적으로 저항한 것으로 사료된다.

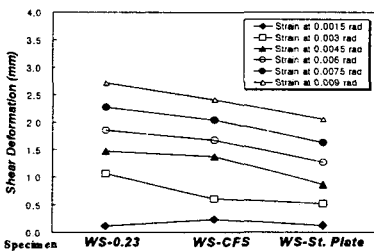
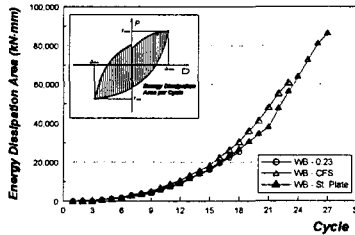
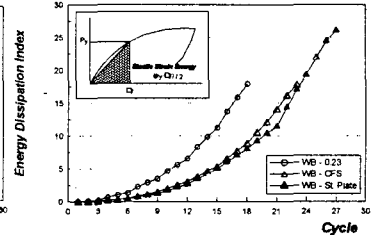


그림 6 전단변형



a) 누적에너지 소산면적



b) 에너지소산지표

그림 7 에너지 소산특성

### 3.3 에너지 소산특성

그림 7a)는 누적 에너지소산량을, 그림 7b)는 누적 에너지 소산면적을 항복시점에서 구한 탄성 변형 에너지의 비로 나타낸 것으로 Darwin과 Nmai<sup>(2)</sup> 등이 제안한 에너지 소산지표를 나타낸 것이다. 누적 에너지 소산량을 살펴보면, 그림 7a)에서와 같이 모든 실험체가 가력초기부터 15사이클까지 거의 동일한 소산용력을 발휘하였다. 18사이클에서 측정된 누적에너지량은 WB-0.23의 경우 25,000kN·mm, WB-CFS와 WB-St. Plate의 경우 35,000kN·mm, 26,000kN·mm로서 WB-0.23에 비해 약 22% 및 5%정도 높게 나타났다. 또한 에너지 소산지표를 살펴보면 보강하지 않은 WB-0.23실험체가 가장 높게 나타나고 있으며 보강한 두 실험체의 경우 가력초기부터 실험종료까지 거의 대등한 값을 보였다. 초기 균열이 발생한 9사이클까지 WB-0.23이 1.22~1.5를 나타낸 보강 실험체에 비해 약 60%정도 높게 나타났으며, 이후 실험이 종료된 18사이클에서 보강하지 않은 WB-0.23실험체의 경우 17.92를 나타냄으로써 탄소섬유시트와 강판으로 보강한 실험체의 소산지수에 비해 약 55% 및 50%정도 크게 나타났다.

### 4. 결론

1) 세 실험체 모두 전단파괴가 주요파괴로 나타났다. WB-CFS와 WB-St. Plate의 경우 우각부에서 시작된 균열로 인해 탄소섬유시트와 강판이 벽체로부터 박리되기 시작했다. 최종적으로, WB-CFS는 사인장력과 사선균열방향의 미끄럼력을 탄소섬유시트가 견디지 못해 변색되는 것을 확인 할 수 있었고, WB-St. Plate는 철판이 벽체 콘크리트의 일부를 물고 떨어지는 Rip-off현상을 관찰할 수 있었다.

2) WB-CFS, WB-St. Plate는 최대강도 830kN, 840kN으로 나타나 WB-0.23에 비해 평균 63% 정도의 강도증가를 보였다. 초기강성은 세 실험체 모두 대등한 값을 보였으며, 부재각 0.0046rad(6mm)이후 보강실험체의 강성저하율은 보강전 실험체에 비해 낮게 나타났다. 이는 보강재가 용력을 부담함으로써 실험체의 강성저하율을 낮춘 것으로 사료된다.

3) 동일 부재각에서 전단변형에 의한 횡변위를 살펴본 결과, WB-St. Plate 실험체의 전단변형이 가장 적은 것으로 나타났다. 따라서 탄소섬유시트보다 강판이 전단력에 효과적으로 저항함을 알 수 있었다.

### 감사의 글

이 연구는 건설교통부에서 시행한 2003 건설핵심기술연구개발사업 「철근콘크리트 벽식 구조 아파트의 환경친화적 리모델링 기술개발」(과제번호 : 03산학연 A07-09) 연구과제의 일환으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 윤현도, 최창식, "고강도 콘크리트 전단벽의 전단강도", 대한건축학회논문집, 제19권 5호, 2003, 05월, pp 53-60.
2. Darwin, D, and Nmai, C.K, "Energy Dissipation in RC Beams under Cyclic Load." Journal of Structural Div, ASCE, Vol. 112, No. 8, Aug, 1986, pp. 1829-1846.
3. Konstantios K. Antoniadis, Thomas N. Salonikios, Andreas J. Kappos, "Test on seismically damaged reinforced concrete walls repaired and strengthened using fiber-reinforced ploymers", Journal of Structure Eng., ASCE, Vol. 9, No. 3, June 1, 2005, pp.236-246
4. J. I. Daniel, K. N. Shiu, W. G. Corley F., "Openings in Earthquake-Resistant Structural Walls", Journal of Structure Eng., ASCE, June 1, 1997, pp.1660-1675
5. 小野正行, "鐵節コンクリート造有開口耐震壁の弾塑性性狀に関する研究", 近畿大覺 博士學位論文, 2000