

피해가 발생한 휨벽체의 내진보강에 관한 연구

Retrofit Method of Damaged Flexural Wall

서수연* 이용택** 이현호*** 이리형**** 천영수***** 양지수*****

Seo, Soo Yeon Lee, Yong Taeg Lee, Hyun Ho Lee, Li Hyung Chun, Young Soo Yang, Ji Soo

ABSTRACT

An experimental work is performed to evaluate the retrofit method of damaged flexural walls. For two flexural walls damaged up to almost failure, reinforcements yielded and concrete below height of $1d$ are replaced with new reinforcements and steel fiber concrete, respectively. In order to evaluate the effectiveness of Aramid sheet for retrofitting walls, Aramid sheet is also, attached to longitudinal direction and rolled horizontal direction of one wall specimen. Horizontal cyclic loads are applied to the top of the specimen with constant axial load.

Test result showed that retrofitting with steel fiber concrete after replacing reinforcements can not afford to recover 100% of the wall capacity before damage. However, the capacity of walls could be sufficiently strengthened by using Aramid sheet.

1. 서론

국내의 경우, 대표적인 주거용 건물로서 순수 벽체만으로 시공된 아파트 건물들의 노후도가 심하거나, 기타 요인들에 의해 피해가 발생하여 구조성능회복 또는 성능증진의 필요성이 높아지고 있다. 이들 벽체에 발생한 피해가 경미한 경우에는 균열면에 대한 보수정도로 건물의 성능을 확보할 수 있지만, 피해정도가 심각하여 콘크리트뿐만 아니라 철근 등의 주요 요소가 비선형 변형을 경험할 경우, 피해가 발생한 부위에 대한 보강이 필요하게 된다. 현재까지 수행된 벽체의 보강에 관한 기존연구자들의 연구결과에 따르면, 특별한 추가의 보강근을 설치하지 않을 경우에는 보수된 실험체의 강성과 연성은 원실험체 보다 낮은 것으로 보고되고 있다. 벽체의 경우에는 인장축의 철근에 의해 내력이 결정되기보다는 압축을 받는 콘크리트의 변형도가 최대변형도를 초과함에 따라 이에 의해 한계상태가 결정되는 경우가 많은데, 이 경우 콘크리트의 연성을 높일 경우, 벽체의 변형능력이 증진되게 된다. 강섬유 콘크리트를 사용할 경우 일반 콘크리트에 비하여 강도와 연성을 높일 수 있기 때문에(이창현 등, 2000) 보강된 벽체에 발생하는 문제점의 하나인 연성의 저감현상을 어느 정도 상쇄시킬 수 있을 것으로 기대된다. 그러나, 비록 강섬유 콘크리트를 사용하더라도 벽체의 충분한 내력증진을 위해서는 별도의 방안이 필요하다. 콘크리트의 강도를 상승시키거나, 단면을 증대시키는 방안이 강구될 수 있으나, 이들 방법은 전술한 바와 같이 기본

* 정회원 한양대 STRESS 연구교수

**** 정회원, 한양대학교 건축공학부 교수

** 정회원, 한밭대학교 건축공학부 교수

***** 정회원, 대한주택공사 주택도시연구원 책임연구원

*** 정회원, 동양대학교 건축·실내디자인학부 교수

***** 정회원, 대한주택공사 건축설계처 부장

적으로 문제점을 포함하고 있기 때문에 아파트벽체에 사용하기에는 적절하지가 않다. 섬유슈트를 사용하여 콘크리트를 적절히 구속할 경우, 압축측 콘크리트의 내력을 증대시킬 수 있을 뿐만 아니라, 인장측에서는 인장재로 기여하게되어, 내진성능을 높일 수 있게 된다.

본 연구에서는 피해가 발생된 휨벽체의 내진보강방법의 하나로서, 섬유 보강콘크리트를 사용하고 아라미드 섬유슈트를 이용하는 보강방법을 제시하고 이에 대한 성능을 파악하기 위한 실험연구를 수행하였다. 이를 통하여 보강방법에 따른 성능의 회복 또는 증진효과 등을 파악하여 아파트 벽체의 내진보강을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 실험

2.1 실험계획

대상으로 한 실험체는 15층 아파트의 벽체중 최하부 1개층을 모델링하여 실물규격으로 제작한 것으로서, 그림 1에 나타낸 바와 같이 실험체의 길이는 1.0m, 높이는 3.0m이다.

각 실험체에 대한 실험결과 파괴양상은 웨브단부의 압축 및 철근항복, 플랜지 벽체의 철근 등이 항복한 것으로 나타났다. 이들 실험체에 대해서 표 1과 같이 항복한 철근교체후 강섬유 콘크리트로 재타설하거나 아라미드 섬유로 외부를 보강하여 부재의 성능을 회복 또는 증대시켰다.

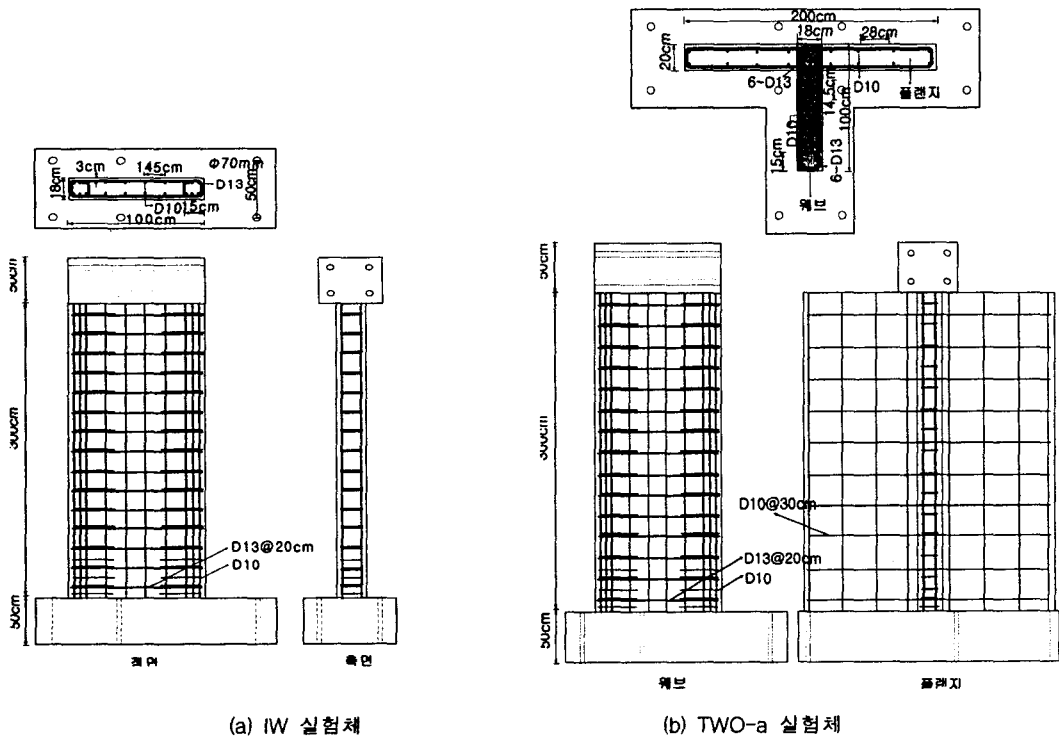


그림 1 실험체 형상

표 1 실험체의 보강내용

IW-R	TWO-a-R
<ul style="list-style-type: none"> - 기존 철근 교체 (D13, D10) - 기존 콘크리트를 제거, 강섬유보강 콘크리트 타설(기초저면120cm) - 크랙부 에폭시 수지 주입 보수 	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 철근 교체(D13, D10) - 기초면에서 120cm높이까지의 기존콘크리트 제거, 강섬유보강 콘크리트 타설 - 수직방향 아라미드 섬유로 벽체 휨보강 후 밴드형태로 추가부착(수평방향) - 크랙부 에폭시 수지 주입 보수

2.2 재료시험

보강에 사용된 콘크리트의 압축강도는 215 kgf/cm²이며, 철근과 아라미드 섬유시트의 재료성질은 표 2 및 표 3에 나타낸 바와 같다. 강섬유 콘크리트의 체적비는 1.5%로서 할증 10%를 고려하였고, 사용된 강섬유는 양 단 후크형으로 길이 35mm, 지름 0.55mm이다.

표 2 철근의 인장강도

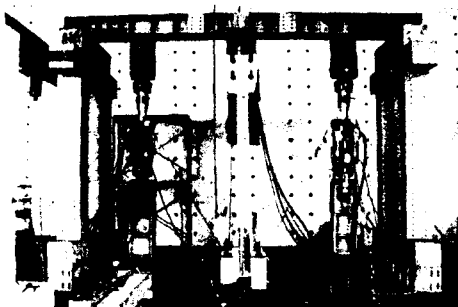
철근 직경	f _y (kgf/cm ²)	f _u (kgf/cm ²)
D10	3477	4616
D13	3516	4766

표 3 아라미드섬유시트 인장강도

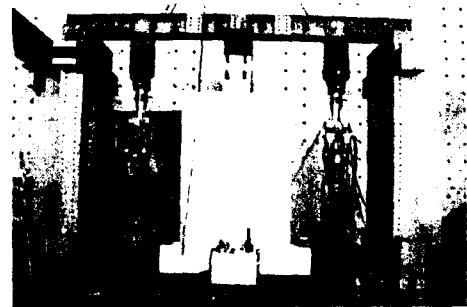
항목	인장강도 (kgf/cm ²)	탄성계수 (kgf/cm ²)	신율 (%)
아라미드 시트	22,000	1.12×10 ⁶	2.2

2.3 가력 및 측정장치

실험체 설치상황은 그림 2에 나타낸 바와 같이, 일정 축력과 반복 수평하중을 받도록 실험체를 설치하였다. 작용축력은 0.1f_{ck} · A_g 크기로서 실험종료시까지 일정하게 유지되도록 하였다. 작용변위는 실험체의 횡변위를 가력점의 높이로 나누어 준 부재각 (1/1000, 1/600, 1/400, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50, 1/35)으로 제어하였으며, 각 단계에 적용된 변위 이력은 강도와 강성의 저하에 대한 자료를 얻을 수 있도록 각 사이클별 3회씩 점증가력하였다.



(a) IW 실험체 설치상황



(b) TWO-a 실험체 설치상황

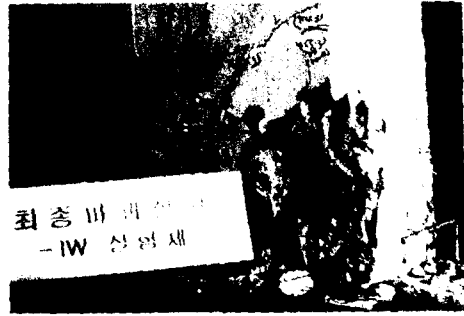
그림 2 실험체 설치상황

2.4 실험결과

보강전 실험결과 나타난 파괴상황과 보강후 실험을 실시한 결과 나타난 파괴상황을 그림 3과 그림 4에 나타내었다. 아라미드 섬유로 보강한 TWO-a 실험체의 경우에는 섬유에 의해 표면이 가려져 있기 때문에 균열을 확인하는 것이 불가능하지만, 시트가 없는 상부의 균열형태와 IW-R 실험체의 균열 양상을 볼 때 전체적으로 균열의 발생양상은 보강전과 보강후가 거의 유사한 것으로 나타났다. 상세한 균열진행상황은 표 3에 나타낸 바와 같다.



(a) 보강전 실험결과 (IW)



(b) 보강후 실험결과 (IW-R)

그림 3 IW, IW-R 실험체의 균열현황



(a) 보강전 실험결과 (TWO-a)



(b) 보강후 실험결과 (TWO-a-R)

그림 4 TWO-s, TWO-a-R 실험체의 균열현황

표 3 실험체의 균열진행 양상

실험체명	균열종류	사이클	하중 (tf)	균열위치 및 양상
IW-R	초기균열	(-) 2	2.7	• 기초판으로부터 50cm지점에서 초기균열발생
	초기경사균열	(-) 3	3.8	• 초기균열과 동일 위치에서 점점 경사균열 진행
	수직균열, 압괴	(-) 21	-	• 좌측하단부에 압괴 발생 • 기초판 30cm 지점까지 압괴 진행, 콘크리트 탈락
	균열범위	-	-	• 벽체높이의 2/3 지점까지 균열 발생
	최종 파괴상황	-	-	• 벽체 좌측 하단부 압괴 발생, 최종 파괴시 압괴된 콘크리트가 탈락하고 웨브 주근이 좌굴됨
TWO-a-R	초기균열	(-) 7	12.2	• 웨브 밀면 기초판과의 접합부분에 균열 발생
	초기경사균열	-	-	• 웨브의 아라미드 섬유로 식별 불가
	균열범위	-	-	• 플랜지 앞면 120cm 부분 전구간에 걸쳐 수평균열 발생 • 웨브, 플랜지 하부 기초판과의 접합부분에 균열 발생
	최종 파괴상황	-	-	• 플랜지 기초판부분 아라미드 섬유가 '틱탁' 소리를 내며 들뜸

실험결과 나타난 항복시, 그리고 최대내력시의 하중과 변위를 나타내면 표 4와 같고 하중-변위 곡선은 그림 5 및 그림 6과 같다. 표와 그래프들에서도 볼 수 있듯이 아라미드섬유 보강없이 강섬유보강

콘크리트로 보강한 IW-R 실험체는 극한하중면에서 거의 회복되었음을 알 수 있다. 또한 강섬유보강 콘크리트와 아라미드 섬유로 휨보강 및 단부까지 보강한 TWO-a-R 실험체가 그 보강 성능이 우수함을 명확히 알 수 있다. 그러나 변위연성비에 있어서 TWO-a-R의 부가력시를 제외하고 보강후 연성비는 보강전 연성비보다 낮은 것으로 나타났는데, 이는 보강된 실험체들의 초기강성이 낮게 나타났으며, 이에 의해 항복변위가 크게 나타난 것에 기인한다. 표 8에서 연성비 산정을 위한 항복강도 및 변위는 Park가 제안한 방법을 사용하였다.

표 4로부터, 별도의 외부 보강 없이 강섬유보강 콘크리트에 의한 보강은 약 90%정도의 강도가 확보되며, TWO-a-R 실험체의 경우를 볼 때 압축을 받는 부분에서 아라미드 섬유쉬트의 단부 보강효과가 매우 우수하다는 것을 알 수 있다. 또한 인장측에서도 아라미드 섬유쉬트에 의한 보강이 유효하다는 것을 알 수 있다. 부재가 항복할 때의 강성을 살펴보면 보강된 실험체(IW-R, TWO-a-R)의 강성은 보강전 실험체(IW, TWO-a)의 강성을 완전히 회복하지 못하는 것으로 나타났다. 이는 부재항복시 실험체의 변위가 보강전 실험체들에 비하여 크기 때문으로서, 이에 의한 영향으로 실험체의 연성비도 보강한 실험체들이 낮은 것으로 나타났다. 보강전과 보강후에 대하여 실험체별로 누적 에너지 소산능력을 비교한 결과, IW-R 실험체의 경우 전반적으로 IW 실험체와 유사한 것으로 나타났고, TWO-a-R 실험체의 경우 에너지 소산능력이 최종파괴시까지 에너지면적의 증감률의 폭이 줄어들기는 하나 결국 보강전과 같은 에너지 소산면적은 보여주지 못하는 것으로 나타났다.

표 4 실험체별 강도 및 연성비교

실험체명			P_y (tonf)	δ_y (mm)	P_u (tonf)	δ_u (mm)	변위 연성비	항복시의 강성 (tonf/mm)
			(1)	(2)	(3)	(4)	(4)/(2)	(1)/(2)
IW	정가력	보강전	18.31	17.87	24.41	64.20	3.59	1.02
		보강후	18.18	31.48	24.24	64.98	2.06	0.58
	부가력	보강전	18.59	25.71	24.79	64.68	2.52	0.72
		보강후	16.47	26.14	21.96	32.18	1.23	0.63
TWO-a	정가력	보강전	23.67	11.63	31.56	30.10	2.59	2.04
		보강후	31.55	16.06	42.07	32.52	2.02	1.96
	부가력	보강전	14.36	9.24	19.15	16.26	1.76	1.55
		보강후	17.12	16.90	22.82	31.18	1.84	1.01

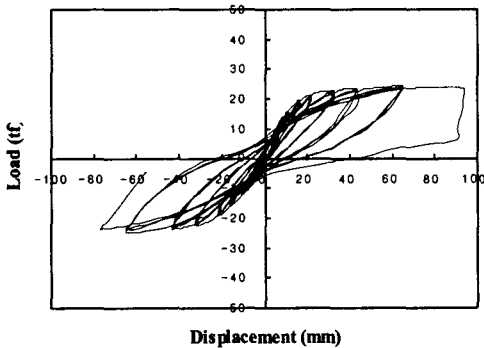
주) P_y : 0.75 P_u , P_u : 최하중, δ_y : 항복변위, δ_u : 최대변위

3. 결론

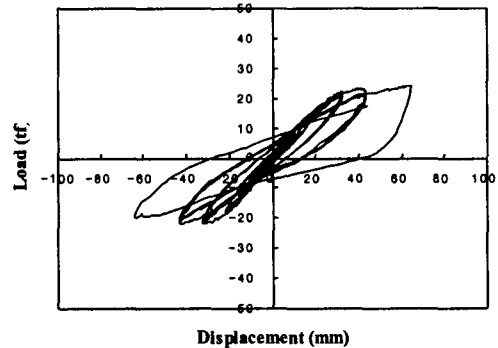
- 1) 별도의 외부 보강 없이 강섬유보강 콘크리트만에 의한 보강은 약 90%정도의 강도가 확보되며, 아라미드 섬유쉬트를 휨보강한 후 벽체 하단부를 쉬트로 횡구속하는 보강공법은 우수한 내력증진효과가 있는 것으로 나타났다.
- 2) 보강된 실험체(IW-R, TWO-a-R)의 부재항복시 강성은 보강전 실험체(IW, TWO-a)의 강성을 완

전혀 회복하지 못하는 것으로 나타났다. 이는 부재항복시 실험체의 변위가 보강전 실험체들에 비하여 크기 때문으로서, 이에 의한 영향으로 실험체의 연성비도 보강한 실험체들이 낮은 것으로 나타났다.

- 3) 보강전과 보강후에 대하여 실험체별로 누적 에너지 소산능력을 비교한 결과, IW-R 실험체의 경우 전반적으로 IW 실험체와 유사한 것으로 나타났고, TWO-a-R 실험체의 경우 에너지 소산능력이 최종파괴시까지 에너지면적의 증감률의 폭이 줄어들기는 하나 결국 보강전과 같은 에너지 소산면적은 보여주지 못하는 것으로 나타났다.

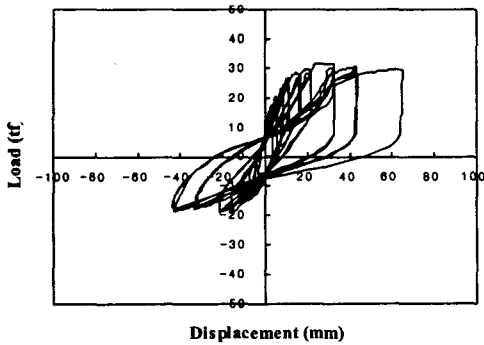


(a) IW 실험체

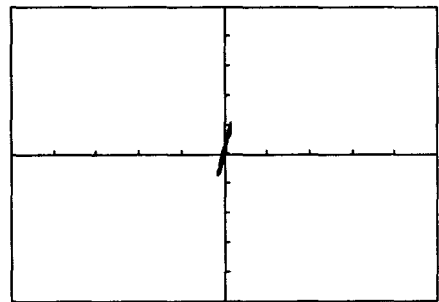


(b) IW-R 실험체

그림 5 IW, IW-R 실험체의 하중-변위 곡선



(a) TWO-a 실험체



(b) TWO-a-R 실험체

그림 6 TWO, TWO-a-R 실험체의 하중-변위 곡선

참고문헌

1. 이창현 “강섬유 콘크리트의 변형성상에 관한 실험적 연구”, 한국구조진단학회 2000년도 가을학술논문집, 4권 2호, pp215~220, 2000
2. 윤영호, 양지수, 천영수, 손덕길, “이형벽체의 구조성능 평가실험에 의한 배근 상세 개발”, 한주택공사 주택연구소 연구보고서, 2001, 2