

복합플레이트로 보강된 RC 기둥의 내진성능에 대한 연구

An Experimental Comparison Study on the Strength and Earthquake-resistant Capacity of Reinforced Concrete Columns Retrofitted with Fiber-Steel Composite Plate

박태만* 박원수** 박성민*** 윤정배****

Park, Tae Man, Park, Weon Su, Park, Seong Min, Yoon, Jeong Bae

The purpose of this study is to investigate the strength and ductility improvement of columns retrofitted with Fiber-Steel Composite Plate, compared with Steel Plate, and Carbon Fiber Sheet . Test specimens strengthened with 3 different materials--- carbon fiber sheet, steel plate and fiber-steel composite plate --- were tested under cyclic lateral force and a constant axial load equal to 20 % of the column's axial load capacity. The hypothetical equivalent value of the strengthening among three materials is introduced to evaluate.

1. 서론

기존 콘크리트 구조물의 보강방법들 중 강판보강의 경우는 콘크리트의 압축파괴 후에도 지속적인 변형을 나타내 취성파괴에 대한 보강효과를 보여주지만 콘크리트와의 접착성 및 단면 일체성의 확보가 어렵다. 탄소섬유시트 역학적 성질은 강재와 유사한 성질을 가지고 있으면서, 내식성, 경량 등의 강재에 없는 특성을 가지고 있고 다소 연성 및 내력이 증가하지만 CFS의 파단후에는 취성적으로 파괴한다는 단점이 있다. 따라서, 강판보강의 장점인 콘크리트의 압축파괴 후에도 지속적인 변형을 하는 취성파괴에 대한 보강효과와 CFS 보강의 장점인 내력증가, 단면 일체성, 내식성, 경량성 등을 모두 발휘할 수 있는 새로운 복합 보강재료 개발의 필요성이 대두되어 섬유와 강판이 복합된 보강재료 (Composite Plate)가 이용되기에 이르렀다. 본 연구에서는 CP로 보강된 1/2 축소 모형 기둥 실험체에 일정 축력하의 반복 횡력 실험을 통한 보강기둥의 구조적인 거동, 파괴형태, 최대내력항상 정도를 분석하여 복합플레이트의 내진성능을 평가하고자 한다.

* 정회원, 경상대학교 건축공학과 석사과정

** 주식회사 엠프로, 공학석사

*** 경상대학교 건축공학과 석사과정

**** 정회원, 경상대학교 건축공학과 교수, 공학박사

2. 실험

2.1 실험 계획

실험체는 실제 구조물의 1/2의 규모로 축소된 RC 기둥을 9개 제작하여 1개는 기본실험체로하고 2개는 강판보강, 3개는 탄소섬유보강, 3개는 복합플레이트로 보강하였다. 보강방법은 모재의 띠근 사이에 5cm 폭으로 부분 보강하였다. 보강설계는 대략 강판 0.8t와 탄소섬유 1접을 등가로 가정하여 설계하였고 기본 보강재로 복합플레이트로 하여 탄소섬유와 강판보강과 비교분석하였다. 실험체명 실험 결과값은 표 1 과 같다.

표 1 실험체 설계 및 실험결과

실험체명	최대하중 $P_m(\text{ton})$		최대변위 $\Delta_m(\text{cm})$		최대모멘트 $M_m(\text{ton} \cdot \text{cm})$	
	push	pull	push	pull	push	pull
RCR1-N0	+7.58	-6.53	+39.81	-38.87	+1250.7	-1077.45
RCR1-SP-16	+6.97	-7.50	+28.47	-44.3	+1150.05	-1237.5
RCR1-SP-20	+7.941	-8.016	+38.48	-48.74	+1310.265	-1322.64
RCR1-CF-P2	+6.3	-6.663	+68.30	-69.12	+1025.64	-1099.395
RCR1-CF-P3	+6.421	-7.361	+29.45	-45.99	+1059.465	-1214.565
RCR1-CF-P4	+7.358	-8.183	+60.63	-40.6	+1214.07	-1350.195
RCR1-CP-08P2	+6.833	-7.233	+35.14	-35.09	+1127.445	-1193.445
RCR1-CP-16P2	+7.65	-7.31	+43.7	-43.73	+1262.25	-1206.15
RCR1-CP-16P4	+7.783	-8.56	+43.96	-58.69	+1284.195	-1412.4

RCR1-CP-16P2
 보강방법: 16,20=강판 두께(mm) ; P2,P3=탄소섬유 접수; 08P4, 16P4, 16P8=강판두께+섬유접수
 보강재료: N0=무보강 ; SP=강판 ; CF=탄소섬유 ; CP=복합플레이트
 모재종류: RCR1= 철근콘크리트 구속근량이 기준(건설부 기준)이상 인 모재

2.2 실험체 제작 및 보강방법

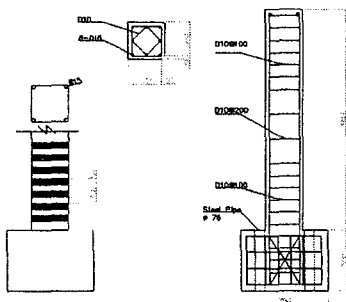


그림 1 실험체(right) 및 보강상세(left)

모재의 형태는 30cm × 30cm × 180cm 이고 주근은 8-D16, 띠근은 기둥 상부와 하부는 D10@100, 중앙부는 D10@200으로 배근하였으며, 띠근 보조근은 마름모형식으로 100% 배근였다. 구속근은 건설부 기준 및 ACI code 5.3에 의거하여 구속근량($\rho_s=1.1\%$)을 설계하였다. 강판과 복합판의 보강방식은 압착공법으로 "ㄷ" 모양 5cm 폭으로 사전 가공하여 복합플레이트용 압착퍼티(MT-600)을 모재와 보강재에 바르고 8-#6 볼트로 체결하였다.

2.3 재료 시험

본 연구에 사용된 콘크리트(표 2)는 골재 치수가 13mm고 설계강도가 270kgf/cm² 이며 실험체와 같은 조건에서 현장 양생하였다. 사용재료는 철근

SD40(4000kgf/cm²), 강판 SS41(1600~2400kgf/cm²), 탄소섬유시트 SK-N200(표 4) 을 사용하여 복합 판을 제작하여 재료시험 하였다. 재료시험은 KS B 0801(금속재료 인장시험편) 규정에 따라 시험편을 제작하였으며, KS B 0801의 KS B 0802의 금속재료 인장시험 방법을 준수하여 2개씩 인장시험하여 평균한 값은 표 3과 같다.

표 2 콘크리트 배합표 및 실험결과

실험강도 (kgf/cm ²)	설계강도 (kgf/cm ²)	G max (mm)	슬럼프 (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/A (%)	단위량(kg/m ³)			
							W	C	S	G
240	270	13	12	4.5	53.0	48.6	170	321	871	981

표 3 탄소섬유 시트의 특성

섬유중량 (g/m ²)	섬유비중 (g/cm ³)	설계두께 (mm)	인장강도 (kgf/cm)	설계강도 (kgf/cm ²)	인장탄성률 (kg/cm)	설계탄성률 (kg/cm ²)	파단신도 (%)
200	1.80	0.111	390	35000	25900	2/5×10 ⁶	1.5

표 4 인장실험 결과

종류	구분	탄성계수 (kgf/cm ²)	인장강도 (kgf/cm ²)	신율 (%)	종류	구분	탄성계수 (kgf/cm ²)	인장강도 (kgf/cm ²)	신율 (%)
철근	D10				탄소섬유	SK-N200			
	D16						복합판		
강판	0.8 mm								
	1.6 mm								
	2.0 mm								

2.4 실험장치 및 실험방법

실험체 설치는 그림 1과같이 하였고, 축력의 가압방식은 기둥의 최대압축강도(P₀)를 해석한 후 그 값의 20%를 두 개의 센터홀 작키를 이용하여 기둥 두부 H형강 프레임에 축력을 전달하는 방식으로 실험 중 50ton을 일정하게 가력하였다. 횡력 가력방법은 가력순서는 기둥단면에 대한 해석을 수행하여 항복 전단강도(V_y)를 구하고 그림 2와 같이 전단강도의 50%와 75% 를 +,-방향으로 각각 가력한 후 다음 가력부터는 전단강도가 75%일때의 +,- 방향 변위로부터 기준변위 Δy(Δy=(Δ'0.75Vy+Δ'0.75Vy)/(2*0.75))를 구한후 기준변위의 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8배 변위제어방식으로 정부 반복가력을 각각 2회씩 하였다. 가력패턴은 그림 3과 같다.

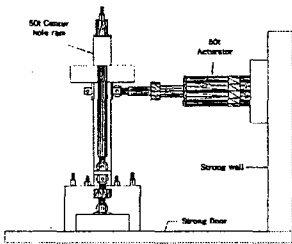


그림 8 실험체 세팅도

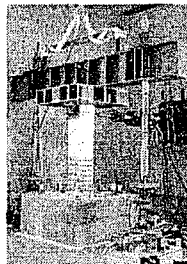


그림 9 세팅 사진

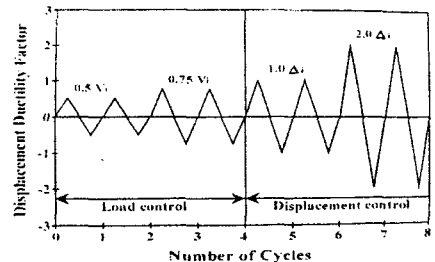


그림 10 Standard loading history

기둥의 횡변형은 가력 정부 방향에 각각 3 개의 LVDT를 스테브에서 15cm, 30cm, 30cm 위치에 설치하고 기둥 두부에도 Long LVDT를 설치하여 측정하였다. 기둥의 축력은 하중계(load cell)를 2개

를 이용하였으며 횡하중은 액추에터에 하중계(load cell)를 설치하여 측정하였다. 4개의 시험체는 철근 스트레인 게이지를 설치하지 않았으며, 다른 시험체들은 주근 8개, 띠근 12개 그리고 보강재는 4개씩 스트레인게이지를 설치하여 변위를 측정하였다.

3. 실험결과

3.1 파괴양상 비교

RCR1-N0 시험체는 심부콘크리트 파괴 후 주근이 끊어져 압축응력이 급격히 떨어져 실험을 중단하였다. 모든 보강부재의 파괴는 휨파괴와 압축파괴의 양상을 보였는데, 0.75Δ 에서 휨균열이 발생하기 시작하고 다음 사이클부터 압축측 균열이 발생하기 시작하여 균열이 3Δ 정도까지 기동 상부로 균열이 올라가며 진전되다가 압축측 보강재의 박리와 압축측 콘크리트의 압괴 및 휨으로 인한 크랙에 집중되는 양상을 보였다. 파괴후 배부름은 강판보다 탄소섬유가 심하였다.

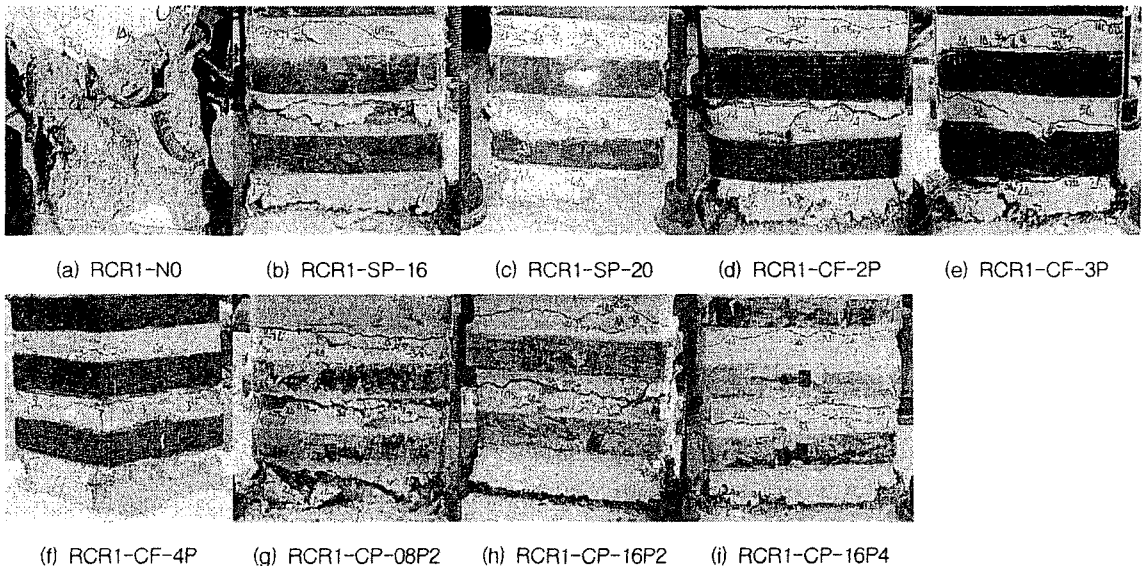
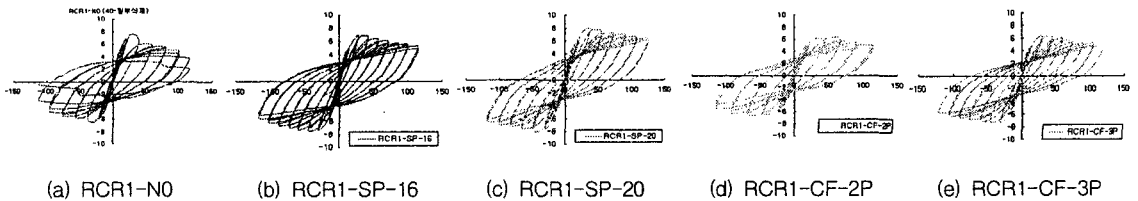
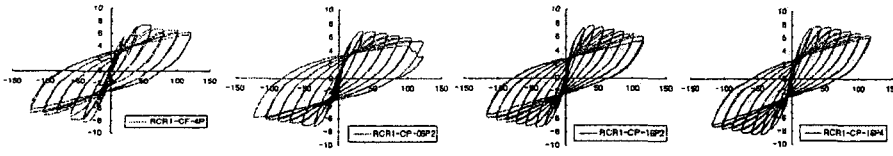


그림 4 실험체별 파괴양상

3.2 이력거동특성

본 연구에서는 각 실험체의 이력거동 곡선을 구하기 위하여 반복주기하중을 가력하여 각 실험체의 작용하중과 하중 작용점의 변위와의 관계를 그림5 에서와 같이 구하였다.





(f) RCR1-CF-4P (g) RCR1-CP-08P2 (h) RCR1-CP-16P2 (i) RCR1-CP-16P4

그림 5 실험체별 하중-변위 곡선

3.3 포락선 및 최대 내력 향상도 비교 분석

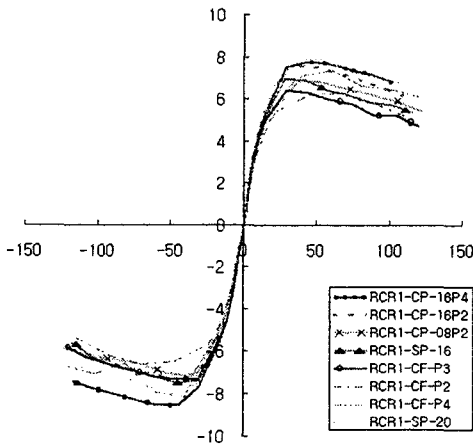


그림 6 보강 시험체별 포락선 비교

효과가 있었다.

③ RCR1-SP 계열의 실험체는 정·부 방향에 따라서 강판의 두께에 대한 보강효과가 달랐지만 정·부 방향에 대한 최대 내력 향상도를 평균했을 때 약 10%의 최대 내력이 향상되었다. 그리고 무보강 실험체와 비교했을 때 정부 방향 평균값이 약 1.6mm는 3%, 2.0mm는 13%의 최대 내력이 향상되었다.

④ RCR1-CP 계열의 실험체는 정·부 방향에 따라서 보강효과가 달랐지만 정·부 방향에 대한 최대 내력 향상도를 평균했을 때 08P2에서 16P2는 6.5%, 16P2에서 16P4는 9.4%, 08P2에서 16P4는 16.12%의 최대내력이 향상되었다. 그리고 무보강시험체와 비교했을 때 정·부 방향 평균값이 08P2, 16P2, 16P4 각각이 0.45%, 6.43%, 16.88% 내력이 증가하였다.

⑤ 보강 시험체별 포락선(그림 6) 및 하중-변형도 곡선을 보면 강판 1.6mm, 탄소섬유시트 3겹, 복합판 RCR1-CP-08P2가 비슷한 양상을 보이고 강판 2.0mm, 탄소섬유시트 4겹이 역시 비슷한 양상을 보이고 있음을 알 수 있다.

4. 결론 및 고찰

이상과 같이 실험체를 분석한 결과 결론은 다음과 같다.

① 보강시험체 설계를 탄소섬유 1겹과 강판 0.8mm를 등가로 가정하였는데 내력 향상적인 측면에서만 볼 때 탄소섬유 7%/1겹, 강판 10%/0.8mm의 향상도를 고려하고 위 ⑤ 항을 고려하면 탄소섬유 1겹과 강판 0.5mm를 등가로 가정해도 될 것으로 판단된다.

② 강판이 탄소섬유보다는 콘크리트에 대한 휨구속력이 더 커서 파괴 후 배부름이 적었고 복합플레이트 실험체인 RCR1-CP-16P4 실험체의 경우도 보강재의 변형 없이 우수한 내력을 보여주었다.

참고문헌

1. M.J.N.Pristley and F.Seible, "Design of Seismic Retrofit Measures for Concrete and Masonry Structures", Construction and Building Materials, Vol. 9, No.6, pp 365-377,1995
2. (주) 엠프로, 윤정배, 안상호, 조백순, 원종필, "섬유-유공강판 복합플레이트를 사용한 콘크리트 구조물 보강공법", 신기술 지정신청서, 2003. 9.
3. 이재훈, 정철호,고성현,손혁수, "반복회하중을 받는 철근콘크리트 원형 교각의 축방향철근 연결상세에 따른 강도저감 및 파괴거동", 콘크리트학회 논문집. 제 16 권 1호, 2004. 2., pp. 111-123
4. 천성철, 박형철, 안재현, 박칠림, "탄소섬유시트로 휨구속된 철근콘크리트 기둥의 축, 휨내력 및 변형성능에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 구조계. 15권 2호 1999년 2월. pp 37-45
5. 이용택, 나정민, 김승훈, 이리형, "탄소섬유시트로 전단보강된 철근콘크리트 기둥의 거동", 대한건축학회 논문집. 구조계 18권 4호 2004년 4월, pp. 19-26
6. 류수현, 김진배, 장화균, 조철호, "강판 보강된 철근콘크리트 기둥내력에 관한 실험적 연구", 대한건축학회학술발표논문집, 제18권 제2호. 1998년 10월. pp 359-364