

복합판으로 보강된 철근콘크리트 기둥의 내진성능연구

박태만¹⁾ · 박성민¹⁾ · 홍혁준¹⁾ · 강경수²⁾ · 윤정배^{1)*}

¹⁾ 경상대학교 건축공학과, 공학연구원 ²⁾ 동명정보대학교 건축공학과

(2004년 10월 20일 원고접수, 2005년 2월 12일 심사완료)

Earthquake-Resistant Capacity of RC Columns Retrofitted by Fiber-Steel Composite Plate

Tae-Man Park¹⁾, Seong-Min Park¹⁾, Hyeok-Jun Hong¹⁾, Gyeong-Soo, Kang²⁾, and Jeong-Bae, Yoon^{1)*}

¹⁾ Dept. of Architectural Engineering, GyeongSang National University, GyeongNam, Korea

²⁾ Dept. of Architectural Engineering, TongMyong University, Pusan, Korea

(Received October 20, 2004, Accepted February 12, 2005)

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the strength and ductility improvement of columns retrofitted by steel-fiber composite plate. Test specimens strengthened by three different materials - steel plate(SP), carbon fiber sheet(CF) and fiber-steel composite plate(CP) - were tested under cyclic lateral load with a constant axial load equal to 20% of the axial compression capacity. The structural capacity of composite plate was good or better than that of other retrofitting materials. Test results from all retrofitted specimens showed that considerably higher retrofitting amount was required for strength enhancement. The ductility of retrofitted columns by composite plate was fairly improved. Also, energy ductility ratio was more effective than displacement ductility ratio for ductility estimation of retrofitted column.

Keywords : retrofitted column, seismic capacity, fiber-steel, composite plate, cyclic load

1. 서 론

철근콘크리트 기둥의 내진설계의 기본개념은 일정수준의 강도와 연성능력을 보유함으로써 비선형거동을 통한 에너지 소산능력을 이용하는 것이다. 내진설계법이 도입되기 이전에 지어졌거나 그 이후의 구조물이라도 충분한 내진성능을 확보하지 못한 기존구조물의 경우, 다양한 방법을 사용하여 내진성능을 확보하는 것이 필요하게 되었다. 이러한 보강방법들 중 강판보강의 경우, 콘크리트의 압축 파괴 후에도 지속적인 변형을 나타냄으로써 취성파괴에 효과적이지만 시공성, 콘크리트와 접착성 및 단면 일체성의 확보가 어렵다. 탄소섬유시트의 경우, 강재와 유사한 성질을 가지고 있으면서, 내식성, 경량성 등 우수한 특성을 가지고 있으나 파단 후에는 취성적으로 파괴하는 단점을 가지고 있다. 따라서 강판보강의 장점인 취성파괴에 대

한 보강효과를 얻고, 동시에 섬유보강의 장점인 내력증가, 일체성, 내식성, 경량성을 모두 발휘할 수 있는 섬유와 강판이 복합된 보강판(composite plate)이 개발되기에 이르렀다²⁾.

한편, 기둥의 내진거동과 보강기둥에 대한 연구로는 손혁수¹⁾, 이재훈³⁾ 등의 심부구속량, 축방향 연결상세에 따른 내진성능평가, 정영수 등⁷⁾의 유사동적실험에 의한 연성과 강성감소 평가 등이 있으며, 기둥보강 연구로는 정영수 등⁵⁾의 섬유보강 기둥의 연성도 평가, 이용택 등⁴⁾의 섬유보강에 의한 내력평가모델과 실험성능 비교, 홍원기¹⁰⁾ 등의 연구가 진행되었으나 최근 개발된 강판-섬유 복합판을 이용한 연구는 아직 없는 실정이다.

본 연구에서는 섬유와 강판을 접착한 복합판을 만들어 1/2 축소 기둥실험체에 보강한 후, 일정 축력하의 반복 횡하중실험을 통한 보강기둥의 파괴형태와 내력특성을 분석하여 섬유-강판접착 복합플레이트 기둥의 내진성능을 평가하고자 한다.

* Corresponding author

E-mail : jbyoon@gsnu.ac.kr

©2005 by Korea Concrete Institute

2. 실험

2.1 실험 계획

전형적인 중저층 주거용 건물의 최하층 기둥을 대상으로 1/2 축소 철근콘크리트 기둥을 제작하여 기본실험체 1개, 강판 보강실험체 2개, 탄소섬유 보강실험체 3개 및 복합플레이트 보강실험체 3개를 실험하였다. 보강방법은 모재의 띠철근 사이에 50mm 폭으로 밴드형태로 부분보강하였다. 보강설계는 휨보강 연구의 내력특성²⁾을 참고하여 개략적으로 강판 0.4mm와 탄소섬유 1겹을 등가로 가정하고 사용가능한 보강재의 치수를 고려하여 설계하였다. 각 실험체의 특징과 설계상세는 Table 1 와 같다.

2.2 실험체 제작 및 보강방법

기둥 모재 단면치수는 300mm×300mm 정방형이며 가력단까지 거리는 1.65m 로 하였다. 주철근은 8-D16, 띠철근은 기둥 상,하부에 D10@100, 중앙부는 D10@200 으로 배치하였으며 콘크리트구조설계기준¹¹⁾에 의하여 설계하였다. 실험체 상세 및 보강형태는 Fig. 1 과 같다. 본 연구에 사용한 콘크리트의 설계강도는 26.5 MPa (270 kgf/cm²)이며, 사용철근은 SD40, 강판은 SS41, 탄소섬유는 S사 N200을 사용하였다.(Table 2) 탄소섬유, 강판 및 접착수지의 재료특성은 Table 3 과 같다. 사용한 수지는 복합판 압착용 특수 에폭시계를 사용하였다.

복합판은 일정 두께의 철판과 탄소섬유를 접착시켜 제작하였으며, 폭 50mm 로 “ㄷ” 모양으로 가공한 복합판을 실험체에 압착 설치하고 겹침이음 부분에는 8-φ6 볼트로 결합하였다. 또한, 잠재소성현저 범위인 ID (D : 기둥폭) 구간 이상까지 충분히 보강하였다. 실험에 사용한 복합판의 재료특성을 Table 4 에 표시하였으며, 부착강도는 12

개의 인장전단실험체의 평균값을 사용하였다. 또한, 사용재료의 응력도-변형도 곡선은 Fig. 2 와 같으며 섬유와 강판의 중간내력을 보인 후 섬유파단 후에는 강판의 거동을 나타내고 있다.

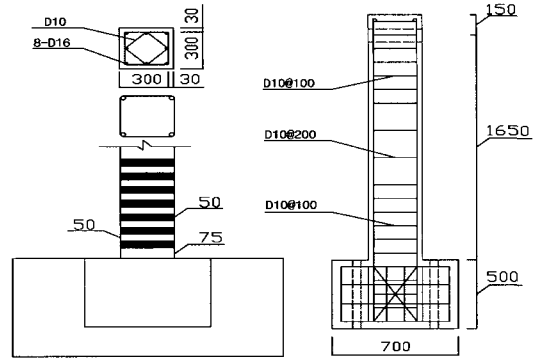


Fig. 1 Specimen details (unit : mm)

Table 2 Material properties of steel bar and concrete

Bar No.	Longitudinal steel		Confinement steel			Compress. strength (MPa)	
	Yield strength (MPa)	Reinf. ratio	Bar no.	Yield strength (MPa)	Spacing (mm)		Reinf. ratio
D16	392.3	0.018	D10	392.3	100	0.011	26.5

Table 3 Material properties of carbon fiber steel plate and epoxy resin

Materials	Tensile strength (MPa)	Elongation	Modulus of elasticity (MPa)	Shear-tension strength (MPa)	Remarks
Carbon fiber	3311.4	0.0153	224572.3	-	-
Steel plate	194.2	-	203978.0	-	-
Epoxy resin	47.7	-	-	12.6	MT606

Table 1 Details of test specimens

Specimens	Retrofitted Material	Retrofitted Method	Retrofitted Length (mm)	Retrofitted Spacing (mm)	Band Width (mm)	Remarks
RCR1-N0	-	-	-	-	-	Control
RCR1-SP-16	Steel plate	Jacketing	750	100	50	1.6 mm
RCR1-SP-20						2.0 mm
RCR1-CF-P2	Carbon fiber	Bonding	750	100	50	2 Ply
RCR1-CF-P3						3 Ply
RCR1-CF-P4						4 Ply
RCR1-CP-08P2	Composite plate	Jacketing	750	100	50	0.8mm + 2Ply
RCR1-CP-16P2						1.6mm + 2Ply
RCR1-CP-16P4						1.6mm + 4Ply

ex) RCR1-CP-16P2

- (type) 16,20= plate thickness, P2,P3,P4= no. of ply
- (material) N0=none; SP=steel plate; CF=carbon fiber; CP=compo. plate
- (original member) RCR1=column designed by lateral confining require.

Table 4 Material properties of composite plates

Composite Plates	Tensile Load (kN)	Elongation	Modulus of Elasticity (MPa)	Bond Strength (MPa)	Remarks
CP-08P2	12.9	0.0174	208882	2.75	0.8mm+2Ply
CP-16P2	15.63	0.0151	208882	2.75	1.6mm+2Ply
CP-16P4	25.89	0.0160	219669	2.75	1.6mm+4Ply

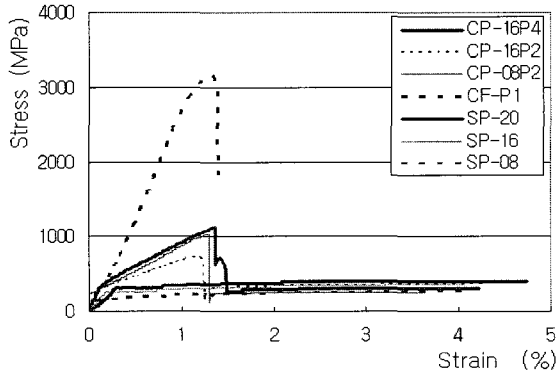


Fig. 2 Stress-strain relationships of retrofitted materials

2.3 실험장치 및 방법

실험체 설치는 Figs. 3 과 4와 같이 실험체 고정용 스티브를 반력바닥에 설치하고, 축력을 가할 수 있는 프레임을 별도로 사용하였다. 축력은 기둥 최대축력(P_0)의 20% (490 kN)를 센터홀 잭을 이용하여 기둥두부에 일정하게 가력하였다. 횡방향 가력은 항복전단강도(V_y)를 구하고 Fig. 5 와 같이 $0.75V_y$ 일 때의 +, - 방향 변위로부터 각 방향의 항복변위를 평균하여 최종항복변위 Δ_y 를 결정하였고 항복변위 이후로는 Fig. 5 와 같이 $1\Delta_y, 2\Delta_y, 3\Delta_y$ 등으로 변위제어에 의하여 2회 반복가력을 하였다. (Fig. 6)

3. 실험결과

3.1 파괴형태

RCR1-N0 실험체와 RCR1-CP-08P2는 콘크리트 파괴 후 주철근 파단으로 압축응력이 급격히 저하하여 실험을 중단하였다. 모든 보강한 부재의 파괴는 휨파괴를 나타내었으며, $0.75\Delta_y$ 에서 휨균열이 발생하기 시작하고 다음 사이클부터 압축측 균열이 발생하기 시작하였다. $3\Delta_y$ 정도까지는 상부 측 보강부분에도 균열이 진전되었으나, 이후에는 단부에 집중적으로 휨균열이 발생하였다. RCR1-CF-P2, RCR1-CF-P3, RCR1-CP-08P2 실험체에는 콘크리트 압괴와 보강재의 변형과 박리가 발생하였다. RCR1-SP-16, RCR1-SP-20, RCR1-CP-08P2 실험체는 보강재의 형

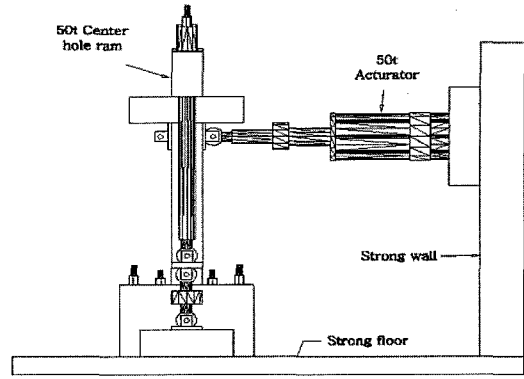


Fig. 3 Test setup

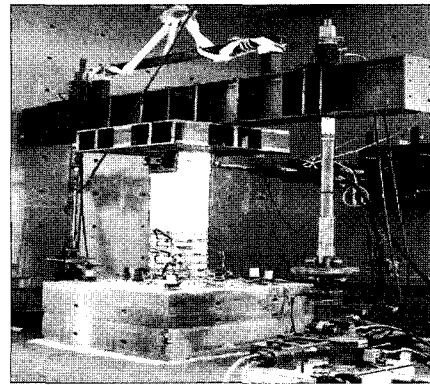


Fig. 4 Test view

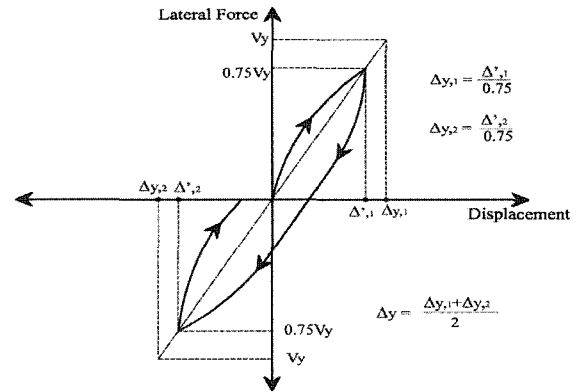


Fig. 5 Definition of yield displacement

방향 변형이 관찰되었다. 최대내력 이후에는 내력이 점진적으로 감소하였다. Fig. 7은 각 실험체의 파괴형태를 보여주고 있다.

한편, 각 실험체의 최대하중, 항복하중, 종국하중의 정(+) 방향과 부(-)방향의 평균한 결과를 Table 5 에 나타내었다.

반복하중을 받는 기둥실험체의 경우 항복 및 종국파괴의 기준을 정하는 것은 일정하지 않으나, 본 연구에서는 최대하중의 75%에 해당하는 횡력과 하중-변위곡선의 교

점을 항복변위로 정의하였다.(오프셋법) 또한, 중국내력은 축방향 철근파단모드와 구속콘크리트 파괴모드에 동일하게 적용하기 위하여 최대하중 이후 하중이 85% (0.85 V_{max})까지 저하된 때로 정의하였다. Table 5의 끝부분에 무보강 실험체의 최대하중에 대한 하중증가율을 나타내었으며, 하중증가율에서 알 수 있듯이 강판, 섬유 및 복합판 모두에서, 높은 보강량을 사용한 경우에 유효한 하중개선 효과를 얻을 수 있었다. 이는 밴드형식으로 보강할 경우, 보강 후 하중증가를 위해서는 충분한 구속력이 필요함을 나타내고 있다.

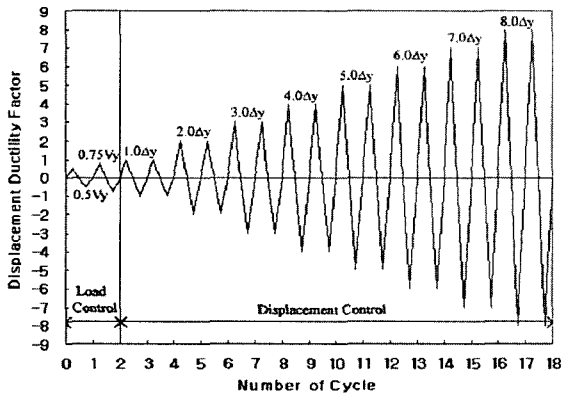


Fig. 6 Loading history

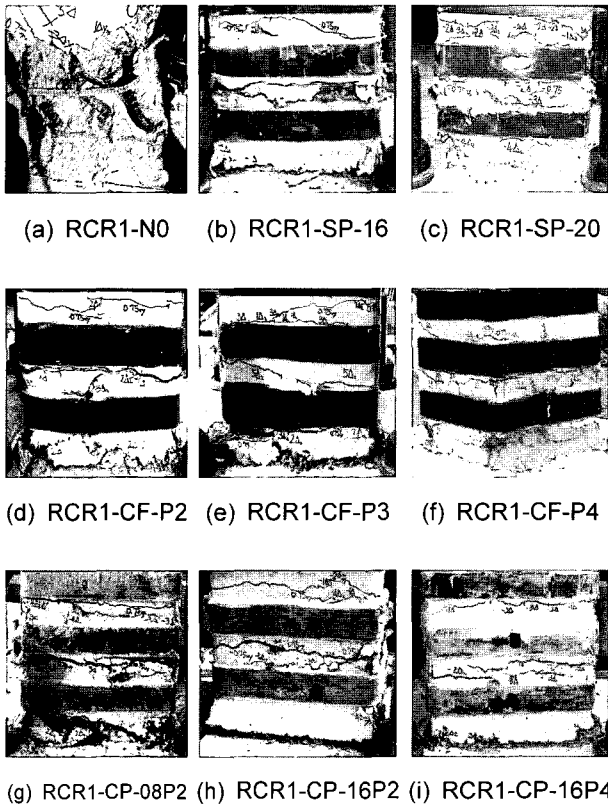


Fig. 7 Failure patterns

실험체별 하중-변위 포락선은 Fig. 8 과 같다. 그림에서 나타나듯이 최대내력의 경우 보강실험체가 무보강실험체보다 내력이 약간 증가하였으며 복합플레이트로 보강한 경우 다른 보강방법과 비슷한 내력향상을 보였다. 전체적으로는 보강량이 낮을수록 최대하중 증가는 미약하였으며, 상대적으로 보강량이 큰 실험체의 최대하중 증가가 큰 것으로 나타났다.

3.2 이력거동특성

각 실험체의 이력곡선은 Fig. 9 와 같다.

보강하지 않은 기준 실험체의 경우 6 Δ_y 이후 주철근파단에 의한 급격한 내력저하를 나타내었으며, RCR1-CP-08P2 실험체의 경우 7 Δ_y 이후 단부 콘크리트 압괴와 주철근파단으로 급격한 저하를 나타내었다. 이는 최종파단변형부근의 소성흔지 집중에 대한 충분한 구속력을 가지지 못한 것으로 판단된다. 탄소섬유보강 실험체는 내력증가는 작으나 보강재에 상당한 변형이 발생하였으며, 균열범위가 확산되므로 써 안정적인 이력거동을 나타내었다. 강판보강과 복합판의 다른 실험체의 경우에는 강도증가는 차이가 있으나 변형능력은 매우 안정적인 곡선을 나타내었다.

Table 5 Test results

Specimens	Yield load (kN)	Max. load (kN)	Ult. load (kN)	Normalized max. load
RCR1-N0	55.5	67.9	58.8	1.00
RCR1-SP-16	52.0	71.0	60.3	1.05
RCR1-SP-20	52.6	78.3	66.5	1.15
RCR1-CF-P2	48.4	63.5	53.9	0.94
RCR1-CF-P3	51.2	67.6	57.5	1.0
RCR1-CF-P4	50.0	76.2	64.7	1.12
RCR1-CP-08P2	52.6	68.9	58.6	1.02
RCR1-CP-16P2	52.9	73.4	62.4	1.08
RCR1-CP-16P4	54.9	80.1	68.1	1.18

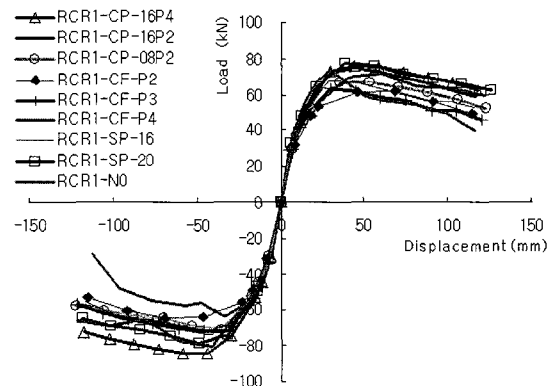


Fig. 8 Load-displacement envelope curves

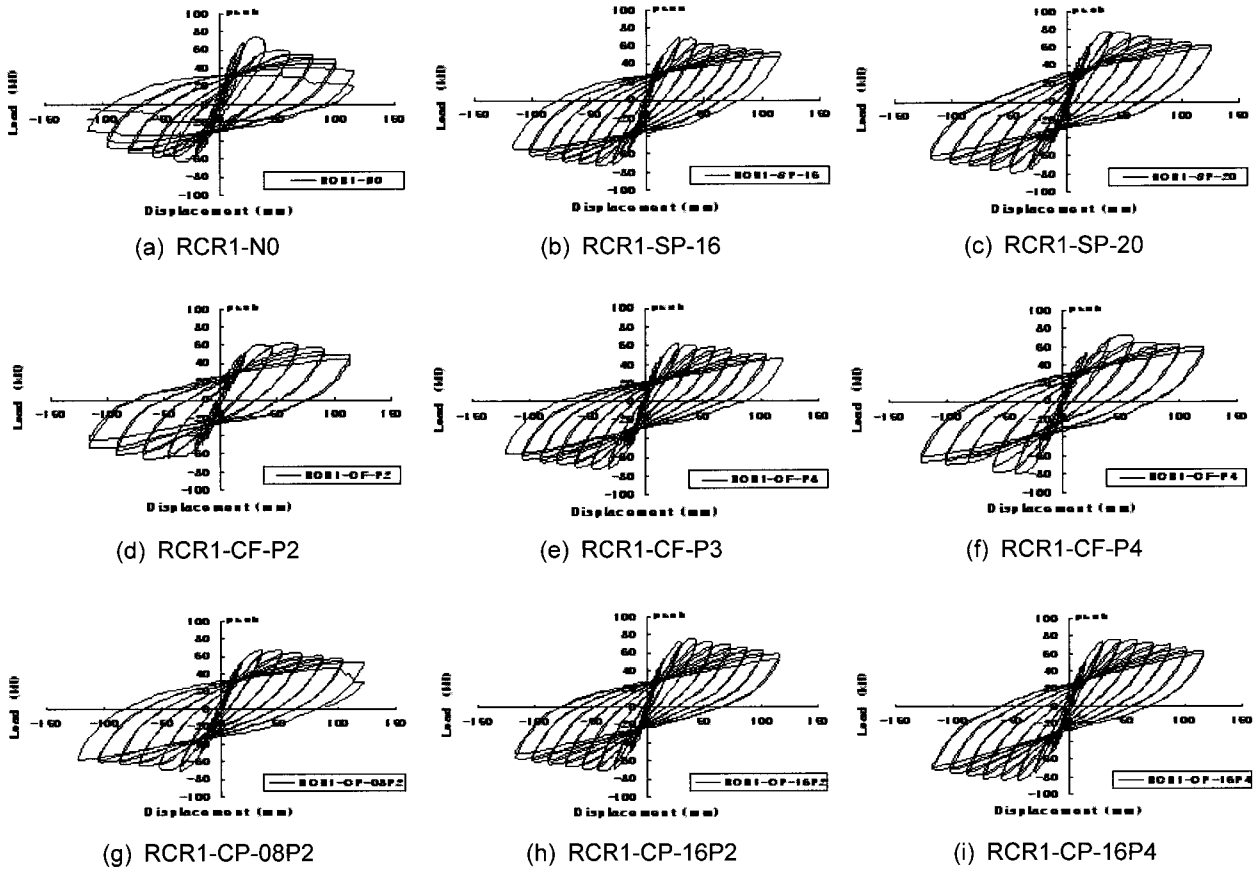


Fig. 9 Load-displacement relationships of specimens

4. 내진성능 평가

4.1 변위 및 에너지 연성도

내진보강의 경우, 보강 후 연성능력이 중요하게 고려하게 된다. 연성도 분석을 위한 항복변위는 3.1에서 설명한 바와 같고 종국변위는 종국하중 때의 값을 사용하였다.

변위연성도는 항복변위에 대한 종국하중에서의 변위의 비율로 정의하였다. 또, 기둥의 하중-변위 이력곡선으로 둘러싸인 면적은 구조물의 에너지 흡수상태를 나타내며, 에너지연성도($\mu = E_u/E_y$)로 정의하였다. Fig. 10에서 알 수 있는 바와 같이 무보강 실험체인 RCR1-N0 실험체보다 보강실험체의 연성능력이 증가했음을 보여주고 있다.

4.2 누적소산에너지 및 감쇠비 특성

외력에 의하여 구조물의 손상이 계속되면 감쇠비는 증가하며 실험체 내부에서 소산되는 에너지의 양이 증가하게 된다. 식 (1) 과 Fig. 11 과 같이, E_D 를 사이클 당 에너지소산량으로 표시하고, E_{S0} 를 재하단계에 축적된 탄성 변형에너지로 표시할 경우, 이때의 등가점성 감쇠비(equivalent damping ratio, ξ)는 아래와 같다.

$$\xi = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{E_D}{E_{S0}} \quad (1)$$

가력 사이클이 진행함에 따른 매 사이클의 소산에너지 (E_D)와 재하단계에 입력된 입력에너지(E)의 비를 소산에너지비로 정의하고, 그때까지 누적된 소산에너지(ΣE_D)와 재하단계에 입력된 에너지의 누적값(ΣE)의 비를 누적소산에너지비(Accumulated Dissipated Energy Ratio)로 정의하였다.

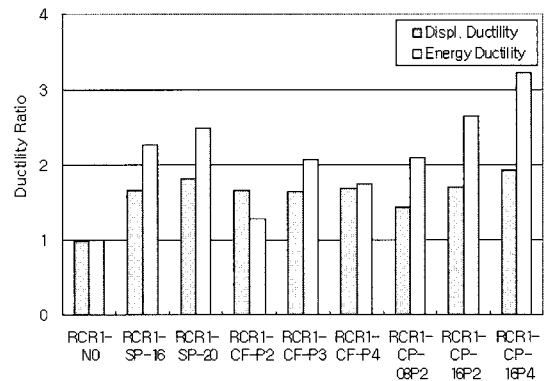


Fig. 10 Displacement and energy ductility

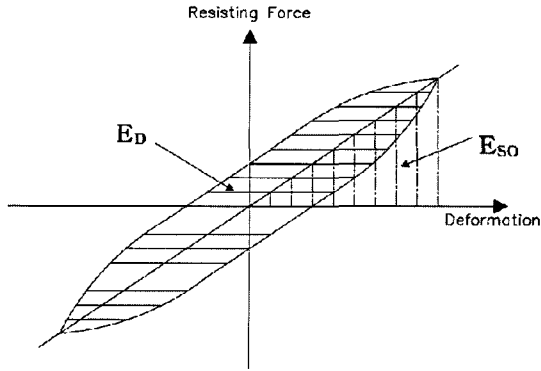


Fig. 11 Definition of equivalent damping ratio

Fig. 10 에서 알 수 있듯이 변위연성도보다 에너지연성도가 보강재료에 따른 연성도 차이를 뚜렷하게 나타내고 있으며, 복합플레이트로 보강한 실험체의 에너지 연성능력이 보강량에 따라 일정하게 증가하고 있음을 보여주고 있다.

각 실험체의 연성능력 결과를 Table 6 에 표시하였다. 항복변위와 종국하중에서의 변위, 변위연성도 및 무보강시험체의 연성도에 대한 변위연성증가율을 표시하였으며, 종국하중 때의 가력단에서의 횡방향 회전각(tip displacement drift)을 나타내었다. 또한, 항복하중, 최대하중 및 종국하중까지의 누적소산에너지와 에너지연성도를 표시하였으며, 항복하중 때의 누적에너지에 대한 연성증가율을 표시하였다. 표의 끝부분에는 종국하중 때의 누적소산에너지비와 감쇠비의 한계치를 표시하였다. 표의 감쇠비는 안정적인 이력거동을 보이는 경우로 가정하여, 각 실험체의 등가감쇠비와 사이클 당의 소산에너지비 관계(Fig. 14)로 부터 결정하였으며 상대적인 손상정도(Damage Index)를 나타낸다. 무보강 실험체에 대한 에너지비는 69~82%, 감쇠비는 36~49%의 값을 나타내어 감쇠비가 손상정도를 더 잘 표시하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 12 에는 가력 사이클의 진행에 따른 각 실험체의 누적소산에너지의 진행을 나타내었다. 최대하중 이후에도 지

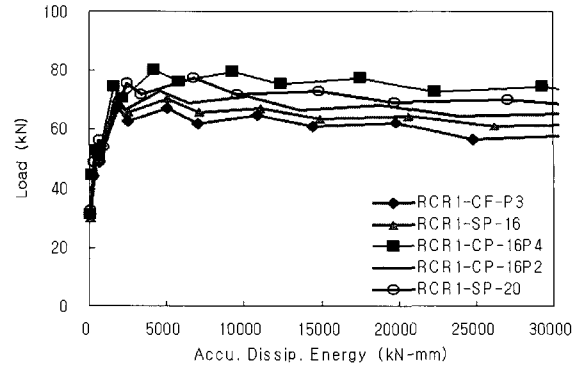


Fig. 12 Relationship of load and accumulated dissipated energy

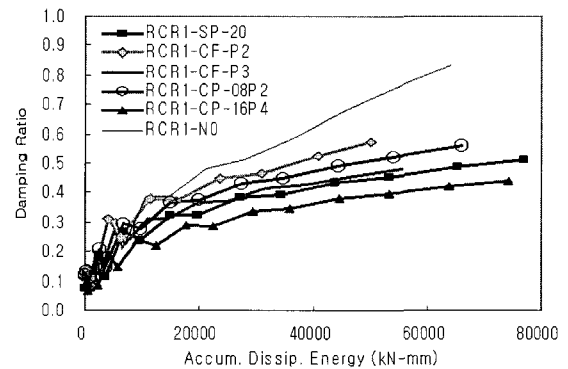


Fig. 13 Equivalent damping ratio in terms of accumulated dissipated energy relationships

속적으로 에너지소산능력이 누적되고 있음을 보여주고 있으며 복합판과 강판보강 실험체의 연성능력이 우수하였다.

Fig. 13 은 각 실험체의 누적소산에너지와 감쇠비의 관계를 나타내고 있다. 감쇠비 증가는 구조물의 손상을 의미하므로 RCR1-CF-P2, RCR1-CP-08P2, RCR1-CF-P3, RCR1-SP-20, RCR1-CP-16P4 순으로 실험체의 손상이 작으면서 큰 에너지 소산능력을 보유함을 나타내고 있다.

Table 6 Test results for ductility

Specimens	Displacement				Displ. drift (%)	Energy				Accu. dissip. energy ratio	Proposed equiv. damping ratio	
	Yield displ. (mm)	Ultimate displ. (mm)	Ductility	Norm. ductility		Accumulated dissipated energy (kN-mm)			Ductility			Norm. ductility
						yield	max. load	ultimate				
RCR1-N0	16.75	61.67	3.69	1.00	3.74	519.8	3889.6	10793.8	20.8	1.00	0.987	0.89
RCR1-SP-16	14.80	82.4	6.23	1.67	4.99	807.2	5042.4	38063.6	47.2	2.27	0.776	0.40
RCR1-SP-20	15.85	105.8	6.79	1.84	6.41	892.4	6817.7	46159.0	51.7	2.49	0.751	0.38
RCR1-CF-P2	17.45	108.1	6.26	1.70	6.55	1255.1	4045.1	33284.8	26.5	1.28	0.811	0.44
RCR1-CF-P3	15.39	85	6.20	1.68	5.15	828.2	5099.2	35680.5	43.1	2.07	0.745	0.37
RCR1-CF-P4	16.34	106	6.35	1.72	6.42	1027.4	8893.5	37276.4	36.3	1.74	0.761	0.39
RCR1-CP-08P2	17.65	91.3	5.38	1.48	5.53	1063.6	6846.8	46366.8	43.6	2.10	0.772	0.40
RCR1-CP-16P2	15.55	93.5	6.40	1.73	5.67	826.6	4612.5	45619.3	55.2	2.65	0.728	0.36
RCR1-CP-16P4	16.15	110	7.24	1.96	6.67	782.5	4217.7	52336.0	66.9	3.22	0.678	0.32

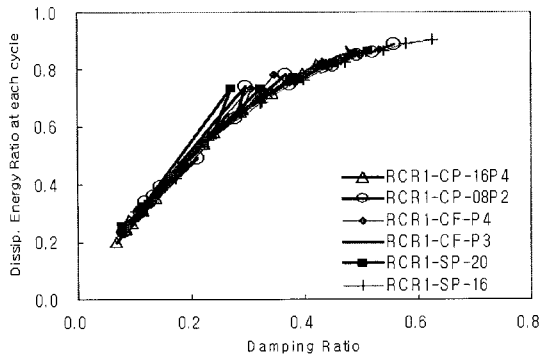


Fig. 14 Relationships of dissipated energy ratio and equivalent damping ratio

각 실험체의 누적소산에너지비와 감쇠비 관계를 Fig. 14에 나타내었으며, 안정적인 이력곡선을 나타내는 실험체일수록 에너지소산비와 감쇠비가 일정한 관계에 접근함을 보여주고 있다.

5. 결 론

본 연구는 강관, 탄소섬유시트 및 강관-탄소섬유시트를 복합한 플레이트를 사용하여 밴드형식으로 보강한 실험체에 대하여 반복 횡하중 실험을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 무보강 실험체의 경우 최대강도에 도달한 후 급격한 내력저하를 보였지만 보강실험체들은 모두 완만한 내력저하를 보여주어 보강재들의 횡방향 구속효과로 기둥의 연성을 증대시켜주는 것으로 나타났다. 최대내력의 경우, 무보강실험체에 비하여 0.94~1.18배 정도의 내력을 나타내었다. 내력증대 효과의 측면에서는 복합플레이트의 경우 탄소섬유와 강관에 비하여 비슷하거나 약간 우수한 것으로 나타났다. 전체적으로는 보강량이 낮을수록 최대하중 증가는 미약하였으며, 상대적으로 보강량이 큰 실험체의 최대하중 증가가 큰 것으로 나타났다.
- 2) 연성능력의 경우, 보강실험체는 무보강실험체에 비하여 1.48~1.96배 정도의 변위능력 향상을 보여주고 있다. 보강실험체의 경우, 현행 도로교 요구치 "5"를 모두 만족하는 것으로 나타났으며, 간접적인 비교로서 현행 내진설계기준의 반응수정계수(R factor)의 요구도 "6"은 RCRI-CP-08P2를 제외하면 모두 만족하는 것으로 나타났다. 에너지 연성능력은 1.28~3.22 배 정도의 향상되었으며, 에너지연성도가 변위연성도에 비하여 보강실험체의 연성개선효과를 잘 나타내고 있다.
- 3) 본 연구에서 사용한 밴드형식으로 보강한 보강실험체의 연성능력은 모두 양호한 편이나, 최대하중 증가를 위해서는 일정량 이상의 보강량이 필요한 것으로 나타났다.

본 연구결과를 기초로 향후 복합보강재의 등가구속효과를 유도하고 이를 고려한 보강기둥의 진단내력식을 제안하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 2002 경상대학교 발전기금 연구비지원과 2003 건설기반기술 연구비지원에 의한 연구의 일부로서 관계자에게 감사드립니다.

참고문헌

1. 손혁수, 이재훈, "지진하중을 받는 철근콘크리트 교각의 소요연성도에 따른 심부구속철근량", 한국콘크리트학회 논문집, 15권5호, 2003. 10, pp.715~725.
2. 윤정배, 안상호, 조백순, 원종필, "섬유-유공강관 복합플레이트를 사용한 콘크리트 구조물 보강공법", 엠프로 연구보고서, 발행기관, 2003. 9.
3. 이재훈, 손혁수, 고성현, "축방향 연결상세에 따른 철근콘크리트 원형교각의 내진성능", 콘크리트학회 논문집, 16권2호, 2004. 4, pp.249~260.
4. 이용택, 나정민, 김승훈, 이리형, "탄소섬유시트로 진단보강된 철근콘크리트 기둥의 거동", 대한건축학회논문집(구조계), 18권4호, 2002. 4, pp.19~26.
5. 정영수, 박종협, 박희상, "섬유보강 원형 RC교각의 내진성능 평가를 위한 유사동적실험", 한국지진공학회 논문집, 5권2호, 2001. 4, pp.49~57.
6. 정영수, 박창규, 이은희, "지진을 경험한 형상비 2.5 RC 교각의 내진 변위연성도 평가", 한국지진공학회 논문집, 7권3호, 2003. 6, pp.79~88.
7. 정영수, 박창규, 박진영, "한정연성 철근콘크리트 교각의 유사동적 실험에 의한 내진성능평가", 콘크리트학회 논문집, 15권5호, 2003. 8, pp.705~714.
8. 천성철, 박형철, 안재현, 박철림, "탄소섬유시트로 횡구속된 철근콘크리트 기둥의 축, 휨내력 및 변형성능에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 구조계. 15권 2호 1999. 2, pp.37~45.
9. 황선경, 한병찬, 성수용, 윤현도, 정수영, "횡보강근에 따른 반복하중을 받는 고강도 콘크리트 기둥의 거동", 대한건축학회논문집(구조계), 18권4호, 2002. 4, pp.11~18.
10. 홍원기, 김희철, 정진훈, "축하중과 반복 횡하중을 받는 콘크리트 충전 원형 탄소섬유 튜브기둥의 휨거동 특성", 한국지진공학회 논문집, 8권3호, 2004. 5, pp.13~22.
11. 한국콘크리트학회, "콘크리트 구조설계기준·해설", 한국콘크리트학회, 2000. 9.
12. Priestley, M. J. N., Seible, F., and Calvi, G. M., "Seismic Design and Retrofit of Bridges," John Wiley & Sons, Inc., 1996.

13. Wipf, T. J., Klaiber, F. W., and Russo, F. M., "Evaluation of seismic retrofit methods for reinforced concrete bridges columns," NCEER -97-0016, 1997.
14. Mario, R. and Park, R., "Seismic load tests on reinforced concrete columns strengthened jacketing," *ACI Structural Journal*, Vol.91, No.2, 1994.
15. M.J.N.Priestley and F.Seible, "Design of Seismic Retrofit Measures for Concrete and Masonry Structures," *Construction and Building Materials*, Vol.9, No.6, 1995, pp.365~377.
16. Paulay, T. and Priestley, M.J.N., "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings," John Wiley & Sons, New York, U.S.A, 1992.

요 약

본 연구의 목적은 기둥의 내진성능을 개선하기 위한 연구로서, 섬유-강판이 복합된 보강재를 사용하여 보강기둥의 내력특성을 연구하였다. 이용 가능한 복합판의 보강량을 선정하고, 기존의 탄소섬유와 강판으로 보강한 기둥과 함께 밴드형 보강실험체를 제작하여 일정축력을 받는 기둥에 반복횡하중을 가하여 하중, 변위 및 연성도를 조사하였다. 내진성능의 척도가 되는 변위 연성도, 에너지연성도, 누적소산에너지 및 감쇠비를 비교하여 복합판을 사용한 부재의 내력특성을 평가하였다. 연구결과, 복합판을 사용하여 기둥을 보강할 경우에도 다른 보강방법과 같이 양호한 내진성능을 확보할 수 있었다. 또한, 밴드형식으로 보강한 보강실험체의 연성능력은 모두 양호한 편이나, 최대하중 증가를 위해서는 일정량 이상의 보강량이 필요한 것으로 나타났다. 연성도 평가로는 에너지연성도가 변위연성도에 비하여 보강기둥의 연성능력을 잘 나타내었다.

핵심용어 : 기둥보강, 내진성능, 섬유-강판, 복합판, 반복하중