

# 보강재의 부착방법에 따른 물리적 거동 특성에 관한 연구

## A Study on Physical Behavior Property of R/C Beams Strengthened with Bonding Methods

한 만 업      백 승 덕

Han, Man Yop      Baik, Seung Deok

---

### ABSTRACT

In this research, we made an experiment on the 10 specimen beams that we made. The specimen beams consist of 4 steel plate strengthening beams and 6 carbon fiber sheet strengthening beams.

We applied the methods of notch, rounding off a edge, anchor bolt and side shear strengthening to the steel plate and for the case of carbon fiber sheet, we applied the methods of anchor bolt, line anchor and shear strengthening.

After all the cases were applied, the beams was measured and analyzed about the behavior property of strengthened beams, the ability of strengthening method, the relation between load and the shape of failure, the crack load, the yield load, the shape of crack pattern, the increasing rate from yield load and maximum load and the strain of rebar.

All the strengthening methods resulted in almost same value until the yield load, and it wasn't quite different from the theoretical value. In comparison with existing method, the SER, SEAS for the steel plate and the CEA, CESS, CCESS for carbon fiber sheet showed the increasement of ductility with big displacement.

---

### 1. 서론

현재 시공 및 적용되어지고 있는 강관이나 탄소섬유에 의한 부착식 보강 공법은 보강재가 구조물의 단부에서 조기에 탈락되거나, 보강 설계 하중보다 작은 값에서 탈락이 발생하는 경향을 보이고 있다. 이에 대한 대책으로 구조물의 단부 또는 탈락 발생 예상 지점에 추가로 보강을 실시함으로써 궁극적으로 안전성의 확보라는 측면에서 유리하다.

---

1) 정희원, 아주대학교 토목공학과 교수

2) 아주대학교 토목공학과 석사과정

이에 따라 본 연구에서는 강관 보강 방법의 경우에는 기존보강방법을 기준으로 단부 모서리처리, 보지, 앵커볼트, 전단보강방법을 이용하였고, 탄소섬유 보강 방법의 경우에도 역시 기존보강방법을 기준으로 앵커볼트, 줄앵커, 전단보강방법등을 적용하여 그 효과를 알아보고자 하였다.

본 연구에서는 이러한 실험 결과를 공통적으로는 보강된 보의 거동특성, 보강성능, 파괴형상과 하중-변위관계, 균열하중, 극한하중, 균열분포, 압축, 인장철근의 변형률 등을 측정, 비교, 분석하였고, 이러한 실험적 결과를 토대로 이론적으로 계산된 보강된 보의 균열하중이나 극한하중과 비교하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험계획

본 연구에 사용된 시험체의 단면 및 배근은 그림1과 같다. 철근은 압축, 인장, 스테럽 모두 이형철근을 사용하였고, 인장측에는 2-D13 ( $A_s=2.54cm^2$ ), 압축측 및 스테럽은 D10 ( $A_s=1.43cm^2$ )의 철근을 사용하였다. 보강재로 사용된 강관은 2중(SS41)제품으로서 강도가  $2500kg/cm^2$ 이고, 탄소섬유쉬트는 강도가  $35,400kg/cm^2$ , 두께가 0.0167cm, 과탄신율이 1.5%인 제품을 사용하였고, 접착제로 사용된 에폭시는 주재와 경화제의 무게비로 2:1로 배합한 외국의 T사 제품을 사용하였다. 하중은 시험체의 중앙에서 일점 재하하였고, 보강재의 탈락이나 파단이 발생할 때까지 재하하였다.

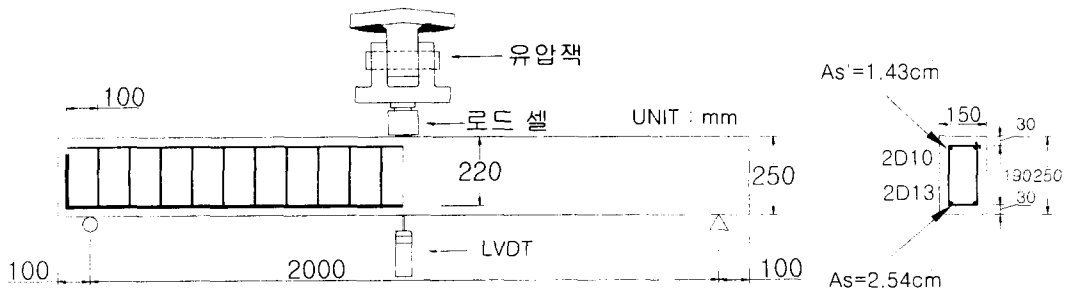


그림 1 시험체의 형상 및 제원

### 2.2 실험변수

표 1 시험체의 제원

보강재	시험체명	보강특성	세부사항	비고	개수
강관	SST	기존보강		보강폭 10cm	1
	SER	단부모서리 처리			R-3mm의 모서리 처리
	SEAS	하면보강	단부보강+단부앵커(6개) ->총 12개 앵커	측면 보강폭 20cm	1
	SESA	(하면·측면) 보강	단부보강(앵커2)+측면보강(앵커2) ->총 12개 앵커		1.5cm의 중앙노치
탄소섬유	CST	기존보강			1
	CEA	단부보강	탄소섬유+단부강관(앵커6) ->총 12개의 앵커		1
	CCLA7	줄앵커	보강재의 중앙부분 간격 20cm	7개의 줄앵커	1
	CCSS	(하면·측면) 보강	하면 및 중앙부 측면 보강	중앙 폭20cm U자형 보강	1
	CESS	(하면·측면) 보강	하면 및 단부 측면 보강	단부 폭20cm U자형 보강	1
	CCSSS	(하면·측면) 보강	하면 및 중앙부, 단부 측면 보강	중앙, 단부 폭20cm U자형 보강	1

본 시험에서는 강판보강시험체 4개, 탄소섬유보강시험체 6개로서 총 10개의 시험체를 제작하였으며, 강판보강시험체, 탄소섬유보강시험체에서 각각 1개의 기존 보강 시험체를 제작하여 비교의 기준으로 사용하였다.

그림 2와 3에는 본 시험에 적용된 보강방법에 대한 그림이 도시되어 있다. 강판보강의 경우, 기존 보강방법으로 제작된 시험체를 기준으로 하여 반시름이 3mm인 단부모서리처리를 한 시험체, 앵커볼트로서 보강관을 덧 대고 단부보강을 한 시험체, 하면 측면 보강 시험체를 제작하였다. 탄소섬유보강의 경우, 역시 기존보강 시험체, 보강관을 덧 대고 앵커볼트를 적용한 시험체, 줄앵커를 보강재의 중앙으로부터 등간격으로 7개를 낸 시험체, 하면 및 중앙부 측면 보강 시험체, 하면 및 단부 측면보강 시험체, 하면 및 중앙부 단부 측면보강 시험체등을 제작하였다.

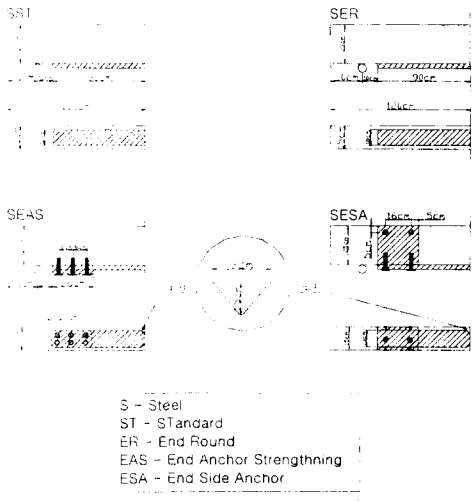


그림 2 강판 보강 상세도

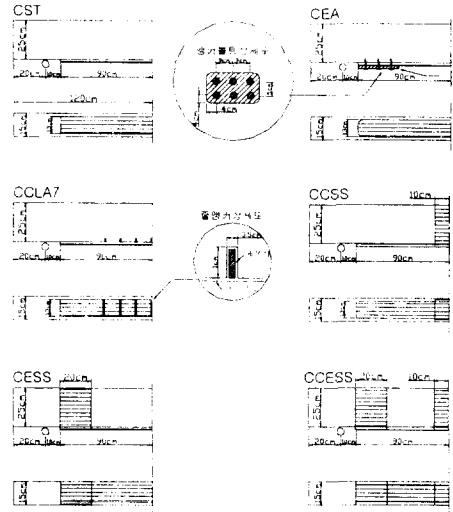


그림 3 탄소섬유 보강 상세도

### 3. 실험결과

#### 3.1 하중-치상 측정 결과

그림 4와 그림 5에는 강판보강 시험체와 탄소섬유보강 시험체의 하중-치상 관측 결과를 도시하였다. 각 시험체의 균열하중과 항복하중에 대한 이론치를 산출할 때, 실험 재료의 물성과 특성은 설계 기준 수치를 적용하였고, 철근 콘크리트의 휨 이론에 근거하여 콘크리트와 에폭시 그리고 보강재의 계면이 완전 부착되어 일체로 거동한다는 가정하에서 계산되었다. 강판보강, 탄소섬유보강 시험체 모두 계산된 균열하중보다는 약간 큰 값에서 최초의 균열이 관측되었는데, 이는 미세한 균열이 발생하였던 것을 유관으로 관측해내지 못했기 때문이다. 강판보강과 탄소섬유보강 모두 항복하중의 경우에

은 이론치인 7.384톤 보다는 약간 상회하는 값에서 그래프상의 강성의 저하가 관측되었고, 처짐의 경우 강관은 단부모서리처리 시험체와 앵커볼트를 적용한 시험체가 큰 처짐값을 보이며 인성이 증대되는 특성을 나타냈고, 탄소섬유는 앵커볼트와 측면을 전단보강한 시험체들이 우수한 결과를 보였는데, 이는 예측사의 접착력이 나한 후에도 앵커볼트나 측면의 전단보강한 압축력에 의해서 하중을 지속적으로 받아주기 때문인 것으로 사료된다.

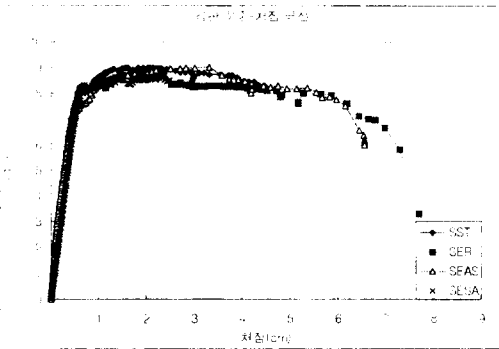


그림 4 강관보강 시험체의 하중-처짐 곡선

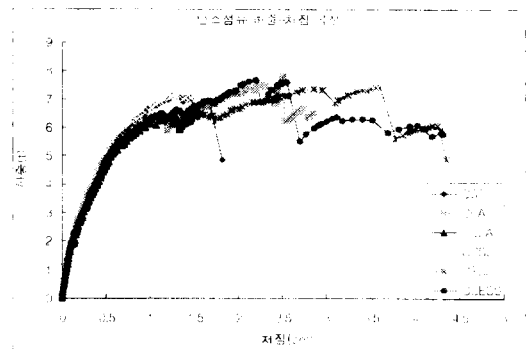


그림 5 탄소섬유보강 시험체의 하중-처짐 곡선

### 3.2 하중 비교 및 보강재의 파괴양상

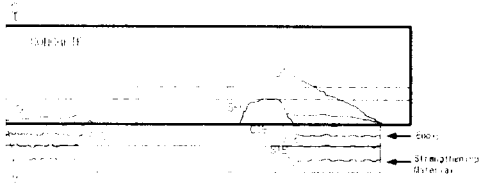
표 2 하중과 처짐의 실험치와 이론치

보강재	보강방법	P <sub>cr</sub> (ton)		P <sub>s</sub> (ton)		P <sub>max</sub> (ton)		δ (cm)				파괴유형
		이론치	강관:1.683 탄소:1.431	이론치	강관:7.384 탄소:4.976	기준치: SST의 8.907 CST의 7.140		항복하중 시		최대처짐 시		
								이론치	강관:0.681 탄소:0.461	기준치: SST의 4.465 CST의 1.820	이론치	
		측정치	증감	측정치	증감	측정치	증감	측정치	증감	측정치	증감	
강관	SST	1.800	6.9	7.806	5.7	8.907	0	0.536	-21.3	4.465	0	3)
	SER	2.100	24.8	8.300	12.4	9.000	1.0	0.681	0	7.696	72.4	3)
	SEAS	2.206	31.1	7.387	0	9.020	1.3	0.590	13.3	6.563	47.0	*
	SESA	2.054	22.0	7.900	7.0	8.673	-2.6	0.609	-10.6	2.488	44.2	7)
	CST	1.720	20.2	5.306	6.6	7.140	100	0.556	20.6	1.820	0	3)
탄소섬유 보강	CEA	1.933	35.1	5.353	7.6	7.833	9.7	0.622	34.9	3.051	67.6	7)
	CCLA7	2.093	46.3	5.200	4.5	6.526	-8.6	0.632	37.1	1.494	-17.9	3)
	CCSS	2.006	40.2	5.506	10.7	7.277	1.9	0.566	22.8	1.545	-15.1	3)
	CESS	1.954	36.5	5.413	8.8	7.400	3.6	0.636	38.0	4.873	167.7	3)
	CCESS	1.906	33.2	5.420	8.9	7.660	7.3	0.637	38.1	4.028	121.3	3)

\* 재하십 파손

표 2에는 시험체 별로 균열하중, 항복하중의 이론치와 측정치 및 최대하중의 측정치, 처짐, 파괴유형의 결과성을 요약 정리하였고, 그림 6에는 파괴유형을 도시하였다. 강관보강의 경우에 기존의 보강방법에 비해 최대 하중 면에서는 큰 하중 증가의 경향을 보이지는 않았으나 최대 처짐을 보면 단부모서리처리(SER) 시험체와 앵커볼트(SEAS)를 적용한 시험체가 큰 처짐값을 보이며 인성이 증대되는 효과를 보였다. 탄소섬유보강의 경우에는 거의 모든 시험체가 최대 하중 면에서 기존보강방법에 비해 높은 값을 보였고, 앵커볼트(CEA), 단부측면보강(CESS), 중앙부단부측면보강(CCESS) 시험체들이 우수한 값을 보였다. 최종적인 파괴유형은 강관보강의 경우 기존보강방법과 단부모서리처리(SER) 시험

계는 파괴유형 CIC의 형태를 보이며 중앙부에서 보강재와 콘크리트 계면에서 탈락이 발생했다. 앵커볼트를 적용한 시험체는 재하점이 과중되며 과도한 치짐이 발생되었음에도 보강재는 시험체와 분리되지 않고 탈락하지 않았다. 그리고 단부측면보강(SESA) 시험체는 노지에서 응력집중으로 생긴 균열이 길질되어가며 최종 파괴에 이르렀다. 탄소섬유의 경우에는 앵커볼트를 적용한 시험체를 제외한다면 모두 보강재의 에폭시층과 콘크리트 면 사이에서 탈락이 발생하는 파괴유형 3)의 형태를 보였다.



No.	Name of failure	Index		Remark
		Center	End	
1)	Diagonal Tensile Failure	DT		Structural Shear Failure
2)	Shear Failure	SFC	SFE	Weak Surface Concrete Failure
3)	Concrete Interlayer Failure	CIC	CIE	Weak Epoxy Failure
4)	Epoxy Layer Failure	ELC	ELE	
5)	Strengthening Interlayer Failure	SIC	SIE	Weak Strengthening Material Failure
6)	Strengthening Layer Failure	SLC	SLE	
7)	Strengthening Material Rupture	SM		

그림 6 시험체의 파괴 유형

### 3.3 파괴균열 양상

그림 7에서는 파괴 후 최종 균열 상태를 도시하였다. 모든 시험체는 하중이 증가함에 따라 시험체 중앙 하단에서 횡균열이 발생하여 전 구간에 걸쳐 균열이 증가하는 경향을 보였다.

강판보강 시험체의 경우에는 균열이 시험체의 중앙부에 집중되어 있는 양상을 보이고 있으며, 탄소섬유보강 시험체의 경우에는 균열이 전 길이에 걸쳐 골고루 분포하는 경향을 보이고 있다. 이러한 균열

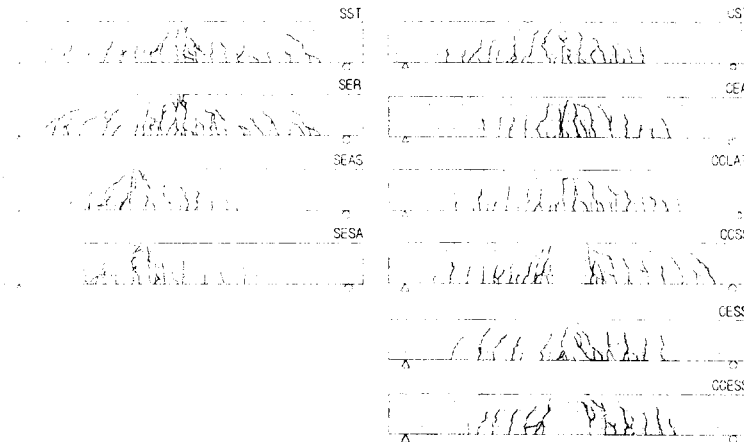


그림 7 최종 파괴 균열 양상

내하력을 증가시킬 수 있기 때문이다. 최종균열도를 검토한 결과 단부에 앵커볼트를 체결했을 때는 강판보강, 탄소섬유보강 시험체 모두 단부에 균열이 적은 것으로 나타났고, 측면을 보강한 경우에는

의 차이는 보강재의 고유한 물성에서 기인한 것으로서, 강판보강의 경우에는 인장철근과 보강재가 거의 동시에 항복점에 도달함으로써 일단 소성변형이 생기기 시작하면 더 이상의 내하력 증가를 기대할 수 없고, 탄소섬유보강의 경우에는 탄성계수가 크고, 항복점이 없이 직선적인 거동을 하므로 인장철근이 항복한 후에도 항복한 시점으로부터 계속

관력이 상대적으로 작은 것을 관찰 할 수 있었다. 이는 본 시험에 적용된 방법에 의해서 단부에서 응력이 감소했음을 보여주는 것이다

#### 4. 결과

강판과 탄소섬유를 사용한 보강재의 탈락을 방지하고 지연시키기 위하여 여러 가지의 방법들을 시험체에 적용하여 시험한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1. 강판보강 시험체는 계산된 항복하중보다 비슷하거나 약간씩 큰 값에서 보강재 또는 주철근의 항복이 관측되었고, 보강방법 SER이 항복하중의 이론치인 7.384톤 보다 0.9톤이 큰 8.3톤으로 관측되어 약 12.1%의 증가율을 나타내었다. 그리고 최대처짐의 측면면에서도 7.696cm로 최대값을 보였고, 앵커볼트를 적용한 보강방법 SEAS도 최대하중과 최대처짐에서 각각 최대값을 보였으며, 따라서 단부모서리 처리의 방법과 앵커볼트를 적용한 방법이 내하력의 증가와 연성을 증가 시키는 효과가 있음을 알 수 있었다.
2. 탄소섬유보강 시험체의 항복하중은 모든 시험체가 이론값 보다 큰 값에서 항복이 관찰되었고, 줄앵커를 적용한 시험체(CCLA7)만이 최대하중면에서 기존보강방법보다 작은 값을 보였다. 처짐면에서는 앵커볼트와 측면 진단보강방법을 적용한 시험체들이 우수한 결과를 보였다.
3. 보강재의 파괴 양상을 체계적으로 판단하기 위한 분류를 제시하였으며, 보강 시험체의 최종 파괴 양상의 비교에서는 강판 보강의 경우에 콘크리트와 보강재 계면 사이의 탈락이 일어나는 형태와 시험체 중앙의 노지에서 파단이 일어나는 형태가 있었고, 탄소섬유보강 시험체의 경우, 보강재의 파단과 콘크리트를 물고 떨어지는 복합적인 파괴 양상을 보이고 있다.
  1. 최종 균열 상태를 관찰한 결과 탄소섬유보강 시험체가 강판보강 시험체보다는 균열이 보의 직간에 비교적 고르게 분산되었는데 이는, 보강재 물성의 차이에서 기인된 것으로서 탄소섬유의 경우, 강판에 비해 강성이 높고 항복점이 없기 때문에 균열 발생 지점에서 큰 인장력을 받아주기 때문에 균열 조절 측면에서는 유리한 것으로 나타났다.

#### 5. 참고문헌

1. 송병표, 한만엽, "노치를 이용한 보강재의 부착력 증가 방안에 관한 연구", 한국콘크리트학회, 1998년도 봄 학술발표회 논문집, pp647~652
2. 한만엽, 송병표, "보강재의 변형 부착에 따른 보의 구조적 거동", 한국 콘크리트 학회지, 제 10권 3호, 1998, pp197~208
2. 송병표, 한만엽, 황의승, 홍영균, "보수 보강재료의 공법개발연구", 한국콘크리트학회, 1997년도, 봄 학술 발표회 논문집, pp592~597
3. 오용복, 권영웅, "탄소섬유쉬트 보강된 철근콘크리트 보의 보강철근비에 따른 구조적거동", 한국콘크리트학회지, 1998년도 4월, pp119~126
1. 오병환, 강동욱외, "강판 휨보강된 철근콘크리트보의 구조적 거동", 한국콘크리트학회, 1997년도 봄 학술발표회 논문집, pp598~604
5. Swamy R. N., B. Hobbs and M. Roberts. "Structural Behavior of Externally Bonded, Steel Plated RC Beams after Long-Term Exposure", The Structural Engineering, Vol. 73, August 1995, pp.255~261