

보강재의 탈락 방지 방안 연구

A Study to Prevent Delamination of Strengthening Material

한 만 업' 백 승 덕"
Han, Man Yop Baik, Seung Deok

ABSTRACT

Recently many cases that using strengthening method with a steel plate or carbon-fiber sheet in a construction field are increasing. In this reason, it is demanded that developing a plan of preventing delamination of strengthening material.

So in this research, for the case of strengthening method of steel plate, it is made use of notch and anchor bolt and for the case of carbon fiber sheet, it is made use of notch, anchor bolt, line anchor and shear strengthening.

After all the cases were applied, we made 15 specimen beams. The beams was measured and analyzed about the behavior property of strengthened beams, the ability 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. But for the case of increasing rate from the yield load and maximum load, comparing with the existing method, the new strengthening methods are proved to be profitable about the safety.

1. 서론

최근들어 강판이나 탄소섬유에 의한 부착식 보강 공법을 이용하여 현장에 적용하는 사례가 늘어나는 시점에서, 보강재의 탈락을 방지 할 수 있는 방안의 개발이 요구되고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 강판 보강 방법의 경우에는 노치와 앵커볼트를 이용하였고, 탄소섬유 보강 방법의 경우에는 노치, 앵커볼트, 줄앵커, 전단보강방법등을 적용하여 그 효과를 알아보려고 하였다.

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

* 정희원, 아주대학교 토목공학과 교수

** 아주대학교 토목공학과 석사과정

2. 실험

2.1 실험계획

본 연구에 사용된 시험체의 단면 및 배근은 그림1과 같다. 철근은 압축, 인장, 스티럽 모두 이형철근을 사용하였고, 인장측에는 2-D13 ($A_s=2.54cm^2$), 압축측 및 스티럽은 2-D10 ($A_s=1.43cm^2$)의 철근을 사용하였다. 보강재로 사용된 강판은 2종(SS41)제품으로서 강도가 $2500kg/cm^2$ 이고, 탄소섬유 쉬트는 강도가 $35,400kg/cm^2$, 두께가 0.0167cm, 파단신율이 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.

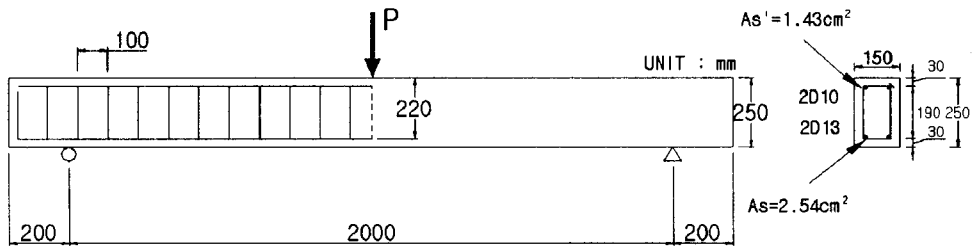


그림 1 시험체의 형상 및 재원

2.2 실험변수

본 시험에서는 1개의 무보강 시험체를 기준으로하여, 강판보강시험체 7개, 탄소섬유보강시험체 7개, 총 15개의 시험체를 제작하였으며, 강판보강시험체, 탄소섬유보강시험체 7개중 각각 1개의 기존 보강 시험체를 제작하여 비교의 기준으로 사용하였다. 또한 강판보강 시험체, 탄소섬유보강 시험체 모두 앵커볼트를 적용한 시험체에 대하여 선행하중을 가하여 시험한 각각 1개의 시험체를 두었다.

표 1 시험체의 제원

보강재	시험체기호	보강 특성	세 부 사 항	비 고	
무 보 강	ST				
강 판	SST	기존보강			
	SBN	노치	위치 : 보강재 중앙, 깊이 : 3cm	V형 노치	
	SEAS	하면보강	단부보강+단부앵커(6)->총12개 앵커	모서리처리 & 2cm의 중앙노치	
	SEASP		단부보강+단부앵커(6)->총12개 앵커		선행하중
	SEA		단부에6개씩 총 12개의 앵커		
	SSA		보강재의 등간격 앵커		20cm간격앵커8
	SESA	(하면+측면)보강	단부보강(2)+측면보강(2)->총12개앵커		
탄소섬유	CST	기존보강			
	CBN	노치	보강재 중앙부분 노치	깊이 : 2cm	
	CEA	단부보강	탄소섬유+단부강판(6)->총12개 앵커	모서리 처리	
	CEAP		탄소섬유+단부강판(6)->총12개 앵커		선행하중
	CCLA	줄앵커	보강재 중앙부분(간격 20cm)	3개의 줄앵커	
	CSLA		보강재 등간격(간격20cm)	5개의 줄앵커	
	CESS	(하면+측면)보강	하면 및 측면 보강	측면U자형보강	

그림 2와 3에는 본 시험에 적용된 보강방법에 대한 그림이 도시되어 있다. 강판보강의 경우, 기존보강방법으로 제작된 시험체를 기준으로 하여 깊은노치, 단부보강 및 앵커볼트를 적용한 것과 이 시험체에 이론적 항복하중의 70%를 선행하중으로 가한 시험체, 보강판에 앵커볼트를 적용한 시험체, 앵커볼트를 등간격으로 적용한 시험체, 하면 측면 보강 시험체를 제작하였다. 탄소섬유보강의 경우, 역시 기존보강 시험체, 깊은노치, 보강판에 앵커볼트를 적용한 것과 이 시험체에 선행하중을 가한 시험체, 줄앵커를 3개, 5개를 낸 시험체, 하면 측면 보강 시험체를 제작하였으며, 이상 강판보강 시험체 7개, 탄소섬유보강 시험체 7개로서 무보강 시험체 1개를 포함한 총 15개의 시험체를 제작하였다.

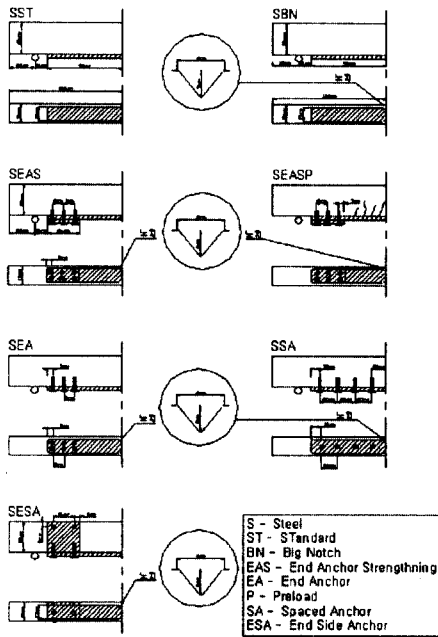


그림 2 강판 보강 상세도

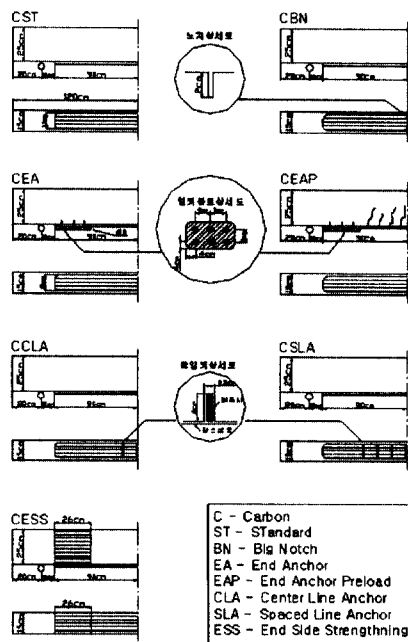


그림 3 탄소섬유 보강 상세도

3. 실험결과

3.1 하중-처짐 측정 결과

그림 6과 그림 7에는 강판보강 시험체와 탄소섬유보강 시험체의 하중-처짐 관측 결과를 도시하였다. 각 시험체의 균열하중과 항복하중에 대한 이론치를 산출할 때, 실험 재료의 물성과 특성은 설계 기준 수치를 적용하였고, 철근 콘크리트의 휨이론에 근거하여 콘크리트, 에폭시 그리고 보강재의 계면이 완전 부착되어 일체로 거동한다는 가정하에 계산되었다. 강판보강, 탄소섬유보강 시험체 모두 계산된 균열하중과 항복하중 근처에서 강성의 저하가 관측되었고, 강판보강의 경우 항복이후 최대하중까지 본 시험에서는 기존보강방법(SST)의 경우는 9.7%의 하중증가를 보였고, 다른 시험체들은 평균 20.4%의 하중 증가를 보였다. 처짐의 경우 강판과 탄소섬유 모두 앵커볼트와 줄앵커를 사용하거나 측면을 진단보강한 시험체들이 우수한 결과를 보였는데, 이는 에폭시의 접착력이 다한 후에도 앵커볼트나 줄앵커의 압착력에 의해서 하중을 받아주기 때문인 것으로 사료된다.

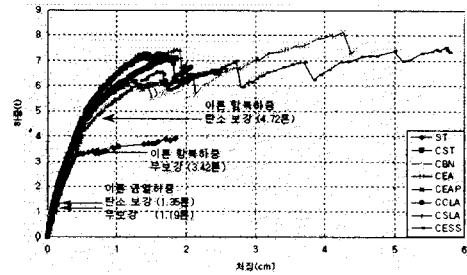
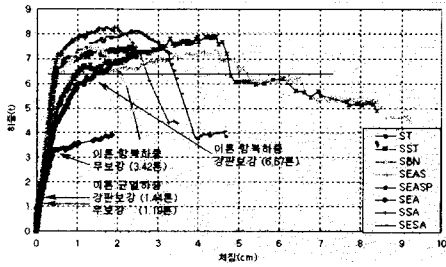


그림 4 강판보강 시험체의 하중-처짐 곡선

그림 5 탄소섬유보강 시험체의 하중-처짐 곡선

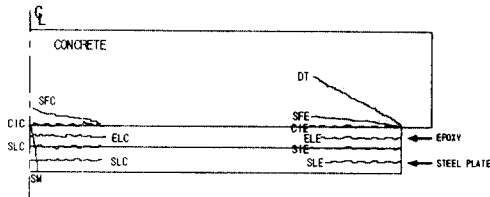
3.2 하중 비교 및 보강재의 파괴양상

표 2에는 시험체별로 균열하중, 항복하중의 이론치와 측정치 및 최대하중의 측정치, 처짐, 파괴유형의 결과등을 요약 정리하였고, 그림 6에는 파괴유형을 도시하였다. 강판보강의 경우에 재하점 파손과 LVDT한계를 초과한 시험체를 제외한다면 모두 보강재와 시험체 사이의 균열이 단부로부터 발생하여 시험체의 중앙으로 진전되어 가는 양상을 보였고, 최종적으로는 노치의 파단으로 파괴된 7)의 파괴양상을 보였고, 다만 SEAS 시험체만이 2)의 파괴양상을 보였는데 이는 앵커볼트의 영향인 것으로 판단된다. 또한 본 시험에 적용된 노치의 크기는 가로 4cm, 깊이 2cm의 크기로 제작되었는데 거의 모든 시험체가 노치가 파단되며 파괴되는 양상을 보이는 것을 보아 그 크기가 너무 크기 때문인 것으로 판단되며 차후 시행되는 시험에서는 그 크기를 작게 하여야 할 것으로 사료된다. 탄소섬유의 경우 노치를 준 CBN 시험체를 제외하고 모두 2)의 파괴유형을 보였고, 이는 탄소섬유의 재료 특성상 파괴가 시험체의 중앙에서 시작하여 단부로 진전되어가는 이유 때문인 것으로 사료된다.

표 2 하중과 처짐의 실험치와 이론치

보강재	보강방법	P _{cr} (ton)		P _y (ton)		P _{max} (ton)		P _{max} /P _y	δ (cm)				파괴유형	
		이론치	무보강:1.197 강판:1.442 탄소:1.349	이론치	무보강:3.42 강판:6.670 탄소:4.720	기준치:			이론치	항복하중 시		최대처짐 시		
						SST의 7.443 CST의 7.267	측정치			증감	측정치	증감		측정치
무보강	ST		1.013	*	3.30	*	3.913	*	1.186	0.406	108.8	1.847		휨 파괴
강판	SST		1.200	83.2	6.783	101.7	7.443	100	1.097	0.609	89.4	2.488	100	*
	SBN		1.700	117.8	6.406	96.0	7.507	100.8	1.172	0.489	71.8	2.541	102.1	7)
	SEAS		1.606	111.3	5.968	89.5	7.373	99.1	1.235	1.079	158.4	9.215	370.4	2)
	SEASP	선행하중	*	6.426	96.3	7.873	105.8	1.225	0.992	145.0	8.405	337.8	#	
	SEA		0.906	62.8	5.993	89.8	7.287	97.9	1.216	0.998	146.5	2.454	98.6	*
	SSA		1.793	124.3	7.193	107.8	8.247	110.8	1.147	1.911	280.6	3.474	139.6	7)
탄소섬유	SESA		1.393	96.6	6.600	98.9	8.113	109.0	1.229	0.483	70.9	4.644	186.6	7)
	CST		1.120	83.0	4.693	99.4	7.267	100	1.548	0.502	108.8	1.849	100	2)
	CBN		2.093	155.1	4.213	89.2	6.140	84.5	1.457	0.466	101.0	1.997	108.0	7)
	CEA		0.806	59.7	4.120	87.3	8.153	112.2	1.979	0.473	102.6	4.427	239.4	2)
	CEAP	선행하중	*	4.613	98.3	6.687	92.0	1.449	0.528	114.5	2.576	139.3	*	
	CCLA		1.613	119.5	4.840	102.5	7.153	98.4	1.478	0.534	115.8	2.064	107.9	2)
	CSLA		1.500	111.1	4.693	99.4	7.433	102.3	1.534	0.601	130.3	1.995	111.6	2)
	CESS		1.393	103.2	4.206	89.1	7.387	101.7	1.756	0.511	110.8	5.788	313.0	2)

주) * : 재하점 파손
: LVDT한계초과



Index	Mode of failure	Remark	
		Center	End
1)	Diagonal Tensile Failure	DT	
2)	Shear Failure	SFC	SFE
3)	Concrete Interlayer Failure	CIC	CIE
4)	Epoxy Layer Failure	ELC	ELE
5)	Strengthening Interlayer Failure	SIC	SIE
6)	Strengthening Layer Failure	SLC	SLE
7)	Strengthening Material Rupture	SM	

그림 6 시험체의 파괴유형

3.3 파괴균열 양상

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

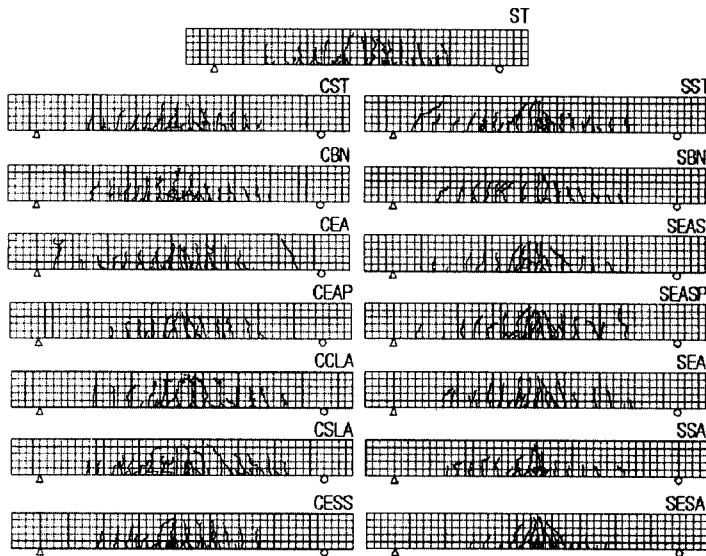


그림 7 최종 파괴 균열 양상

무보강 시험체의 경우에는 전형적인 휨균열의 양상을 보이고 있고, 강판보강 시험체의 경우에는 균열이 시험체의 중앙부에 집중되어 있는 양상을 보이고 있으며, 탄소섬유보강 시험체의 경우에는 균열이 전 지간에 걸쳐 골고루 분포하는 경향을 보이고 있다. 이러한 균열의 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 내하력을 증가시킬 수 있기 때문이다. 최종균열도를 검토한 결과 노치를 도입한 경우는 노치가 있는 중앙부에서 작은 수의 큰 균열이 형성되어 균열의 집중도가 큰 것으로 나타났다. 또한 단부에 앵커볼트를 체결한 경우에는 강판보강, 탄소섬유보강 시험체 모두 단부에 균열이 적은 것으로 나타났다. 그리고 앵커볼트를 동간격으로 체결한 경우에는 균열간격이 다른 시험체에 비해 넓은 것으로 나타났다. 또한 측면을 보강한 경우에는 균열이 상대적으로 작은 것을 관찰할 수 있었다. 이는 본 시험에 적용된 방법에 의해서 단부에서 응력이 감소했음을 보여주는 것이다

4. 결어

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

1. 강판보강 시험체는 계산된 항복하중과 거의 비슷한 크기에서 항복하중이 관측되었고, 보강방법 SSA가 항복하중의 이론치인 6.67t보다 0.52t이 큰 7.193t으로 관측되어 약 7.8%의 증가율을 나타내었다. 그리고 최대하중면에서도 8.247t으로 최대값을 보여 앵커볼트를 등간격으로 배치하는 것이 내하력 증가에 효과가 있는 것으로 나타났다. 항복하중이후 최대하중까지의 증가율면에서는 기존보강방법이 가장 낮은 증가율을 보여 본 시험에 적용된 보강방법이 항복점 이후에 최대하중까지의 내하력이 상당히 개선되었음으로 사료된다.
2. 탄소섬유보강 시험체의 항복하중은 CCLA를 제외하고 모두 이론적 항복하중 값인 4.72t 보다 작은 값을 보였다. 그러나 항복하중 이후 최대하중까지의 비율은 44.9%~97.9%의 높은 증가율을 보여 본 시험에 적용된 보강방법들이 궁극적으로 안전성 확보 측면에서 유리해진 것으로 판단된다.
3. 보강 시험체의 최종 파괴 양상의 비교에서는 강판 보강의 경우에 시험체 중앙의 노치에서 파단이 일어나며 최종 파괴가 일어나는 경향을 보였는데 이는 노치의 크기가 필요 이상으로 크기 때문인 것으로 판단되며, 차후 시험에서는 이를 보완하여 노치의 크기를 응력집중만을 해소하는 수준으로 좀 더 작은 크기로 만들어야 할 것으로 사료된다. 그리고 탄소섬유보강 시험체의 경우, 보강재의 파단과 콘크리트를 물고 떨어지는 복합적인 파괴 양상을 보이고 있으며, 보강재를 시험체에 부착 시킬 때에는 곧게 펴야한다는 것을 알 수 있었다.
4. 최종 균열 상태를 관찰한 결과 탄소섬유보강 시험체가 강판보강 시험체보다는 균열이 보의 지간에 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. 송병표, 한만엽, 황의승, 홍영균, “보수 보강재료의 공법개발연구”, 한국콘크리트학회, 1997년도, 봄 학술 발표회 논문집, pp.592~597
3. 오용복, 권영웅, “탄소섬유쉬트 보강된 철근콘크리트 보의 보강철근비에 따른 구조적거동”, 한국콘크리트학회지, 1998년도 4월, pp119~126
4. 오병환, 장동욱외, “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