

단부 부착력 개선을 위한 보강콘크리트보의 피로특성에 관한 연구

A Study on the Fatigue Characteristics to Improve the End Bond Properties of Strengthening Concrete Beam

한만엽*
Han, Man-Yup

이영현**
Lee, Young-Hun

이성준***
Lee, Sung-Joon

ABSTRACT

The concrete structure under fatigue load depresses in mechanical capability or breaks down finally because of the fatigue. So recently the study on strengthening methods using bonded plate is widely attended. Which could be constructed under use and without damaging the structure. The intention of this method is to increase the useability of the structure and to recover the strength. So application on fields are sharply increasing.

In this study it is tried to develop strengthening methods using notches and anchor bolts which could supply the defect on falling off of the plate at the end.

1. 서 론

최근에 들어 차량의 증량화 추세, 교통량의 증대, 고강도재료의 사용으로 인하여 극한하중에 의한 구조물의 파괴보다는 허용응력 이하의 반복하중에 의한 피로파괴가 많이 발생하고 있다. 이에 따라 최근에는 구조물의 안전진단에 관한 국내연구가 활발히 진행되어 구조물의 손상정도를 평가하는데 있어서 어느정도의 수준에 이르고 있고 그에 따른 구조물의 사용성 향상과 강도회복을 목적으로 하는 보수 및 보강공법에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 기존의 연구에 의하면, 강관이나 탄소섬유를 사용한 보강공법의 경우 부재가 극한 내력에 도달하기 전에 보강재 단부, 중앙부에서 발생한 균열이 급속히 진전되어 파괴가 발생하게 된다.

본 연구에서는 보강재를 극한 내력까지 사용할 수 있는 방안을 찾기위해 노치와 앵커볼트 및 측면 보강을 이용하여 변형을 준 시험체를 제작하고, 파괴시 반복회수, 반복하중하에서의 균열 및 파괴양상, 하중-중앙처짐, 하중-변형을 관계 등을 조사하여 단부 및 중앙부에서의 균열 발생을 억제하거나 완화할 수 있는 보강방법을 찾고자 하였다.

* 정회원, 아주대학교 토목공학과 교수

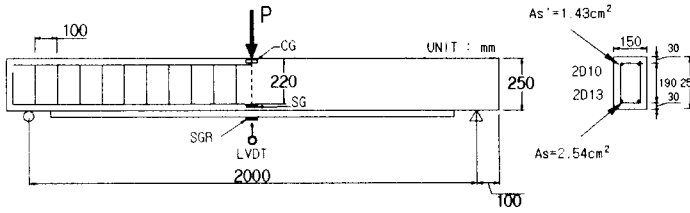
** 정회원, 아주대학교 토목공학과 석사과정

*** 정회원, 아주대학교 토목공학과 석사과정

2. 실험

2.1 실험계획

본 실험에서 사용된 시험체의 제원 및 보강재의 물성치는 그림 1과 표 1에 제시하였다. 콘크리트는 설계강도가 210 kg/cm^2 인 레미콘 제품을 사용하였고, 시험체의 단면치수 및 배근현황은 그림 1과 같이 단면 $15 \times 25 \text{ cm}$, 유효깊이 22 cm , 총길이 220 cm , 순지간 200 cm 으로 제작되었다.



철근은 설계 항복응력 3500 kg/cm^2 인 이형철근으로 인장철근 2-D13, 압축철근 2-D10을 사용하였고, 시험체의 전단파괴방지를 위해 D10의 스티럽을 10 cm 간격으로 배근 휨 지배를 받는 보로 설계하였다.

그림 1 시험체 형상

표 1. 실험재료의 특성 및 재료

구분	강도 (kg/cm^2)	탄성계수 (kg/cm^2)	탄성계수비	치수	비교	
시험체	콘크리트	210	2.17×10^5	-	$b = 15 \text{ cm}$ $h = 25 \text{ cm}$ $d = 22 \text{ cm}$ $l = 200 \text{ cm}$	
	철근	3,500	2.04×10^6	9	$\phi = 10 \text{ mm}$ $\phi = 13 \text{ mm}$	
보강재	강판	2,500	2.0×10^6	9	$b_s = 10 \text{ cm}$ $d_s = 0.3 \text{ cm}$	TYPE 2(SS 41)
	탄소섬유	35,400	2.36×10^6	11	$b_c = 10 \text{ cm}$ $d_c = 0.167 \text{ cm}$	파단신율=1.5%
에폭시	840~910	3.56×10^4	-	$b_a = 10 \text{ cm}$ $d_a = 0.3 \text{ cm}$	EPX-3	

2.2 실험변수

표 2 단부 변형에 따른 실험변수

보강재	시험체	보강특성	세부사항	비교	개수
강판	SST	기존보강		보강폭 10cm	2
	SEAS	하면보강	단부보강+단부앵커(6개) ->총 12개 앵커		2
	SESA	(하면+측면)보강	단부앵커(2개)+측면보강(앵커2) ->총 12개 앵커	측면 보강폭 20cm 1.5cm의 중앙 노치	2
탄소 섬유	CST	기존보강			2
	CCLA7	줄앵커	보강재의 중앙부분 간격 20cm	7개의 줄앵커	2
	CCSS	(하면+측면)보강	하면 및 중앙부 측면 보강	중앙 폭20cm U자형 보강	2
	CESS	(하면+측면)보강	하면 및 단부 측면 보강	단부 폭20cm U자형 보강	2
	CESS	(하면+측면)보강	하면 및 중앙부, 단부 측면 보강	중앙, 단부 폭 20cm U자형 보강	2

본 실험에서는 강판 보강시험체 6개, 탄소섬유 보강시험체 10개, 총 16개의 시험체를 제작하였으며, 각 보강시험체중 2개의 기존보강 시험체를 제작하여 비교의 기준으로 사용하였다.

2.3 재하 및 측정방법

2.3.1 피로실험

피로실험에는 50ton급 유압식 피로시험기를 사용 반복하중의 최대값과 최소값을 일정하게 유지하는

하중제어방식으로 실험을 수행하였으며, 재하속도는 2Hz의 속도로 재하하였다. 재하하중의 최대하중 (P_{max})은 정적항복강도의 80, 95%로 하였고, 최소하중(P_{min})은 최대하중(P_{max})의 10%로 하였다.

표 3 시험체별 사용하중

	정적실험결과		피로하중				피로하중/최대하중	
	항복하중	최대하중	80%		95%		80%	95%
			P_{max}	P_{min}	P_{max}	P_{min}		
SST	7879	8999	6400	640	7600	760	71.12	84.45
SEAS	7200	9020	6400	640	7600	760	70.95	84.26
SESA	8527	10473	6400	640	7600	760	61.11	72.57

	정적실험결과		피로하중				피로하중/최대하중	
	항복하중	최대하중	85%		95%		85%	95%
			P_{max}	P_{min}	P_{max}	P_{min}		
CST	5306	7140	4600	460	5100	510	64.43	71.43
CCSS	5506	7277	4600	460	5100	510	63.21	70.08
CESS	5413	7400	4600	460	5100	510	62.16	68.92
CCESS	5420	7660	4600	460	5100	510	60.05	66.58

	정적실험결과		피로하중				피로하중/최대하중	
	항복하중	최대하중	80%		95%		80%	95%
			P_{max}	P_{min}	P_{max}	P_{min}		
CCLA7	5200	6526	4300	430	5100	510	65.89	78.15

3. 실험 결과 및 분석

3.1 보강재료별 S-N 선도

피로시험을 통하여 얻어진 하중범위와 가해진 피로수명간의 관계를 S-N곡선으로 나타낼 수 있으며, S-N선도에서 특정한 어느 반복횟수 N에 대한 응력수준의 값을 피로강도라고 한다.

피로시험을 통하여 측정된 시험체 파괴시의 피로하중 반복횟수는 표4와 같이 나타났으며, 표4를 이용한 S-N선도는 그림2와 같이 나타났다.

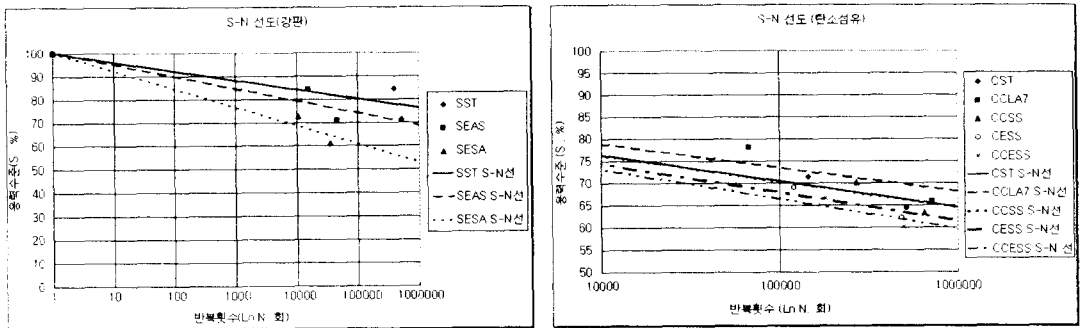


그림 2 시험체별 S-N 선도

표5는 100만회에 대한 피로강도를 나타낸것으로서 강관보강시험체가 53.07~76.34%, 탄소섬유보강시험체가 59.72~67.63% 사이로 나타났다.

표 4 시험체별 파괴시 피로하중회수

	피로하중크기(%)	피로하중 반복횟수
	SST	95
80		523,086
SEAS	95	15,200
	80	45,256
SESA	95	10,549
	80	35,023
CST	95	145,320
	85	513,709
CCLA7	95	67,546
	80	715,245
CCSS	95	272,150
	85	650,378
CESS	95	120,420
	85	485,472
CCESS	95	181,132
	85	497,170

표 5 시험체별 피로강도(N: 1,000,000회)

시험체명	피로강도		단부변형/기준보강
	%	kg	
SST	76.34	6870	1.00
SEAS	68.99	6223	0.91
SEAS	53.07	5558	0.81

시험체명	피로강도		단부변형/기준보강
	%	kg	
CST	64.48	4604	1.00
CCLA7	67.63	4413	0.96
CCSS	64.33	4681	1.02
CESS	61.48	4550	0.99
CCESS	59.72	4575	0.99

4. 결 론

본 강판 및 탄소섬유 시험체에 대한 피로시험으로부터, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 강판보강시험체의 경우 모든 시험체가 보강재중앙에서 응력집중으로 발생한 균열의 진전되어 시험체가 파괴되었다. 보강재 폭에 비해 노치의 깊이가 깊었던 시험체(SEAS, SESA)의 하중반복횟수는 50,000번 이하로 기준보강시험체(SST)보다 상당히 적은 반복횟수를 나타내었다.
2. 시험체의 S-N선도로부터, 100만회에 대한 피로강도는 강판 보강시험체가 53.07~76.34%, 탄소섬유 보강시험체가 59.72~67.63% 사이로 나타났다. 강판 기준보강시험체(SST)가 76.34%로 가장 큰 피로강도를 나타냈고, 탄소섬유 보강시험체의 경우 보강재의 변형에 관계없이 유사한 결과를 보여주었다.
3. SEAS95 시험체를 제외한 모든 강판 보강시험체가 기준보강시험체(SST)보다 적은처짐을 보여 단부변형시험체가 기준보강시험체에 비해 강성이 증대되었다고 볼 수 있으나, 파괴의 징후가 실 구조물에서는 잘 관측되지 않을 수도 있으므로 구조물의 붕괴에 대한 안전성의 확보측면에서는 불리한 것으로 판단된다.
4. 강판보강시험체의 경우 중앙부에 균열이 집중되었고 이와는 반대로 탄소섬유보강시험체의 경우 균열이 보의 전체에 분산되어 발생하였고, 하중반복횟수가 증가할수록 균열도 시간 전체에서 진전되는 양상을 나타내는데, 탄소섬유의 경우는 탄성계수가 크고 항복점이 없는 직선적인 거동을 하므로, 내부철근이 항복후에도 항복한 지점에서 탄소섬유가 계속 내하력을 받아주기 때문인 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 한만엽, 송병표, “노치를 이용한 보강재의 부착력증가 방안에 관한 연구”, 한국 콘크리트 학회, 1998년도 봄 학술 발표회 논문집, pp.647~652
2. R.N.Swamy, R.Jones, N.Bloxham, “Structural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Epoxy-Bonded Steel Plates”, Structural Engineer, Vol.65A, No.2, 1987, pp.59~68