

보수·보강된 철근 콘크리트보의 구조적 거동에 관한 연구

Structural Behavior of Strengthened RC Beams

오병환*
Oh, Byung Hwan

조재열**
Cho, Jae Yeol

강동옥***
Kang, Dong Ok

Abstract

The final objectives of this study are to present the theoretical formula for reasonable structural analysis and practical codes on the repair/strengthening of damaged reinforced concrete structures. For that purpose, in last year, preliminary experiments for flexure and shear of beam structure using carbon sheet and steel plate were performed, and in sequence, in this year, using aramid fiber sheet and steel plate more extensive experiment were performed.

Repair for the performance of flexure and shear was focused on, and main variables were selected considering applicability for practical field, such as, spacing of anchor bolt, lapping, jacking up, preloading level, and fiber direction as well as length of repairing plate and thickness. So new results from various angles are to be presented.

1. 서 론

최근 몇 년간 우리 나라는 성수대교의 붕괴, 삼풍백화점 참사 등 크고 작은 사고로 인하여 기존의 구조물뿐만 아니라 새로이 건설되고 있는 구조물에 대한 안전진단 및 유지관리에 대한 관심이 그 어느 때보다도 부각되고 있는 실정이다. 사실 한국전쟁이후 급속한 경제발전과 더불어 양적 위주의 건설정책과 사후관리에 미흡한 우리의 건설시장의 상황에서 볼 때 이러한 사고는 예정된 것이었다고 볼 수 있다. 또한 요즘 들어 교통량의 증가 및 교통하중의 중량화로 교량구조물의 경우 손상이 가속화되고 있다. 최근 들어 이러한 구조물들에 대한 안전도 평가를 위해서 많은 연구가 진행되어 구조물의 손상

* 정회원, 서울대 토목공학과 교수, 공학박사

** 서울대학교 토목공학과 박사과정

*** 서울대학교 토목공학과 석사과정

도를 평가하는데는 어느 정도의 수준에 이르고 있으나, 이에 대한 대책으로 보수·보강에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 1970년대 이래로 보편화되어온 강판접착공법마저도 그에 대한 설계기준이나 시공 기준조차 마련되어 있지 않으며, 근본적으로 그에 대한 성능평가 또한 검증하지 않고 주먹구구식으로 설계, 시공되고 있다.

따라서 본 연구에서는 철근콘크리트 구조물, 특히 보 구조물에 대한 보수·보강의 일환으로 전년도 의 예비실험에 이어 판형보강공법에 대한 휨 및 전단 보강효과를 검토하고 이에 대한 설계절차 및 시 공시방서를 제시하고자 한다.

2. 연구내용 및 범위

본 연구에서는 전년도 1차예비실험에 이어 재반의 사용재료에 대한 특성실험 및 철근콘크리트보부 재를 대상으로 포괄적인 실험을 수행하였다. 전년도의 1차예비실험은 당해년도에 수행할 본 실험에 있어서 재료의 선택, 변수의 선정, 연구방향의 결정을 위한 것으로서 기초실험에 해당하며, 당해년도 에는 강판 및 아라미드섬유 보강철근콘크리트보의 휨 및 전단에 대한 보강성능을 다양한 각도에서 검 토하고자 하였다.

또 이 실험결과를 분석하고 이를 토대로 보강된 구조물의 해석이론 및 해석기법을 정립하고자 하였 으며 강판 및 슈트보강의 합리적인 설계안을 제시하고 궁극적으로 최적의 보수방안 및 절차를 제시하 여 실제현장에서 적용 가능하도록 하는 것을 주 내용으로 하고 있다.

3. 실험개요

3.1 실험재료

본 실험에서는 설계기준강도 280kg/cm^2 의 콘크리트를 사용하였으며, 재령28일 압축강도시험결과 평균 310kg/cm^2 의 압축강도를 나타내었다. 인장철근, 압축철근, 스테럽은 모두 KS규격 강재기호 KS D 3503 통칭 SD40을 사용하였으며, 인장시험결과 D10, D13, D19 모두 항복강도가 4500kg/cm^2 를 상회하는 것으로 나타났다. 보강재로 쓰인 강판은 SS41 일반구조용 압연강재를 사용 하였으며, 아라미드섬유 슈트는 국내 C사에서 원사를 수입 직조한 폭15cm의 기성제품을 사용하였다. 아라미드섬유의 특성은 다음 표 1과 같다.

한편, 사용재료에 대한 예비실험으로써 인장철근 및 압축철근 스테럽의 인장시험, 콘크리트의 압축 강도시험, 강판 및 아라미드섬유의 특성실험 그리고 보강재와 콘크리트간의 박리거동을 분석하기 위 한 강판+콘크리트, 아라미드섬유슈트+콘크리트의 직접전단시험을 수행하였다.

표 1 아라미드섬유 슈트의 특성

제품명	규격	단위무게 (g/m^2)	비중 (g/cm^3)	인장강도 (에폭시함침시) (kg/cm^2)	인장강도 (에폭시미함침시) (kg/cm^2)	파단신율 (%)
파워슈트 350	폭 14.5cm 길이 100m Roll Type	350	1.44	29,000	36,000	2.9

3.2 시험체설계 및 제작

본 연구를 위하여 15×25×170cm 크기의 철근콘크리트보 총 42개를 제작하여 이중 33개는 휨보강시험에, 9개는 전단보강시험에 사용하였다. 모든 시험체는 설계기준강도 280kg/cm²의 콘크리트를 사용하였으며, 휨보강시험체의 경우 인장철근, 압축철근, 스테럽은 각각 SD40의 D13 3개, D13 2개, D10 26개를 사용하여 배근을 하였으며, 전단보강 시험체의 경우 인장철근, 압축철근, 스테럽을 각각 SD40의 D19 3개, D13 2개, D6 14개를 사용하여 배근을 하였다.

휨시험체의 경우 공칭휨하중이 약 13ton이고 공칭전단하중이 약 53ton 즉, 전단강도가 휨강도보다 약 4배정도 강하게 하여 휨보강후에도 전단파괴가 발생하지 않고 휨보강을 비교할 수 있도록 설계하였다. 전단시험체의 경우 공칭전단하중이 약 18ton이고 공칭휨하중이 약 26ton, 즉, 휨강도가 전단강도보다 약 1.5배 강하게 하여 전단보강의 효과를 분명히 하고자 하였다. 이때 모든 설계는 KS기준에 부합되게 하였다. 시험체의 제원의 상세도는 그림1과 같다.

한편, 보강재의 설계는 보강재와 콘크리트가 일체거동을 한다는 가정 하에 강도설계법에 준하여 아라미드섬유 쉬트의 매수에 상응하는 등가의 강재의 두께를 산정하였다.

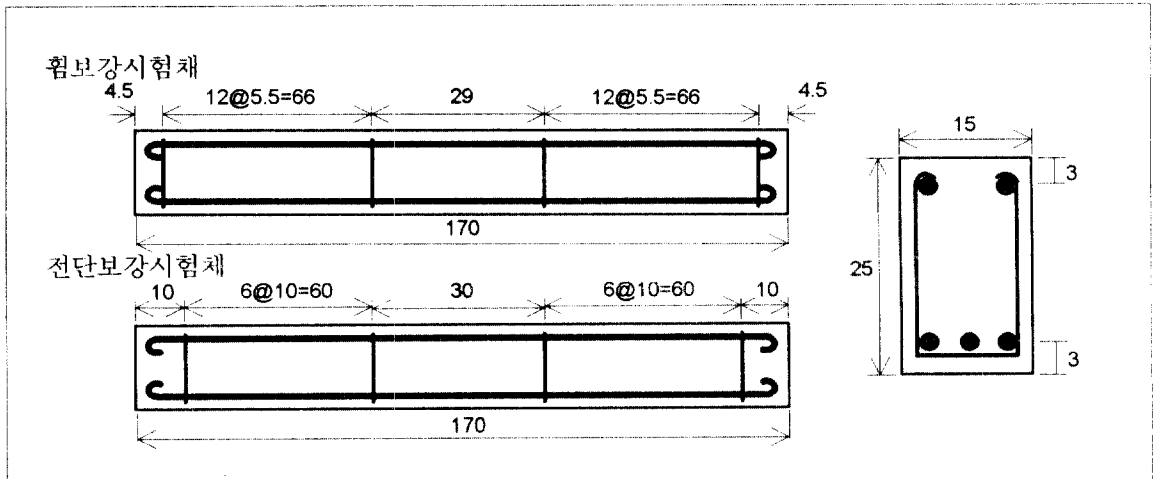


그림 1 시험체의 제원 및 상세도

3.3 실험변수

본 실험은 크게 재료적인 측면에서 강판과 아라미드섬유 쉬트로 나뉘며, 보강대상으로 볼 때 휨인장과 전단으로 나눌 수 있다. 주실험변수는 휨보강시험의 경우 보강시 하중조건, 박리거동을 분석하기 위하여 보강재길이, 보강재두께, 보강재층수, 강판의 경우 앵커볼트의 간격, 아라미드섬유 쉬트의 경우 앵커리지의 폭, 또한 측면보강의 유무, 보강전 jacking up 등이며, 전단보강시험체의 경우 보강형태에 따라 강판과 아라미드섬유 쉬트 각각 4개의 변수를 설정하였다. 각 변수별 시험체명과 자세한 설명은 표 2~4에 제시되어 있다.

한편, 모든 시험체의 비교대상으로써 기준시험체를 휨보강의 경우 2개, 전단보강시험체의 경우 1개를 설정하여 무보강시험을 하였으며, 강판보강 휨시험체의 경우 기준이 되는 보강시험체는 F-S-Ld3로써 강판의 두께는 5mm이고, 길이는 150cm, 단부로부터 $d/2 (=11\text{cm})$ 떨어진 지점에 앵커볼트가

설치되어 있는 시험체이다. 아라미드섬유 슈트보강시험체의 경우 F-C-Ld3로써 슈트 1층보강에 보강길이는 150cm이고, 앵커볼트의 위치에 폭 22mm의 앵커리지가 부착되어있는 시험체가 기준이 된다.

전단보강시험체의 경우 모든 시험체에 강판은 5mm, 아라미드섬유 슈트는 1매를 사용하였다.

표 2 강관휨보강 시험체의 분류

시험체명	보강시 하중조건	보강재 길이	보강재 두께	보강재 층수	앵커리지	측면 보강
Cont-F-Mo	Monotonic Loading					
Cont-F-Cv	Cyclic Loading (70~80%)					
F-S-Ld1	0 ton					
F-S-Ld2	6 ton					
F-S-Ld3	10 ton					
F-S-Lt1		128				
F-S-Lt2		72				
F-S-Th1			3 mm			
F-S-Th2			6 mm			
F-S-Th2-G			6 mm			
F-S-Th3			9 mm			
F-S-Th4			12 mm			
F-S-Lr1				150 + 150		
F-S-Lr2				150 + 72		
F-S-Lr3			3 mm	150+150		
F-S-Ab1					無볼트	
F-S-Ab2					64 간격	
F-S-Ab3					43 간격	
F-S-Sd1						12.5
F-S-Sd2						25.0
F-S-Ju	보강전 Jacking Up					

표 3 아라미드섬유슈트휨보강 시험체의 분류

시험체명	보강시 하중조건	보강재 길이	보강재 두께	보강재 층수	앵커리지
F-C-Ld1	0 ton				
F-C-Ld2	6 ton				
F-C-Ld3	10 ton				
F-C-Lt1		128			
F-C-Lt2		94			
F-C-Th			3매		
F-C-Lr				150 + 94	
F-C-Ag1					無앵커
F-C-Ag2					폭 11
F-C-Ag3					폭 44
F-C-Ag4			2매		無앵커
F-C-Ju	보강전 Jacking Up				

표 4 전단보강 시험체의 분류

	시험체명	구분
무보강	Cont-S	Monotonic Loading
강판보강	S-S-W	측면보강(날개형)
	S-S-U	측면보강+하면보강(U형)
	S-S-W-Ab	측면보강(날개형) + 앵커볼트
	S-S-U-Ab	측면보강+하면보강(U형) + 앵커볼트
아라미드 섬유보강	S-C-W1	측면보강(날개형), 섬유방향:수직
	S-C-U	측면보강+하면보강(U형), 섬유방향: 수직
	S-C-W2	측면보강(날개형), 섬유방향: 대각선
	S-C-S	U형 스트립보강, 섬유방향: 수직

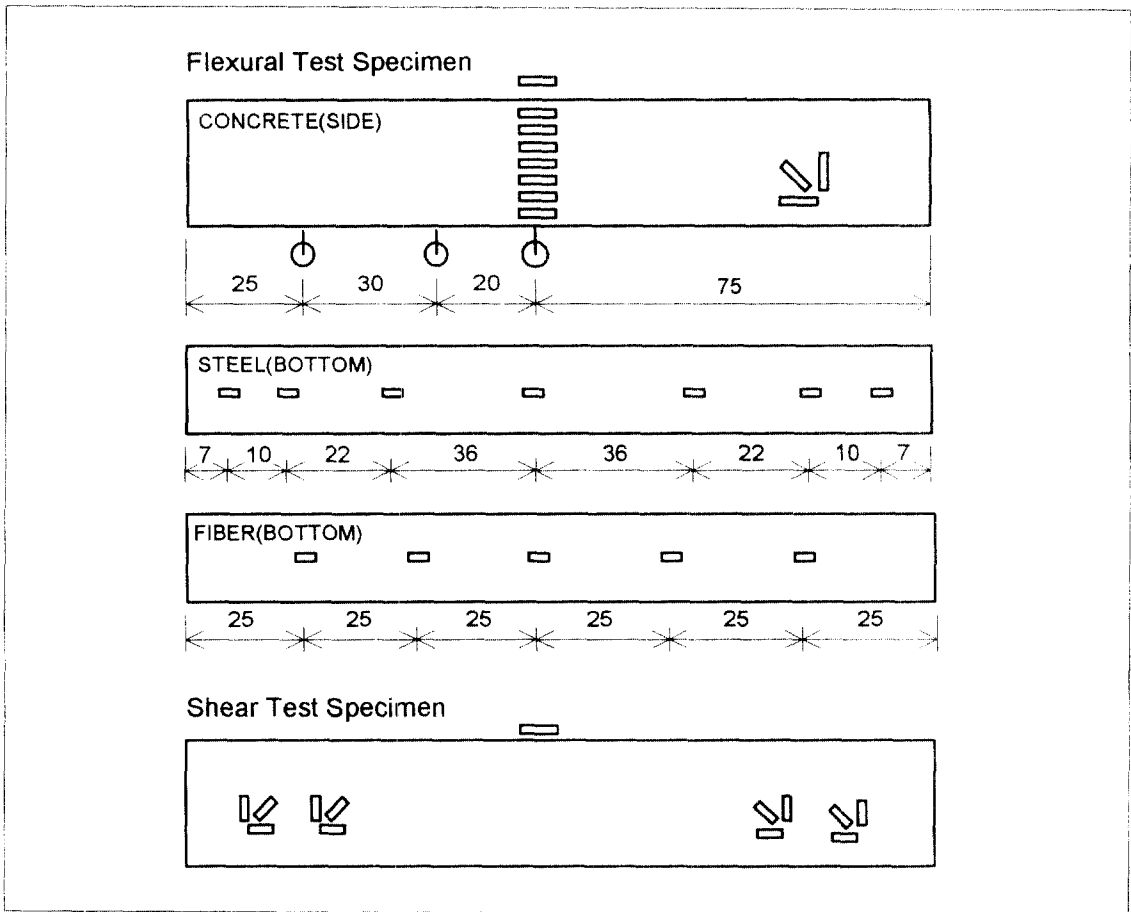


그림 2 게이지부착위치 상세도

3.4 측정방법

휨보강시험체의 경우 인장철근 및 압축철근의 변형도를 측정하기 위하여 인장철근의 가운데에 변형게이지 2개를, 압축철근에 1개, 스트립에 2개의 변형게이지를 매설하였다. 또한 콘크리트와 보강재와의 합성거동과 중립축을 살펴보기 위하여 변형게이지를 콘크리트의 중앙부에 8개를 부착하였으며, 전단거동을 살펴보기 위하여 로제트게이지를 1개부착하였다. 또한 보강재의 변형도를 측정하기 위하여

강판의 경우 7개, 아라미드섬유 슈트의 경우 5개의 변형게이지를 부착하였으며, 박리거동을 살펴보기 위하여 몇 개의 부재를 선정하여 보강재와 동시에 콘크리트 인장부에 변형게이지를 매설하였다.

전단보강시험체의 경우 인장철근 및 압축철근의 변형도를 측정하기 위하여 인장철근의 가운데에 변형게이지 2개를, 압축철근에 1개, 스테럽에 2개의 변형게이지를 매설하였다. 또한 콘크리트의 압축부에 변형게이지를 1개 부착하였으며 전단거동을 살펴보기 위하여 로제트게이지를 4개씩 부착하였다.

처짐 거동을 살펴보기 위하여 휨보강 및 전단보강시험체 모두 다이알게이지를 3개 부착하였다. 측정은 매 0.25ton마다 수행을 하였는데 data logger와 scanning box를 이용하여 받은 데이터를 직접 PC로 받아 데이터처리를 용이하게 하였다.

게이지 부착위치의 상세도는 그림 2와 같다.

3.5 하중재하

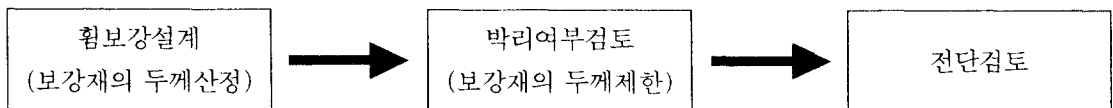
하중재하는 4점재하방식으로 부재의 손상을 유도하기 위하여 선행하중을 재하하는 정적 1사이클 재하방식을 채택하였다. 즉, 휨보강시험체의 경우 극한하중 14ton의 70%에 해당하는 10ton을 재하한 다음 하중을 제거하고 보강시공을 한 다음 파괴 시까지 재차 하중을 재하하였다. 전단보강시험체의 경우 극한하중 17ton의 70%에 해당하는 12ton을 선행하중으로 재하하였다. 하중재하는 용량 100ton의 Instron 만능구조시험기를 이용하였다.

4. 결과분석

현재진행중인 결과분석을 항목별로 요약하면 다음과 같다.

- (1) 처짐 및 변형도 분석
- (2) 파괴형상에 대한 분석
- (3) 휨강도 추정방법의 비교분석
 - 강도설계법에 근거한 휨강도 산정방법
 - 철근의 변형경화를 고려한 휨강도 산정방법 등등
- (4) 보강재와 콘크리트의 합성거동의 분석
- (5) 보강재의 박리거동 분석
 - 기존이론의 검증 및 개선방안 고찰
 - FEM Parametric Study를 통하여 구조해석시 접착층 및 앵커볼트의 고려방안 고찰
- (6) 앵커볼트의 실효성검토
- (7) 건전부재 및 손상부재의 휨강도 추정방법의 비교분석
- (8) 전단 보강된 보부재의 전단강도 추정식의 개선

상기의 여러 가지 결과분석을 통하여 최종적으로 다음과 같은 철근콘크리트보부재의 판형보강설계 절차를 도출하는 것을 목표로 한다.



5. 향후연구내용 및 필요성

본 연구의 한계성을 극복하기 위하여 앞으로 연구할 필요성이 있으며, 현재 계획중인 몇 가지 사안을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 정적시험의 한계성 \Rightarrow 동적하중하의 피로실험
- (2) 보부재의 구조적 한계성 \Rightarrow 슬래브 및 기둥 등 다른 구조물에 대한 연구
- (3) 실험실시험의 한계성 \Rightarrow 실 교량을 대상으로 보강전·후의 내하력 비교분석

감사의 글

본 실험에 있어 많은 도움을 주신 한국통신 선로기술연구소측에 깊은 감사를 드립니다.