

유리섬유로 보강된 RC휨부재에 대한 정적 및 피로실험

Static and Fatigue Test on RC Flexural Beam with Glassfibers

손 영 준* 윤 진 수* 강 보 순** 정 영 수***
Son, Young Jun Yun, Jin Soo Kang, Bo Soon Chung, Young Soo

ABSTRACT

In recent years, glassfibers have been used for strengthening in RC structure because of low material cost and easy repairing work. The purpose of this study is to experimentally and analytically investigate the effect of glassfibers for enhancing the capacity of RC structure.

The result shows that yield and ultimate strength of RC beam with glassfibers are increased by approximate 13% and 26%, comparing with those for RC beam without glassfibers. It has been observed from the test that fatigue behaviours of RC beam with glassfibers have been significantly and large improved comparing with those for RC beam without glassfibers.

1. 서론

모든 구조물은 시공단계에서부터 시간이 경과함에 따라 설계에서 예측하지 못했던 여러 가지 변화를 받게 된다. 시공중의 설계변경 및 시공불량, 구조물의 완공후의 용도변경에 따른 하중증가, 구조물의 지역환경변화, 시간의 경과에 따른 재료특성의 변화 등이 있다. 특히 RC구조물의 경우 균열발생 및 시간경과에 따른 콘크리트의 노후화는 피할 수 없다. 노후하여 본래의 목적에 적합하지 않은 교량은 재건설하거나 보강하여 교량 본래의 구실을 할 수 있게 하여야 한다. 그러나 교량을 재건설하는데는 많은 비용과 시간이 소요될 뿐 아니라 폐건설재료로 인한 환경공해를 유발하기도 한다. 그러므로 구조적으로 가능하다면 손상된 부재 또는 단면력이 부족한 부재를 보수,보강하여 사용년수를 증가시키는 것이 바람직하리라 생각된다. 그러므로 본 연구는 노후화된 RC교량의 성능개선을 위한 실험을 통해 결과분석 후 적절한 해석결과와 서로 비교분석하여 체계적인 교량의 보강 방법을 제시하고자 하는 실험적 연구이다. 이에 본 연구는 RC보에 유리섬유(TYFO)를 이용한 부재보강을 통하여 정적 및 피로실험을 실시하고 보강 전·후 구조물의 내하력 증가와 피로에 대한 저항성을 검토하여 유리섬유 보강공법의 성능과 활용성을 평가하고자 한다.

* 정회원 중앙대학교 토목공학과 석사과정

** 정회원 중앙대학교 토목공학과 Post Doc.

*** 정회원 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수

2. 실험 일반

2.1 실험개요

RC교량의 유리섬유(TYFO) 보강 효과를 검증하기 위해 다음과 같이 RC보를 제작하여 보강 전·후의 내하력 증진효과를 규명하고자 한다.

표1 실험 계획

구분	시험체 규격	보강방안	실험내용	시험체 수량	비고
콘크리트 보	Span : 25cm(W)× 40cm(H)×240cm(L)	무보강	· 사용하중에 대한 정적실험	1개	
			· 단계별 피로실험	3개	
		유리섬유 보강	· 사용하중에 대한 정적실험	1개	
			· 단계별 피로실험	3개	

2.2 시험체 계획

본 실험에 사용될 RC보는 지간길이 L=240cm, 폭 b=25cm, 높이 h=40cm, 유효높이 d=36cm의 단면을 사용하였으며, 콘크리트 타설은 19mm 골재의 레미콘을 사용하였으며 목표압축강도는 270kg/cm²으로 하였다.

2.3 시험체 재료특성.

2.3.1 콘크리트 압축강도

실험체의 콘크리트 압축강도 측정을 위해 3개의 공시체를 추출하여 실험한 결과 콘크리트의 압축강도는 약 294(kg/cm²)의 평균값을 얻었다.

2.3.2 시험체의 배합설계

표2 시험체 배합설계표

굵은골재의 최대치수(mm)	슬럼프의 범위(cm)	공기량의 범위(%)	W/C (%)	S/A (%)	단위량(kg/cm ³)						
					물 W	시멘트 C	잔골재 S	굵은골재 G		혼화재료	
								mm~mm	mm~mm	혼화재	혼화제
19	15±3	4.5±1.5	50	47	192	377	795	939		1.13	

2.3.3 유리섬유와 에폭시의 물리적 특성

보강에 사용될 유리섬유와 에폭시 접착제의 물리적 특성은 다음과 같다.

(1) 보강에 사용될 유리섬유의 종류는 E-glass로서 밀도는 2.4, 인장강도는 31,000(kg/cm²), 인장계수는 735,000(kg/cm²)이며 신장률은 4.2(%)이다.

(2) 에폭시 접착제

표3 에폭시 접착제의 물리적 특성

특성	열처짐 온도 (HDT)	인장강도 (kg/m ²)	인장계수 (kg/m ²)	신장율 (%)	휨강도 (kg/m ²)	비중	유리변형 온도
값	76℃	735	32,000	4.8	1,250	1.1597	86.6℃
시험기준	ASTM D 648	D 638	D 638	D 638	D 790	D 790	D 4065

(3) 합성체(Composite)

표4 유리섬유와 에폭시 접착제 합성체의 물리적 특성

방 향	온 도	인장강도 (kg/m ²)	인장계수 (kg/m ²)
주 섬유 방향	상 온	5,390	252,000
	-18℃	3,360	245,000
주 섬유 직각 방향	상 온	470	98,000

2.4 실험체 보강.

유리섬유 보강시 길이 방향으로의 지점사이의 거리인 217cm, 폭은 30% 보강효과를 얻기 위한 구조계산상의 결과 33cm로 계산되어 단면 밑 부분을 감싸주었다.

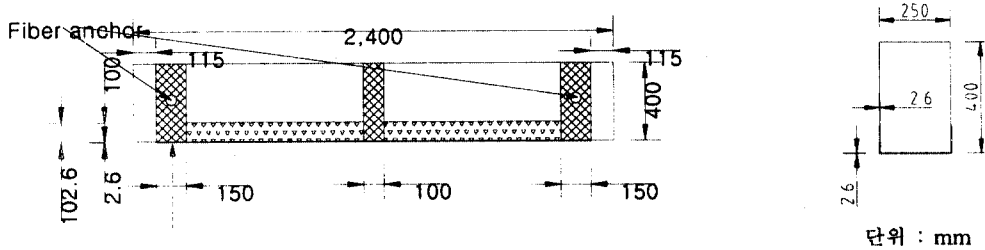


그림1 유리섬유 보강도면

3. 정적실험

3.1 실험체의 설치

재하시 균열상태를 보다 명확히 보기 위하여 보의 정면에 흰색 수성페인트를 칠하고 10cm간격으로 격자 줄을 그어 균열의 위치를 쉽게 파악할 수 있도록 하였다. 그리고 RC보는 UTM에 설치하였으며, 무보강 및 보강실험체 2개씩 총 4개의 실험체에 대하여 실시하였다.

3.2 측정방법

측정장비는 상부와 측면에 콘크리트용 변형계(Strain Gage) 각각 2개씩, 하부의 주철근에 Steel용

변형계(Strain Gage) 2개 그리고 보의 중앙에 처짐측정을 위한 1개의 변위계(Displacement Transducer)를 설치하였다. 하중재하방식은 초기에는 1ton 단위로, 항복하중에 접근하여서는 0.5ton 단위로 하중을 재하하였다.

3.3 정적실험 결과

실험결과 실험체별로 강도가 거의 일정하게 발생하였고, 유리섬유로 보강한 시험체는 전반적으로 내력증가 및 향상된 균열특성을 볼 수 있었다. 보강시험체의 항복하중은 무보강 시험체의 항복하중보다 약 13%정도 증가하였으며, 파괴하중 비교시는 약26%정도가 증가하였다. 보강시험체는 인장철근이 항복되면서부터 보강재와 콘크리트시험체 사이에서는 미세한 균열들이 발생하면서 부분적인 계면파괴가 일어남과 동시에 바람직한 휨파괴양상을 보여 주었다. 보강 시험체에서의 휨균열이 중앙에 크게 발생한 반면에 보강시험체에서는 균열이 억제되면서 작은 균열이 여러개 중앙에서 지점방향으로 전지간에 옮겨지는 형태로 나타났다.

표5 정적실험 결과

보강여부	실험체 명	항복하중(ton)	파괴하중(ton)
무보강	BSWO-1	24.4	27.2
	BSWO-2	24.2	27.5
보강	BSWG-1	27	33.8
	BSWG-2	27.5	34.5

註) B:휨시험체 S:정적실험 WO:무보강(WG:보강) -1:정적실험 연번

다음 그림에서는 무보강, 보강시험체의 비교곡선을 보여주고 있으며, 그림에서 나타난 것과 같이 유리섬유의 보강 효과는 항복강도보다는 항복강도에서 파괴가 일어날 때까지의 효과가 더 나타났다.

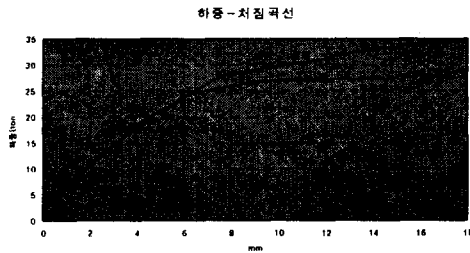


그림2 하중-처짐 곡선

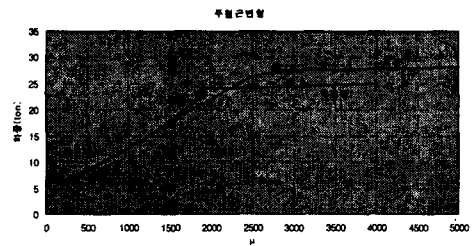


그림3 하중-주철근 변형률 곡선

4. 피로실험

4.1 실험체의 설치 및 측정방법

실험체의 기본 설치와 측정장비 설치는 정적실험체와 같으며 RC보는 Actuator에 설치하여 처음에는 정적하중으로 하중용력수준의 최대값까지 준후, 하중을 제거하고 다시 동적하중의 용력수준을 맞춘후, Actuator을 가동하였다. 피로실험에서 재하하는 하중 mode는 sine파로 하였으며 초당 2회의 재하 cycle로 무보강 실험체의 경우 최대하중은 실험체 항복하중의 65%, 75%, 85%로 최소하중은 최대

하중의 10%로 하였으며, 유리섬유보강 실험체의 경우 최대하중은 무보강 실험체 항복하중의 85%, 95%, 105%로 최소하중은 무보강 실험체와 같으며, 무보강 실험체 3개, 유리섬유(TYFO)로 보강한 실험체 3개에 대해서 실시하였다.

4.2 피로실험 결과

옆의 그림은 피로실험의 결과로서 무보강시험체와 보강시험체의 피로거동에 대한 작용응력과 반복횟수의 관계를 나타낸 S-N 선도이다. 보통 특정한 반복횟수 N에 대한 응력수준값인 피로강도를 예측하는데 주로 많이 사용된다. 그림에서 나타낸 것 같이 응력수준의 증가와 더불어 피로강도가 떨어지는 전형적인 피로수명현상을 잘 보여주고 있다. 다음 그림에서는 적용된 각 응력수준에서 파괴될 때까지의 반복횟수 N에 대한 처짐 및 주철근 변형률의 증가를 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 응력수준의 증가에 따른 처짐과 변형률 증가가 뚜렷한 것을 볼 수 있으며, 보강부재의 파괴시 반복하중 횟수는 무보강부재에 비하여 크게 증가하였다. 모든 실험체는 하중의 반복이 계속됨에 따라 최초에는 균열이 분산 성장하나, 이 중 하나의 주균열이 발생하고 주균열의 폭과 길이가 뚜렷이 발전하여 파괴되었으며, 주철근은 절단되었다.

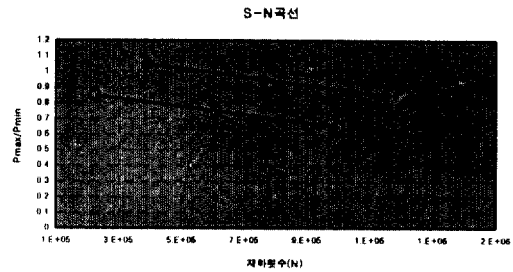
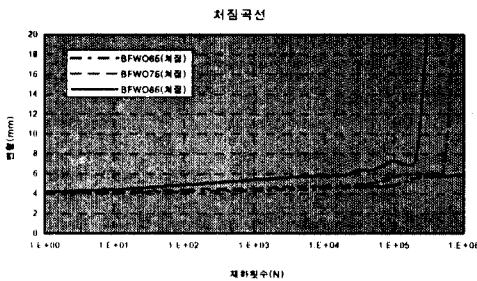
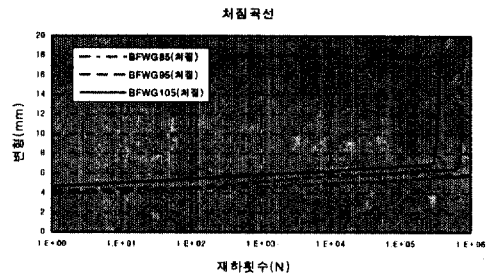


그림4 S-N곡선

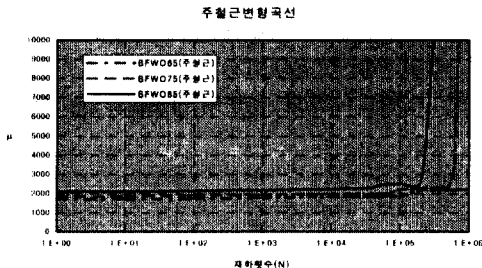


a) 무보강 시험체

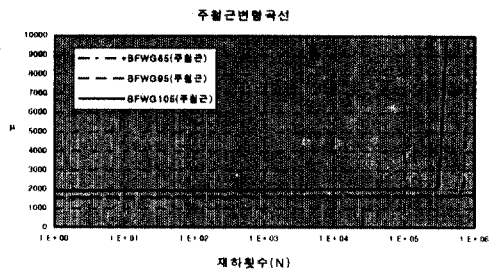


b) 보강 시험체

그림5 중앙하부 처짐곡선



a) 무보강 시험체



b) 보강 시험체

그림6 중앙하부 주철근 변형곡선



사진1 BFWO85 파괴모습

5. 결론 및 추후연구과제

이상의 실험결과 무보강 부재 보다 섬유보강 부재의 내력이 항복강도는 약 13%, 극한강도는 약 26% 증가 됨을 확인할 수 있다. 여기에서 주목할 사항은 항복강도의 증가보다는 항복후의 내력증가가 더 크게 나타나는 경향을 보인다는 것이다. 그리고, 피로실험 결과에서 보듯이 정적실험보다는 피로실험시 유리섬유 보강 효과가 뚜렷하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러므로 유리섬유의 보강은 부재의 연성을 증가시키는데 큰 효과가 있다고 생각되며 이는 반복하중을 받거나 연성이 크게 요구되는 철근 콘크리트 구조물에 유용하게 적용될 수 있으리라 판단되며, RC교량뿐만 아니라 다른 실제 RC구조물의 적용방법에 관한 연구가 더 필요하리라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 '96건설기술연구개발사업의 연구내용 중 일부이며, 본 연구에 많은 도움을 주신 (주)풍림 토건 및 관계당국에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회 논문집 "97 가을 학술발표회", 한국콘크리트학회, 1997, pp. 615 - 625
2. "국도상 노후교량의 성능개선 기법 개발에 관한 연구",건설교통부, 1997.12
3. "손상된 RC보의 보강 후 피로거동에 관한 실험적 연구",대한토목학회 논문집, 1996.3. pp. 135~142