

유리섬유보강 RC보의 휨 및 전단 피로성능개선의 실험 연구

Experimental Study on the Fatigue Enhancement of RC Beams with Glassfibers

조 창 백* 양 정 비* 정 영 수** 김 기 봉**
Cho, Chang-Beck Yang, Jung-Bee Chung, Young-Soo Kim, Ki-Bong

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 flexural beams and shear beams. The experimental result shows that yield and ultimate strength of RC flexural beam with glassfibers are increased by approximate 13% and 26%, comparing with those for without glassfibers, and also ultimate strength of RC shear beam with glassfibers are increased by 34%, comparing with those for without glassfibers

1. 서 론

우리 나라에서는 1970년대 초부터 사회간접자본 시설을 확충하기 위한 활발한 투자가 시작되어, 사회기반시설들로서 많은 철근콘크리트 구조물이 건설되었다. 그러나 당시에 낙후된 건설기술로 인하여 시공된 구조물들은 성능 및 품질면에서 열악한 상태였으므로 완벽을 기할 수 없는 상황이었다. 성수대교 상판붕괴나 삼풍백화점의 붕괴사고는 건설분야의 전문가들뿐만 아니라, 구조물의 유지관리 및 안전을 책임져야하는 관계자들, 건설업에 종사하는 기술자들의 책임이라 할 수 있으나, 내면적으로는 우리 사회의 안전불감증 및 기술 경시 풍조가 근본적인 원인이라 생각되어 기반시설의 안전에 대한 국민적 불안감을 해소하기 위하여 보수·보강에 관련된 기술적 방안의 정립이 절실히 요구되고 있다.

모든 구조물은 시공단계에서부터 시간이 경과함에 따라 설계에서 예측하지 못했던 여러가지 요인에 의해 변화를 일으키게 된다. 시공중의 설계변경 및 시공불량, 완공후의 용도변경에 의한 하중증가, 구조물 주변의 환경변화 및 시간경과에 따른 재료특성의 변화 등이 있다. 특히 철근콘크리트 구조물의

* 중앙대학교 대학원 지구환경시스템공학과 석사과정

** 정희원, 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수

경우 균열발생 및 시간경과에 따른 콘크리트 노후화는 피할 수 없다. 이와같은 요인들에 의해 발생하는 내구성의 저하는 구조물의 내력을 증진시키는 보수·보강에 대한 특별한 규정이 없는 상태에서 보수·보강업체의 추천과 경험에 의해서 수행되고 있는 실정이다. 이에 효율적인 구조물의 유지관리를 위하여 구조적으로 가능하다면 손상된 부재 또는 단면력이 부족한 부재를 효과적으로 보강하여 내용년수를 증가시키는 것이 바람직하다고 사료되어 유리섬유 보강재료들에 대한 이론적인 해석과 실험적 연구의 수행이 필요하게 되었다.

2. 실험내용

2.1 실험개요

본 실험은 노후화된 기존의 철근콘크리트 교량 및 기타 구조물의 보수·보강을 위하여 정적 및 피로실험을 통한 결과와 이론적인 해석결과를 서로 비교·분석하여 철근콘크리트 구조물의 체계적인 성능개선방법을 제시하고, 신설 교량구조물의 내구성 연장을 위한 설계자료 제시 및 2등급 교량의 1등급 향상 방안에 관한 실험이다. 특히, 전단부재의 파괴형태는 휨부재와 달리 갑작스런 파괴를 일으키는 취성파괴로서 매우 위험하게 되며 실제의 거동에 대해서도 정량적인 명확한 연구가 수행되지 못하고 있다. 이에따라 본 실험에서는 일반적인 RC 휨부재 및 전단부재에 대한 정적 및 피로실험을 통하여 그 거동상태를 파악하고 유리섬유(TYFO) 보강효과를 검증하기 위해 다음과 같이 RC보를 제작하여 보강 전·후의 내하력 증진효과를 규명하였으며, 실험개요는 표 2.1과 같다.

표 2.1 실험 개요

구 분	규 격 (cm)	보강여부	시험체 수량		시험체명	
			정적시험	피로시험	정적시험	피로시험
휨RC보	25(W)×40(H) ×240(L)	무보강	1	3	BSWO-1 BSWO-2	BFWO65 BFWO75 BFWO85
		보강	1	3	BSWG-1 BSWG-2	BFWG85 BFWG95 BFWG105
전단RC보		무보강	1	3	SSWO	SFWO75 SFWO80 SFWO85
		보강	1	3	SSWG-1 SSWG-2	SFWG90 SFWG95 SFWG100

2.2 시험체 제작

본 실험에 사용된 RC보는 지간길이 L=240cm, 폭 b=25cm, 높이 h=40cm, 유효높이 d=36cm의 단면의 시험체를 사용하였고, 콘크리트 타설은 휨보의 경우 19mm, 전단보의 경우 25mm 골재의 레미콘을 사용하여 목표압축강도는 270 kg/cm²로 하였으며, 철근은 SD40을 사용하였다. 전단철근은 휨보의 경우 양 지점부에 15cm 간격으로 6개를, 전단보는 36cm 간격으로 2개를 사용하였다.

특히, 휨 보강시험체의 경우 지간중앙 및 양 지점부에 수직면으로 보강하였으며, 전단 보강시험체의 경우 지간중앙 및 양 지점부에 2겹의 유리섬유로 약 17,535cm²의 표면을 보강하였다.

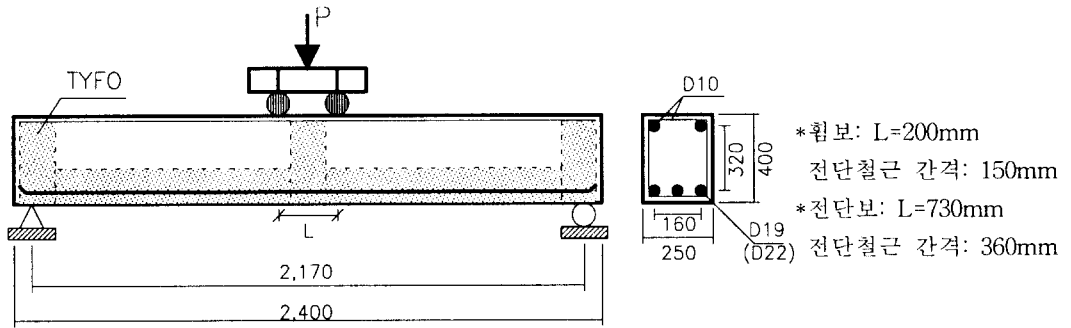


그림 2.1 시험체 실험개요 및 단면도 (단위:mm)

2.3 시험체의 배합설계 및 압축강도 실험결과

시험체의 압축강도 측정을 위해 콘크리트 타설시 $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 인 3개의 몰드에 28일간 양생시킨 후 단면의 편심을 방지하기 위하여 표면을 연마기로 작업한 후 UTM(Universal Testing Machine)으로 압축강도를 측정하였다. 휨 부재의 콘크리트 압축강도는 약 $294(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 였고, 전단부재의 콘크리트 압축강도는 약 $336(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 의 값을 얻었으며, 각 시험체의 배합설계는 표 2.3과 같다.

표 2.2 시험체 배합설계표

구 분	W/C (%)	공기량 (%)	슬럼프 (%)	단위량 (kg/cm^3)					28일 강도 (kg/cm^2)
				물	시멘트	잔골재	굵은골재	혼화재료	
								혼화제	
휨시험체	50.0	4.5	15	192	377	795	939	1.13	294
전단시험체	45.2	4.5	12	173	383	867	925	1.92	336

3. 정적실험

하중은 보의 중심에서 지점방향으로 휨 시험체는 각각 10cm씩, 전단 시험체는 각각 36.5cm씩 위치한 2점 재하로 하였으며, 정적실험에서는 두 종류의 시험체 모두 초기에는 1ton 단위로, 항복하중에 접근하여서는 0.5ton 단위로 하중을 재하하였다.

휨 시험체중 무보강시험체(BSWO)는 10ton 이후부터 인장측 중앙부에서 초기균열이 발생하였으며, 처짐과 변형곡선 모두 24t정도까지는 탄성범위를 나타내다 24ton 이후 급격한 변위 및 변형증가를 나타내었으며, 27ton 에서 파괴되었다. 보강시험체(BSWG)의 경우 처짐과 변형곡선은 모두 27ton 정도까지는 탄성거동을 나타내다 27ton이후에 급격한 변위증가를 나타내고 있다. 시험체가 항복되면서 유리 섬유에 계면파괴가 일어나고, 34ton에서 파괴되었다.

전단 시험체중 무보강시험체(SSWO)는 10ton에서 최초의 휨균열이 발생하였고, 전단균열은 20ton에서 발생하였다. 시험체의 항복하중은 34ton이고, 극한하중은 38.6ton이었으며, 파괴형태는 전형적인 사인장 파괴로 나타났다. 보강시험체(SSWG)의 경우 파괴양상의 변화로 보강단면의 변화가 생김에 따라 두가지 TYPE(1,2)으로 나누어 실험을 하게 되었다. Type-1은 위험단면만을 보강한 시험체로서 변

화양상이 무보강 시험체와 동일하였다. Type-2는 지점에 대한 보강효과를 위해서 지점을 지나서 끝까지 보강하였다. 최초의 휨균열은 12ton이었고, 약 37ton 정도의 하중에서 주철근이 항복하였다. 그리고 51.8ton 에서 콘크리트 상부가 압축파괴되었다.

표 3.1 시험체의 정적실험 결과

구 분	휨RC보			전단RC보		
	시험체명	항복하중(ton)	파괴하중(ton)	시험체명	항복하중(ton)	파괴하중(ton)
무보강	BSWO-1	24.4	27.2	SSWO (주철근,스터럽)	34.0	38.6
	BSWO-2	24.2	27.5			
보 강	BSWG-1	27.0	33.8	SSWG-1	36	38.0
	BSWG-2	27.5	34.5	SSWG-2 (주철근)	51.8	51.8

4. 피로실험

4.1 재하방법

피로실험에서는 정적실험과 동일한 각각의 재하위치에서 각 실험체의 최대응력수준까지 정적하중을 준 후, 다시 하중을 제거한 다음 피로응력 수준을 맞춘 후 Actuator를 가동하였다. 하중 mode는 sin파로 초당 2회 cycle로 재하하였다. 휨 무보강시험체의 피로하중은 무보강시험체 항복하중의 65%, 75%, 85%를 최대값으로, 항복하중의 10%를 최소값으로 하였고, 보강시험체의 피로최대하중은 무보강시험체 항복하중의 85%, 95%, 105%로, 피로최소하중은 무보강시험체와 동일하다.

전단 무보강시험체의 최대하중은 무보강시험체 항복하중의 75%, 80%, 85%로, 최소하중은 항복하중의 10%로 하였고, 보강시험체의 최대하중은 무보강시험체 항복하중의 90%, 95%, 100%로, 최소하중은 무보강시험체와 동일하다.

4.2 피로실험 측정

휨 시험체의 상부와 측면에 콘크리트용 변형계(Strain Gauge)를 각각 2개씩, 하부의 주철근에 Steel용 변형계 2개를 부착하였다. 그리고 보의 중앙 하부밀면에 처짐측정을 위한 변위계(LVDT-20 mm)1개 설치하였으며, 하중의 크기는 Actuator 자체에 설치된 Load cell에 의해 Actuator control PC에 기록된다. 설치된 모든 측정장치들은 동적변형률 측정장치(DPM)에 연결하고, 이를 다시 디지털 데이터로 바꾸어 저장하는 DAS ON(Data Aquisition System)을 사용하여 기록하였다. 전단 시험체에서의 기본적인 게이지 부착 및 설치는 무보강 및 보강시험체 모두 정적 시험체와 동일하며, 하중 재하후 최대 휨 균열위치와 전단 균열위치를 찾아내어, Clip Gauge를 설치하여 피로실험중 균열폭의 진전을 파악하도록 하였다. 데이터 처리는 휨 시험체와 동일하다.

4.3 피로실험 결과

휨시험체의 피로실험에서 모든 무보강시험체는 최초로 모든 균열이 비슷하게 발전하는 휨 거동을 보이다가 반복횟수가 증가하면 이중 하나의 균열이 다른 균열에 비하여 뚜렷이 그 폭과 길이가 커지게 되며, 이에 따라 처짐이 빠른 속도로 증가한다. 그리고 파괴된 모든 시험체의 주철근은 파단되었다. 보강 시험체의 균열양상은 정적실험과 마찬가지로 사인장형태의 균열양상을 보이다가 파괴직전에 '중앙부의 균열이 발전하면서 시험체와 유리섬유 부착면간에 계면파괴와 함께 파괴되었다. 반복횟수에 있

어서는 대체로 반복하중이 작을수록 반복횟수의 증가가 크다. 시험체의 파괴시 유리섬유와 부착면간의 계면파괴이므로 유리섬유 자체의 피로강도와는 무관하다고 판단된다. 전단 시험체의 무보강시험체(SSWO)에 대한 파괴양상은 지점과 재하점을 연결하는 사인장 균열선이 주균열선으로 되어 파괴되는 bonding 파괴와 전단철근의 항복과 아울러 콘크리트 압축부가 파괴되는 사인장파괴의 형태를 나타내었다. 전단철근 항복시 파단단면은 전형적인 피로파괴의 양상을 보여주었다. 보강시험체의 균열양상은 정적과 비슷한 균열양상을 보였으며 균열이 발전하면서 주철근의 파단 및 압축부 콘크리트의 파괴형태로 이루어졌다

표 4.1 시험체의 피로실험 결과

시험체명	시험체명	P_{max}/P_v	P_{max}	P_{min}	재하횟수
휨RC보	BFWO65	0.65	15.80	2.43	1,000,000(→)
	BFWO75	0.75	18.23		610,000
	BFWO85	0.85	20.66		225,000
	BFWG85	0.85	20.66		1,000,000(→)
	BFWG95	0.95	23.09		764,000
	BFWG105	1.05	25.52		389,000
전단RC보	SFWO75	0.75	25.5	3.4	1,000,000(→)
	SFWO80	0.80	27.2		837,740
	SFWO85	0.85	28.9		84,340
	SFWG90	0.90	30.6		1,000,000(→)
	SFWG95	0.95	32.3		516,260
	SFWG100	1.00	34.0		344,320

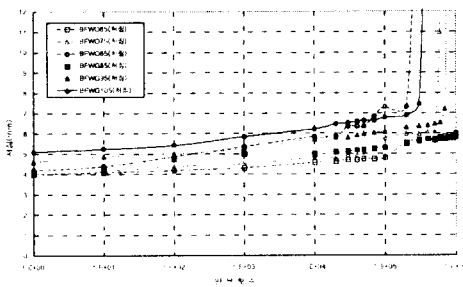


그림 4.1 휨RC보 처짐 비교곡선

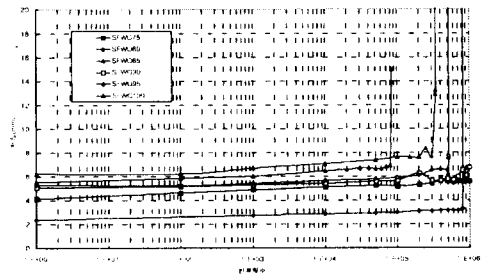


그림 4.2 전단RC보 처짐 비교곡선

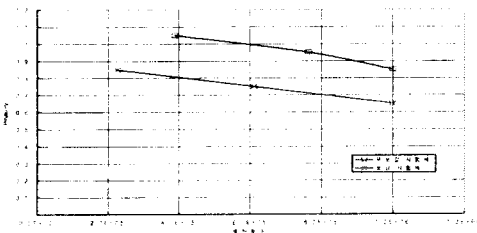


그림 4.3 휨RC보 S-N 곡선

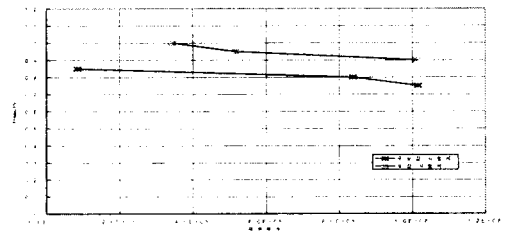


그림 4.4 전단RC보 S-N 곡선

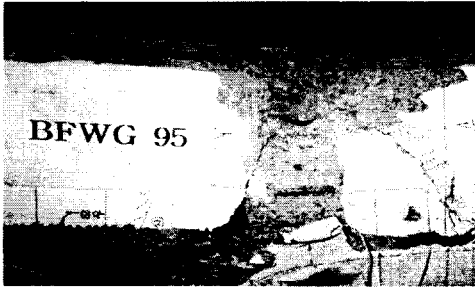


사진 4.1 휨RC보(BFWG95) 파괴모습

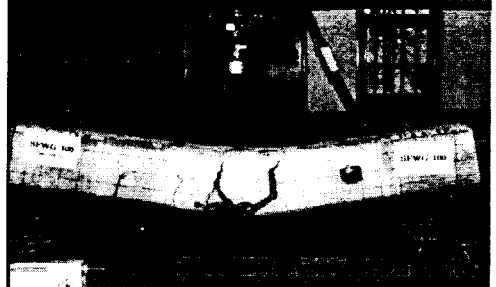


사진 4.2 전단RC보(SFWG100) 파괴모습

5. 결 론

유리섬유 보강시험체는 전반적으로 내력증가 및 향상된 균열특성을 볼 수 있었다. 보강시험체의 항복하중은 휨 시험체의 경우 무보강보다 13% 증가하였고, 파괴하중 비교시 약 26% 증가 하였다. 전단 시험체는 무보강보다 약 8%증가하였고, 극한하중 비교시는 약 34% 정도의 보강효과를 보였다.

유리섬유보강으로서 중앙의 휨 및 전단균열을 억제할 수 있으며, 정적실험과 피로실험 모두 효과가 뚜렷이 나타났다. 피로실험중 파괴될때까지 계면파괴의 현상은 거의 발생하지 않아 앵커링의 효과가 있음을 알 수 있었다. 유리섬유의 보강은 부재의 연성이 크게 요구되거나 반복하중을 받는 구조물에 상당히 큰 효과가 있다고 판단되었다.

6. 감사의 글

본 연구는 건설교통부(과제번호 R&D/96-0038)의 지원을 받아 수행되었으며, 시험체 제작에 풍림본드(주)에서 지원을 받아 수행되었다.

7. 참고문헌

1. 연규석, 정영수, 한만엽, 이종열, "철근 콘크리트 구조물의 보수 공법연구(I) -보수재료 및 공법-" 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제7권, 제1호, 1995년 5월, pp212~218.
2. 심중성, 홍영균, 황의성 "철근 콘크리트 구조물의 보수 공법연구(III) -정·동적 휨특성 연구-" 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제7권, 제1호, 1995년 5월, pp225~230.
3. Michael J. Chajes, Ted F. Januszka, Dennis R. Mertz, Theodore A. Thomson, Jr., and William W.Finch, Jr., "Shear Strenghtening of Reinforced Concrete Beams Using Externally Applied Composite Fabrics", ACI Structural Journal, May-June 1995, pp, 295~303
4. Ghazi J. AL-Sulaimani, A Shatif, I. A. Basunbul, M. H Blauch, and B. N. Ghaleb "Shear Repair for Reinforced Concrete by Fiberglass Bonding", ACI Structural Journal, July-Aug.. 1994, pp, 458~464
5. Phillip A.Ritchie, David A.thomas, Le-Wu Lu, Guy M.Connelly, "External Reinforcement of Concrete Beam Using Fiber Reinforced Plastics", ACI Structural Journal, July-Aug.. 1991, pp, 490~500