

# TYFO 유리섬유로 보강된 노후교량 상판에 대한 정적실험

## Static Test on Aged RC Bridge Slabs Strengthened With TYFO Glassfibers

송 재 필<sup>\*</sup> 김 철 우<sup>\*\*</sup> 김 기 봉<sup>\*\*\*</sup> 정 영 수<sup>\*\*\*</sup> 이 광 명<sup>\*\*\*\*</sup>  
Song, Jae-Pil Kim, Chul-Woo Kim, Ki-Bong Chung, Young-Soo Lee, Kawng-Myong

### ABSTRACT

Recently, TYFO glassfibers have been used for strengthening in aged RC bridge slabs because of low material cost and easy repairing work. The purpose of this study is to experimentally and analytically investigate the effect of TYFO glassfibers for enhancing the capacity of aged RC bridge slabs. The result shows that yield and ultimate strength of RC slabs with TYFO are increased as 11~18% and 25~35% comparing with those for RC slabs without TYFO, respectively. Also, ductility of RC slabs strengthened with TYFO have been significantly increased. Further tests have been performing on aged RC bridge slabs strengthened with carbon fiber strips.

### 1. 서 론

R.C.(Reinforced Concrete) 교량은 설계 및 시공 당시의 결함으로 인한 구조내하력 부족, 시공시 품질관리의 미흡에 따른 콘크리트 재질의 결함 등과 교통량의 증가 및 수송차량의 대형화에 따른 교량 구조물의 성능저하 등으로 인하여 노후 된다. 노후하여 본래의 목적에 적합하지 않은 교량은 재건설하거나 보강하여 교량 본래의 구실을 할 수 있게 하여야 한다. 그러나 교량을 재건설하는 데는 많은 비용과 시간이 소요될 뿐 아니라 폐건설재료로 인한 환경공해를 유발하기도 한다. 그러므로 구조적으로 가능하다면 손상된 부재 또는 단면력이 부족한 부재를 보강하여 사용년수를 증가시키는 것이 바람직하리라 생각된다.

교량의 보강방법에는 콘크리트의 증·타설, 강판 보강 공법, 탄소섬유 슈트공법, Post-Tensioning 공법, 그리고 유리섬유(TYFO)보강공법 등이 있다. 유리섬유보강공법의 경우 유리 섬유자체가 대단히 가볍고 인장강도가 강과 거의 동등하거나 또는 소재에 따라 3~4배 이상의 높은 성질을 가지고 있어 강판 보강공법에 비하여 비용이 고가임에도 불구하고 최근에는 토목, 건축분야에 활용 범위가 점차 넓

- 1) \* 정회원, 중앙대학교 대학원 박사과정
- 2) \*\* 정회원, 중앙대학교 공과대학 강사
- 3) \*\*\* 정회원, 중앙대학교 건설대학 교수
- 4) \*\*\*\* 정회원, 성균관대학교 공과대학 교수

어지고 있다. 이에 본 연구에서는 유리섬유쉬트에 대한 부재 보강실험과 구조해석을 병행하여 유리섬유보강공법의 성능과 활용성을 평가하고자 한다.

## 2. 실내실험

### 2.1 실험 목적

철근콘크리트 구조물은 시공 후 사용 기간, 건조수축, 진동, 구조설계 시공상의 오류 및 과다하중으로 인해 균열이 발생하고 변형이 누적되어 구조물의 강도가 저하되어 보강할 필요성이 발생한다.

본 연구에서는 공용기간이 지난 R.C. Slab를 유리섬유로 보강하여 정적실험을 실시하여 보강 전·후 부재의 내하력 증가 정도와 시공성, 활용성에 대해 검토하려 한다.

### 2.2 실험체 계획 및 실험체 준비

#### 2.2.1 실험체 계획

본 실험에 사용될 RC Slab는 철거되는 합성형 교량의 슬래브 부분을 다이아몬드 커터를 이용하여 길이 240cm, 폭 160cm로 절단하여 사용하였다. 이미 20년 이상 사용된 교량의 슬래브를 실험체로 사용하므로써 실험체의 상태에 따른 편차가 증가되겠지만 노후한 RC 슬래브에 대한 유리섬유 보강 방법의 적용성을 보다 명확히 검증할 수 있으리라 생각된다. 실험에 사용될 R.C. Slab의 제원은 그림 1. 과 같다.

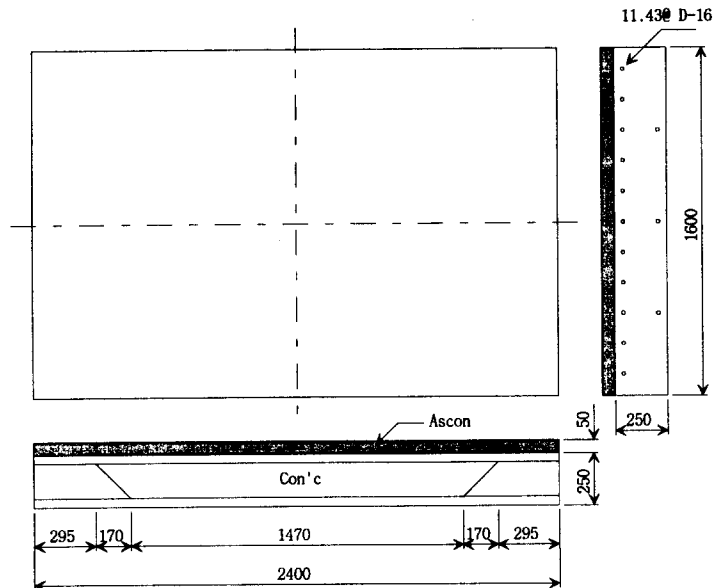


그림 1. 실험체 제원

## 2.2.2 실험체 재료 특성

### 가) 콘크리트 압축강도

실험체의 콘크리트 압축강도 측정을 위해 5개의 공시체를 추출하였다. 콘크리트 공시체는 코어 채취기를 이용하여 5개소에서 지름 10cm, 길이 20cm으로 취하여 압축강도를 측정하였다.

콘크리트의 압축강도 실험 결과는 다음 표 1과 같다.

### 나) 철근 인장강도

실험체에 사용된 철근이 인장강도 측정을 위해 손상을 많이 받지 않은 부분에서 길이 50cm 이상으로 5개의 실험체를 취하였다. 시험체를 UTM을 이용하여 인장강도를 측정하였다. 철근의 인장강도 실험 결과는 표 2와 같다.

표 1. 콘크리트 압축강도 실험 결과

공시체 번호	파괴하중(kg)	압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )
1	10200	129.92
2	12450	158.52
3	11250	143.24
4	10550	134.33
5	11700	148.97
평 균	11230.00	142.99

표 2. 철근 인장강도 실험 결과

공시체 번호	항복하중(kg)	항복응력(kg/cm <sup>2</sup> )
1	7950	4003
2	8320	4189
3	7820	3938
4	7700	3977
5	7709	3882
평 균	7899.80	3997.80

### 다) 유리섬유와 에폭시 접착제의 물리적 특성

보강에 사용된 유리섬유와 에폭시 접착제 그리고 유리섬유와 에폭시 접착제 합성체의 물리적 특성은 다음과 같다. 이는 업체에서 제공한 값이다.

표 3. 유리섬유(SEH 51)의 물리적 특성

특 성	평균값	최소값
면적당 무게 (kg/m <sup>2</sup> )	0.92	0.82
인장파괴강도 (kg) (건조시 1m폭 당)	71,000	63,000
공기침투율 (m <sup>3</sup> /min)	0.62	0.56

표 4. 에폭시 접착제의 물리적 특성

특성	열처짐 온도 (HDT)	인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	인장계수 (kg/cm <sup>2</sup> )	신장율 (%)	휨강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	비중	유리변형 온도
값	76℃	735	32,000	4.8	1,250	1.1597	86.6℃

표 5. 유리섬유와 에폭시접착제 합성체의 물리적 특성

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

### 2.2.3 실험체 보강

실험체는 그림 2와 같이 휨에 충분히 저항 할 수 있도록 순수지간의 약 63%에 대해 유리섬유로 보강하였다. 유리섬유 보강은 보강면의 이물질 제거하고 함몰된 부위와 돌출된 부위를 평탄하게 마무리한 후 프라이머를 도포하고 그 위에 함침된 유리섬유를 접착하였다. 보강은 가장 경제적이고 효율이 좋은 보강 방법을 찾기 위해 그림 2와 같이 6가지 Type으로 보강하였다.

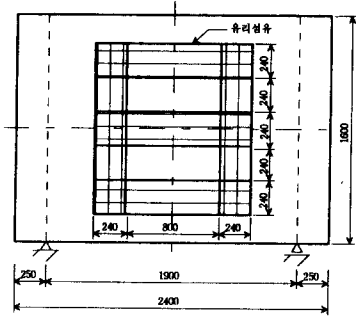


그림 2.(a) 보강 TYPE 1.

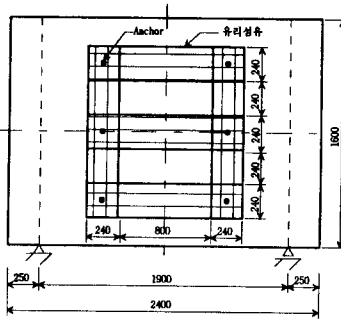


그림 2.(b) 보강 TYPE 2.

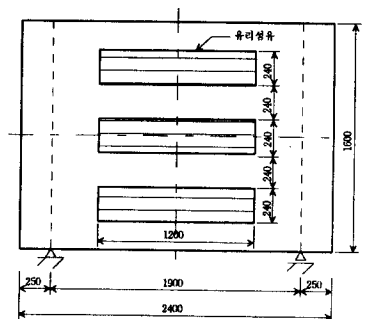


그림 2.(c) 보강 TYPE 3.

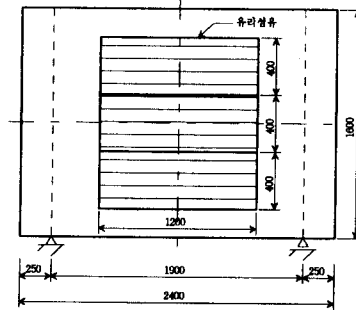


그림 2.(d) 보강 TYPE 4.

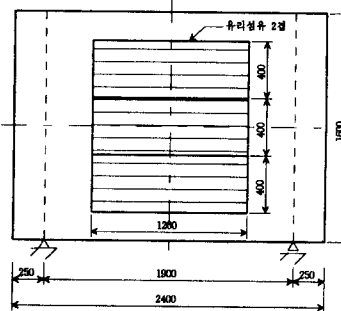


그림 2.(e) 보강 TYPE 5.(2ply)

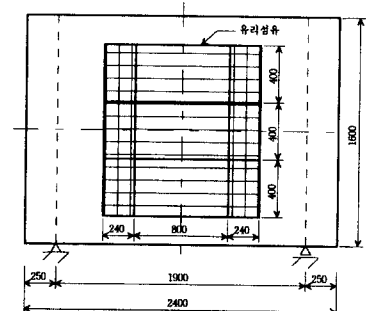


그림 2.(f) 보강 TYPE 6.

그림 2. 유리섬유 보강 TYPE

### 2.3 정적실험

정적 실험은 무보강 슬래브 2개, 보강 Type 1, 3, 4, 5, 6 각각 1개씩과 보강 Type 2. 2개의 총 9개의 실험체에 대하여 실시하였다.

재하블럭 위치에서 아스콘의 지압파괴를 방지하기 위해 재하블럭이 위치하는 곳의 아스콘은 제거하였으며 재하블럭은 대형차량 바퀴의 접지면적과 같게 20×20cm 정사각형 강판을 10cm 간격으로 제작하여 사용하였다.

측정장비는 상부에 콘크리트용 변형계(Strain Gage) 2개, 하부의 주철근에 Steel용 Strain Gege 2개 그리고 배력근에 2개의 Strain Gege를 설치하고 슬래브의 중앙지점에 1개, 가장자리에 1개의 변위계(Displacement Transducer)를 설치하였고, Oil Jack 하단에 1개의 하중계(Load Cell)을 설치하여 총 6개의 변형계와 2개의 변위계 그리고 1개의 하중계를 설치하였다.

각 하중단계 별로 탄성회복 정도를 측정하기 위해 재하 초기에는 10ton 단위로, 항복하중에 접근하여서는 5ton 단위로 하중을 재하하였다가 하중을 완전히 제거하고 탄성 회복되기를 기다린 후 다음

단계의 하중을 재하하였다. 하중은 실험체가 항복할 때까지 증가시켰다.

## 2.4 정적실험 결과

실험체를 금번 실험을 위해 설계·제작한 것이 아니고 이미 20년 이상 사용된 교량의 Slab를 절단하여 사용하였기 때문에 실험체 별로 어느 정도의 강도 편차가 발생하였다. 공시체 번호 S2WF2의 경우 공시체가 실험 시작하기 전에 이미 균열이 발생한 상태였고 상태가 극히 불량하여 다른 공시체와 비교하여 작은 하중에서 파괴되었다.

공시체의 편차가 있음에도 불구하고 유리섬유로 보강한 공시체의 항복하중이 무보강 공시체의 항복하중 보다 약 10~90% 증가됨을 알 수 있다. 특히 유리섬유를 2장 겹쳐서 보강한 S6WF5(보강 Type 5) 공시체의 경우 항복하중이 약 2배 증가하였다.

표 6. 정적실험 결과

보강 여부	보강 Type	실험체 명	항복하중(ton)	
			실험	구조해석
무보강	무보강	S1WO	40	34
	무보강	S2WO	40	34
TYFO 보강	Type 2	S1WF2	-	38
	Type 6	S2WF6	38	40
	Type 2	S3WF2	48	38
	Type 3	S4WF3	47	38
	Type 1	S5WF1	43	38
	Type 5	S6WF5	76	40
	Type 4	S7WF4	41	40

\* 공시체명 설정 방법

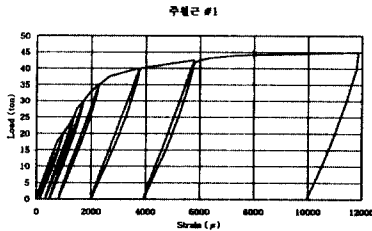
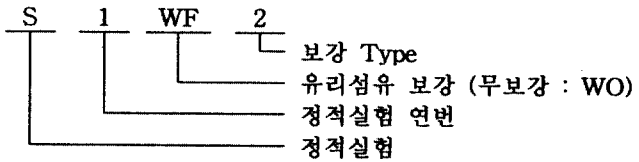


그림 3.(a) 주철근 하중-변형률 곡선

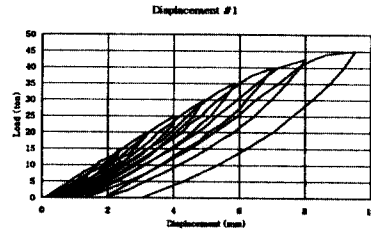


그림 3.(b) 하중-변위 곡선

그림 3. 무보강 실험체 실험 결과(S1WO)

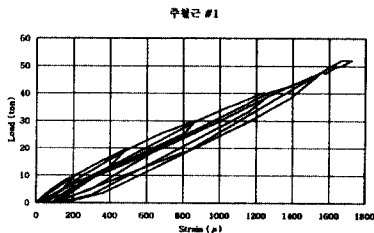


그림 4.(a) 주철근의 하중-변형률 곡선

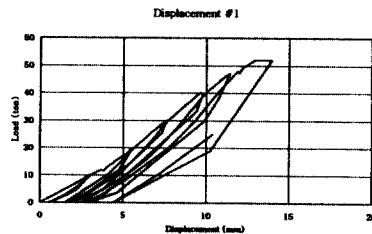


그림 4.(b) 하중-변위 곡선

그림 4. 유리섬유보강 실험체 실험 결과(S3WF2)

그리고 그림 3.과 그림 4.에 나타난 것과 같이 유리섬유로 보강한 공시체가 무보강 공시체보다 탄성 회복능력이 뛰어난 것을 알 수 있다.

## 2.5 R.C. Slab 유한요소해석

### 2.5.1 유한요소 모델링

모델링에 있어서는 슬래브가 길이 및 폭 방향으로 대칭이므로 그림 5와 같이 슬래브의 1/4만을 모델링 하였다. 하중재하는 집중하중으로 환산하여 같은 면적에 분포시켜 재하하였다. 구조해석은 무보강부재 그리고 Semi보강(Type 3), Full보강(Type 4)의 세가지 경우에 대해 실시하였다.

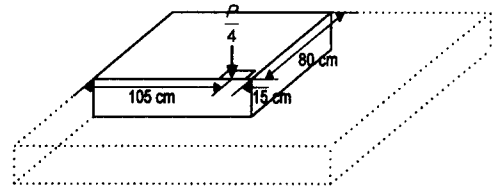


그림 5. 유한요소 모델링

### 2.5.2 유한요소해석 결과

해석결과 유리섬유 Semi보강과 Full보강 곡선에서 초기균열은 약 10 ton 정도에서 발생함을 알 수 있고 38 ton, 40 ton에서 각각 철근이 항복하며 처짐량은 무보강 부재와 비슷하게 나타났다. 극한하중에 있어서는 무보강 상태일 때 보다 큰 50 ton과 54 ton으로 나타났다.

이상의 해석결과를 분석하여 보면 유리섬유로 보강했을 때 유리섬유 자체의 탄성계수가 콘크리트의 탄성계수와 큰 차이가 없으므로 항복하중은 무보강부재에 비하여 크게 증가되지 않으나 유리섬유 자체의 인장강도가 크기 때문에 극한하중은 유리섬유의 양의 증가에 따라 크게 증가함을 알 수 있다.

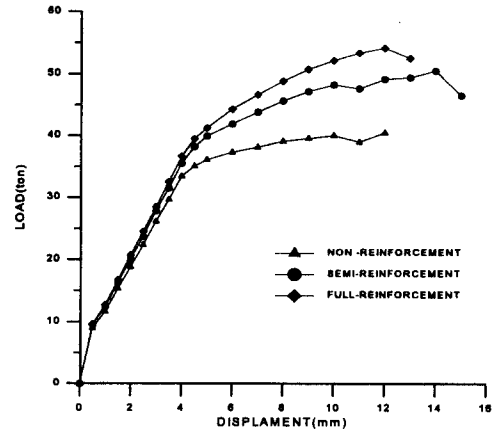


그림 6. 중앙하부의 하중-변위 곡선

## 3. 결 론

이상의 실험과 유한요소해석을 통하여 무보강 부재 보다 섬유보강 부재의 내력이 증가(항복강도는 약 11~18% 증가, 극한강도는 25~35% 증가)함을 확인할 수 있다. 특이한 사항은 항복강도의 증가보다는 항복후의 내력증가가 월등히 크게 나타나는 경향을 보인다는 것이다. 따라서 유리섬유보강은 부재의 연성을 크게 증가시키는데 매우 큰 효과가 있다고 사료되며 이는 지진 등과 같은 반복하중을 받거나 연성이 크게 요구되는 철근콘크리트 구조물에 매우 유용하게 사용할 수 있다고 판단된다.

### ◆ 감사의 글 ◆

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

### 참고문헌

1. Shigeyuki MATSUI, Ahmed EL-HAKIM, "RC床版のひびわれの開閉量による輪荷重の測定にする研究" 日本構造工學論文集, Vol. 35A, 1989, pp. 407~418
2. 日本土木學會, "土木構造實驗", 日本土木學會, 1979

표 7. 해석결과

보강구분	하중 종류 (ton)			파괴모드	
	균열 하중	항복 하중	극한 하중		
무 보 강	9	34	40	인장파괴	
보 강	Semi 보 강	10	38	50	전단파괴
	Full 보 강	10	40	54	압축-전단파괴