

# TYFO 유리섬유로 보강된 노후교량 상판에 대한 피로실험

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

정 인 근 \*    김 철 우 \*\*    김 기 봉 \*\*\*    정 영 수 \*\*\*\*  
Jung, In-Keun    Kim, Chul-Woo    Kim, Ki-Bong    Chung, Young-Soo

---

### ABSTARCT

Futher to static test on aged RC bridge slabs strengthened with TYFO glassfibers, fatigue tests have been done on aged RC bridge slabs with and without glassfibers. It can be seen from the test that fatigue behaviours of aged RC bridge slabs stiffened with TYFO glassfibers have been by and large improved comparing with those of aged RC bridge slabs without TYFO, but fatigue failure modes have not been changed become of bonding failure between tensile reinforcements and concrete. It is in particullar noted from the test that bonding failure between concrete surface and TYFO have been observed. Further tests are strongly necessiated to develop appropriate anchoring method for improving fatigue life of aged RC bridge slabs strengthened with TYFO glassfibers.

---

#### 1. 서 론

철근콘크리트 구조물은 시공 후 사용 기간, 건조수축, 진동, 구조설계 시공상의 오류 및 과다하중으로 인해 균열이 발생하고 변형이 누적되어 구조물의 강도가 저하됨에 따라 보강의 필요성이 발생한다. 기존의 철근콘크리트 구조물 보강 방법으로는 에폭시 접착강판공법과 탄소섬유 접착공법이 널리 사용되고 있다. 에폭시 접착강판 공법과 탄소섬유 접착공법의 단점을 보완하여 나은 방법으로 유리섬유 접착공법이 있다.

- 
- 1) \* 정희원, 중앙대 대학원 석사과정
  - 2) \*\* 정희원 ,중앙대 토목공학과 강사,공학박사
  - 3) \*\*\* 정희원, 중앙대 토목공학과 교수, 공학박사
  - 4) \*\*\*\* 정희원, 중앙대 토목공학과 교수, 공학박사

유리섬유는 탄소섬유의 장점인 높은 탄성계수와 인장강도를 가지고 있으며, 충격에 대한 저항성, 연성, 내부식성 그리고 경제성 등의 장점을 가지고 있다. 그러나 국내에서는 아직까지 유리섬유 쉬트를 이용해 보강한 구조체의 거동에 대한 연구가 미진한 편이다.

따라서, 본 연구에서는 유리섬유로 보강한 RC Slab에 피로실험을 실시함으로 보강 전·후 구조물의 피로에 대한 저항성 증가에 대하여 검토하고자 한다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 실험체 계획

본 실험에서 사용될 RC Slab는 철거되는 합성형 교량의 슬래브 부분을 길이 240 cm, 폭 160 cm로 절단하여 사용하였다. 이미 20년 이상 사용된 교량의 슬래브를 실험 체로 사용하므로 노후한 RC슬래브에 대한 유리섬유 보강 방법의 적용 성을 보다 명확히 검증할 수 있으리라 생각된다.

### 2.2 실험체 재료특성

#### 1) 콘크리트 압축강도

코어 채취기를 이용하여 5개소에서 지름 10 cm, 길이 20 cm이상으로 공시체를 취하여 20 cm의 길이로 절단한 후 탭핑하여 UTM(Universal Testing Machine)으로 압축강도를 측정하였으며, 이 결과는 아래 표 1과 같다

표 1. 콘크리트 압축강도 실험 결과

공시체 번호	파괴하중 (kg)	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	비 고
1	10,200	129.92	
2	12,450	158.52	
3	11,250	143.24	
4	10,550	134.33	
5	11,700	148.97	
평균	11,230.00	142.99	

#### 2) 철근 인장강도

손상을 많이 받지 않은 부분에서 길이 50 cm이상으로 5개의 실험체를 취하여 UTM을 이용하여 철근의 인장강도를 측정하였으며, 이 결과는 아래 표 2와 같다.

표 2. 철근 인장강도 실험 결과

공시체 번호	공칭단면적 (cm <sup>2</sup> )	항복하중 (kg)	항복응력 (kg/cm <sup>2</sup> )	비 고
1	1.986	7,950	4,003	
2	1.986	8,320	4,189	
3	1.986	7,820	3,938	
4	1.986	7,700	3,977	
5	1.986	7,709	3,882	
평균	1.986	7,899.80	3,997.80	

### 3) 유리섬유와 에폭시의 물리적 특성

보강에 사용된 유리섬유와 에폭시 접착제의 물리적 특성은 다음과 같다.

#### (1) 유리섬유

##### ① 섬유(yarn)

표 3. 유리섬유(yarn)의 물리적 특성

종 류	E-glass	Kevlar	시험기준
밀 도	2.54	1.44	ASTM D 792
인장강도( $kg/cm^2$ )	31,000	28,000	STM 13
인장계수( $kg/cm^2$ )	735,000	1,190,000	STM 13
신장률(%)	4.2	2.5	STM 13

※STM : Seguin Test Method

##### ② 직물(Fabric : SEH51)

표 4. 유리섬유 직물(SEH51)의 물리적 특성

특 성	평균값	최소값	시험기준
면적당 무게( $kg/m^2$ )	092	0.82	STM 18
인장파괴강도( $kg$ ) (건조시 1 m폭 당)	71,000	63,000	STM 18
공기침투율( $m^3/min$ )	0.62	0.56	STM 18

### 2.3 실험체 보강

실험체는 휨에 충분히 저항하면서 경제적이며 효율적인 방법을 찾기 위해 순수지간의 약 63%에 대하여 아래 그림 1과 같이 보강하였다.

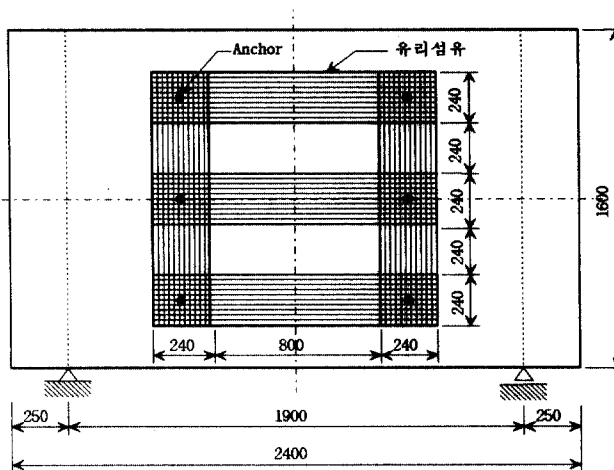


그림 1. 유리섬유 보강도면(TYPE 2)

여기서, 유리섬유와 콘크리트 면의 완전한 접착을 위해 콘크리트 표면의 열화층, 이물질등을 샌드블러스팅 또는 디스크샌더로 제거하고, 콘크리트면 의 돌출부위는 R=40이상의 곡선이 되도록 그라인딩하여 유리섬유 시공 후 기포가 발생하지 않도록 하였다.

표면처리 후 국부적인 불량 부분, 함몰 부분 특히 철근에 strain gage부착을 위해 파손한 부분 등에 대해서는 콘크리트와 동등 또는 그 이상의 강도가 있는 시멘트 몰탈, 에폭시 레진몰탈 등을 이용하여 복구하였고, 이 때 복구면과 콘크리트 면과의 단 차는 1 mm이내로 하였다.

표면처리가 완료된 콘크리트 표면은 이물질들을 제거하고 완전히 건조시킨 후, 에폭시를 상온(10~35°C), 상대습도 85%이하에서 type A와 type B를 체적비 100 : 42의 비율로 정확히 혼합하여 도포하였다. 복합재의 시공에 앞서 프라이머를 기계식 믹서를 사용 혼합후 도포 하였다.

콘크리트면과 TYFO접착시 중량으로 인해 처짐이 발생할 수 있는 하부면 측면은 프라이머와 섬유앵커를 이용하여 불완전한 접착면이 없도록 하였다.

유리섬유는 소요 치수에 맞게 절단한 후 침윤기를 이용하여 경화제에 침윤시킨다. 침윤된 유리섬유를 접착제가 도포된 콘크리트 면에 유리섬유 방향이 보강방향에 1/25이상 비둘어지지 않게 접착하는데, 이때 유리섬유와 콘크리트 사이 또는 유리섬유와 유리섬유간 기포는 기포 하나의 최대면적이 6 cm<sup>2</sup>이하, 기포의 총 면적은 유리섬유 총 면적의 1%이하가 되게 하여야 한다.

상온에서 7일 이상 실험체를 양생하여 에폭시 접착제의 성능이 충분히 발휘될 수 있도록 하였다.

## 2.4. 피로 실험

피로실험은 무보강 실험체 3기와 그림 1과 같은 TYFO로 보강한 실험체 3기에 대해 실시하였다.

### 2.4.1 실험체의 설치

재하시 균열상태를 보다 명확히 보기 위해 슬래브의 측면과 바닥 면에 흰색 수성페인트를 칠하고 5 cm간격으로 격자 줄을 그어 균열의 위치를 쉽게 파악할 수 있도록 하였다. 그리고 20×20 cm 정사각형 강판 2개를 20 cm간격으로 용접해 제작한 재하 블록을 사용하였는데, 이때 재하 블록 위치에서 아스콘의 지압파괴를 방지하기 위해 재하 블록이 위치하는 곳의 아스콘은 제거하였다.

가력은 컴퓨터로 제어되는 정격하중 50 t의 Actuator를 Strong Frame에 설치하여 재하하였다.

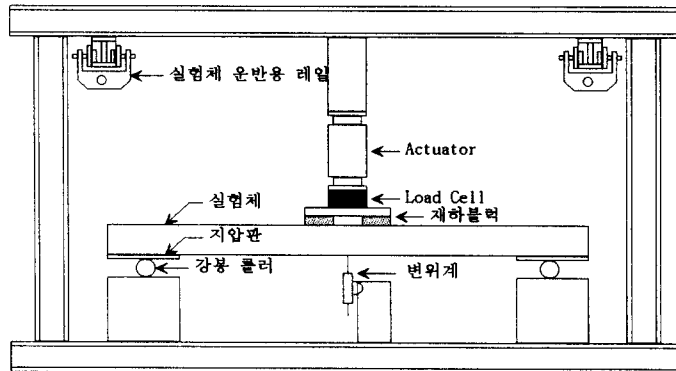


그림 2. 재하장치도

## 2.4.2 측정 방법

측정장치는 실험체 상부에 콘크리트용 변형계(Strain Gage), 하부의 주철근에 Steel용 변형계, 그리고 배력근에 Steel용 변형계를 보다 정확한 측정값과 Gage의 손상에 대비하여 각각 2개씩 설치하고, 슬래브의 중앙지점과 가장자리에 각각 1개씩의 변위계(Displacement Transducer)를 설치하여 총 6개의 변형계와 2개의 변위계를 설치하였다. 재하되는 하중의 크기는 Actuator 자체에 설치된 Load Cell에 의해 Actuator Control PC에 기록되게 된다. 모든 측정장치들은 TDS-601에 연결하여 20초에서 2분 30초 간격으로 자동으로 측정하였고, Actuator Controller에서는 60회에서 600회에 1회씩 하중-변위 곡선을 저장하였다.

## 2.4.3 가력 방법

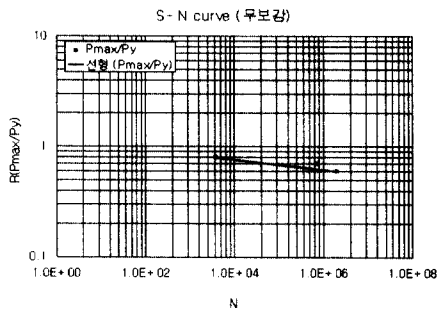
피로실험에서 재하하는 하중 mode는 sine파로 하였으며 초당 2회의 재하 cycle로 최대 하중은 공시체 항복하중의 60%, 70%, 80%로, 최소하중은 최대하중의 10%로 하였다.

## 2.5 실험 결과

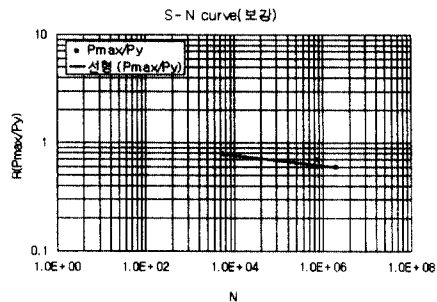
아래 표 5과 그림 3에서와 같이 실제 교량에서 20년 이상 사용한 슬래브를 실험 체로 사용하여 실험체마다 상태가 달라 예상과는 다른 결과가 발생하기도 하였으나, 전체적으로 유리섬유로 보강한 실험체의 재하횟수가 무보강 실험체보다 약간 증가하였다.

표 5. RC Slab 피로실험 결과

보강 여부	실험체 명	$P_{max}/P_y$	$P_{max}$	$P_{min}$	재하횟수	비 고
무보강	F1WO	0.6	26	2.6	2,000,000	
	F2WO	0.7	30	3.0	690,000	
	F3WO	0.8	34	3.4	3,827	
TYFO 보강 (Type II)	F1WF2	0.6	30	3.0	2,000,000	
	F2WF2	0.7	34	3.4	720,000	
	F3WF2	0.8	38	3.8	5,280	



a) 무보강 시험체



b) 보강 시험체

그림 3. 피로실험 결과(S-N 곡선)

### 3. 결론 및 추후연구과제

본 연구는 유리섬유 보강 R.C. 슬래브의 피로 성향을 조사하기 위하여 공용기간이 이미 경과한 상판의 상판을 시험체로 하여 피로 테스트를 실시하였다. 노후 교량상판에 대한 성능개선을 감안하여 무보강시험체에 비하여 보강시험체에 대해서는 증가된 피로하중에 대한 피로실험을 수행한 바 피로수명은 현저히 증가하는 현상은 발견할 수 없었다. 그러나, 보수 차원의 피로수명은 증가하리라 판단된다. 피로실험 수행시 인장철근과 콘크리트의 부착파괴가 지배하여 보강 및 무보강 시험체의 피로파괴 양상은 모두 유사하였고, 보강 슬래브의 경우 콘크리트 표면과 유리섬유 사이의 접착부분에서 계면 파괴가 발생되어 구조물 전체의 피로 파괴에 도달함을 보여주었다. 따라서, 보강 부위의 Anchoring 혹은 보강 단면적을 넓게 하면 계면 파괴를 어느 정도 구속하여 피로 한도의 증대를 가져올수 있다고 사료되고 이는 추후 연구가 필요하다고 판단된다.

#### 감사의 글

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

#### 참 고 문 헌

1. 太田 實 : 床版の破損と對策, 橋梁と基礎, 4卷10号, 1970年 10月
2. 前田幸雄, 松井シゲユキ : 鐵筋松井コンクリートスラブの疲勞實驗報告書, 財團法人災害科學研究所, 1984年3月
3. 松井シゲユキ : 道路橋コンクリート系床版の疲勞と設計法に関する研究, 大阪大學學位論文, 1984年11月