

정적하중과 사용하중하에서 유리 섬유로 보강된 교량 바닥판의 거동특성에 대한 비교

Behavior Characteristics Comparison of Bridge Decks Strengthened with Glass Fiber Sheets On the Static Load and Service Load

심 종 성* 오 홍 섭** 류 승 무*** 김 영 호***
Sim, Jong Sung Oh, Hong Seob Ryu, Seung Moo Kim, Young Ho

ABSTRACT

The concrete bridge decks are in need of replacement and rehabilitation due to decreasing load carrying capacity. In this study, to extend life cycle of the concrete bridge decks which are reinforced with the glass fiber sheets, the concrete bridge decks are examined on the strengthen effect and the fatigue behavior. The behavior of strengthened slabs is represented by load-displacement relationship, variation of compliance and total released energy. Owing to result of that, the strengthened slabs is modified the elasticity, the compliance and represents to control the crack elongation, to elevate the total released energy, to modify the fatigue life. When the concrete bridge deck is strengthened, the crack propagation may be controlled efficiently.

1. 서론

60, 70년대 2차 산업의 발전과 함께 건설된 기반시설물 중 특히 교량의 경우, 급속한 경제성장과 함께 기하급수적으로 증가된 교통량을 수용하지 못하여 내구성 및 사용성에 한계를 드러내고 있다. 이에 따라 시공 연한이 20~30년 지난 노후화 교량들에 대한 보수·보강의 필요성이 대두되기 시작하였다. 특히 교량 바닥판에 대한 보강 연구가 진행되어 왔으며, 정영수⁽⁵⁾ 등은 슬래브 교량을 시험체로 사용하여 노후화된 RC 바닥판에 대한 구조거동을 분석하였다. 그러나 이들 연구의 대부분은 정적구조시험의 결과로서, 실제 교량 상판의 구조거동을 모사했다고 볼 수 없다. 즉, 실제 교량상판은 동적 반복하중에 의해 손상 및 열화가 누적되는 부재다. 따라서 이를 보강한 경우에 대한 연구는 피로시험을 통해 실제적인 구조거동의 분석이 수행되어야 한다.

본 연구에서는 철근 콘크리트 슬래브의 성능향상을 위하여 Glass Fiber Sheets(이하 GFS라 함)로

* 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 교수

** 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 박사후과정

*** 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 석사과정

보강하고 보강된 교량 바닥판의 보강효과 및 거동을 분석한 후 검정하였다. 즉, 하중-변위 관계와 컴플라이언스 변화, 에너지 소산 정도 등을 시험체별로 고찰하였다.

2. 실험 방법

2.1 시험변수 및 제원

본 연구에서는 사용하중 재하시의 피로거동을 모델링하기 위하여 보강 시험체와 무보강 시험체에 대한 정적구조성능시험의 결과를 이용하였다.⁽⁴⁾ 무보강에 대한 기준 시험체(이하 CON이라 함)와 보강에 대한 기준 시험체(이하 GF-I이라 함)에 파괴하중의 크기를 고려하여 재하 하중을 선정하였다. 교량 바닥판에 대한 통과하중은 동일하므로 무보강 시험체와 보강 시험체의 반복하중의 크기를 유사하게 선정하였으며 그 때의 하중 크기는 무보강 시험체의 경우 40, 70%이며, 보강 시험체는 40, 60%로 선정하였다. 무보강 시험체와 보강 시험체에 선정된 반복하중의 크기는 다음 표1과 같다. 실험에 사용한 콘크리트는 설계강도가 240kg/cm²으로 설계된 레미콘제품을 사용하였으며, 슬럼프값은 12cm로 측정되었다. 사용된 철근은 항복응력이 3000kg/cm²인 D16 철근이다.

표 1 시험체의 실험변수

	시험체명	반복재하하중(tonf)	비고
무보강 시험체	CON40	26	파괴하중(64tonf)의 40%
	CON70	45	파괴하중(64tonf)의 70%
보강 시험체	GFS40	28	파괴하중(70tonf)의 40%
	GFS60	42	파괴하중(70tonf)의 60%

제작된 시험체는 도로교 구조설계기준에 준하여 현재 시공중이거나 공용중인 교량과 유사하게 설계, 제작하였다. 바닥판의 두께는 DB-18 설계 2등급 교량 바닥판과 동일하도록 18cm로 제작하였으며, 폭과 길이는 각각 200cm와 240cm로 제작하였다. 또한 주철근은 인장측 및 압축측에 각각 D16@100과 D16@200을 배근하였다. 보강재 부착방법은 주 철근비와 동일한 값의 GFS 보강비를 사용하여 직교 등방성으로 보강하였다. 그림 1과 2는 시험체의 제원 및 보강방법이다.

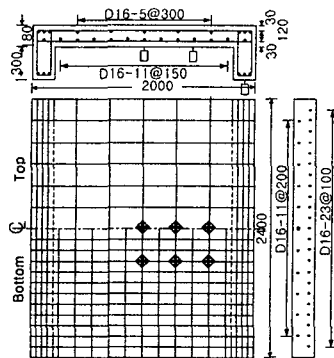


그림 1 시험체의 제원 (단위 : mm)

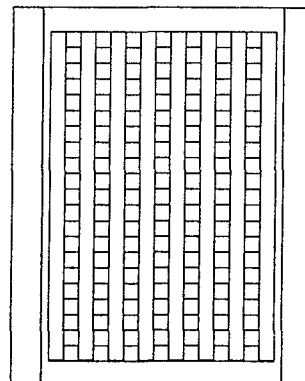


그림 2 시험체 보강방법

2.2 재하 및 측정방법

시험체의 반복하중은 MTS사의 100tonf용량의 actuator를 이용하여 가력하였으며, 중차량 후륜의 접지면적과 동일한 크기인 25×50cm의 강판을 가력판으로 사용하였다. 하중재하속도는 2Hz로 일정하게 재하하였다. 그림 1과 같이 시험체의 변위 측정을 위하여 4개의 지점에 변위계(LVDT)를 설치하였고, 변형을 측정계이지를 설치하였다. 변위계와 변형을 측정계이지의 측정값들을 TDS-601을 이용하여 획득하였다.

3 시험결과

3.1 하중-변위 관계

무보강 시험체와 보강 시험체의 하중-변위 관계가 그림 3, 4과 같다. 각각의 시험체에 대한 하중별 하중-변위 관계는 초기 재하때에 큰 폭의 변위가 발생하면서 반복횟수가 증가 할수록 최대변위 및 영

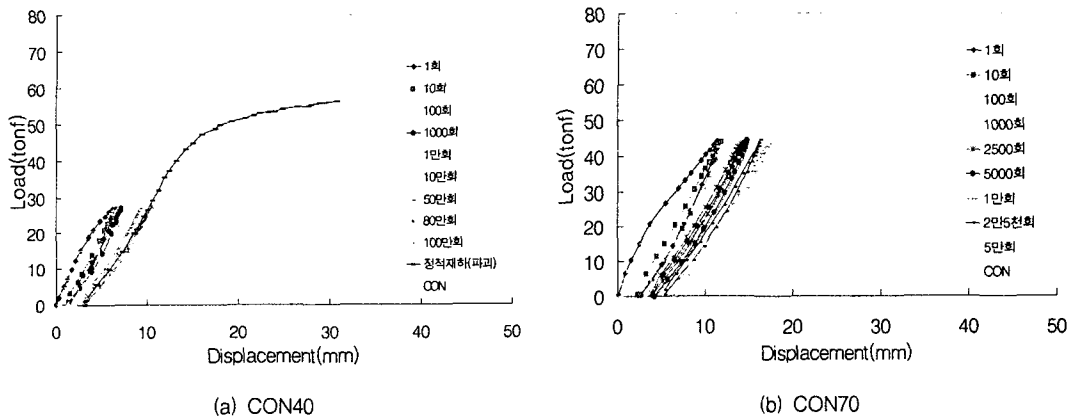


그림 3 무보강 시험체의 하중-변위 관계

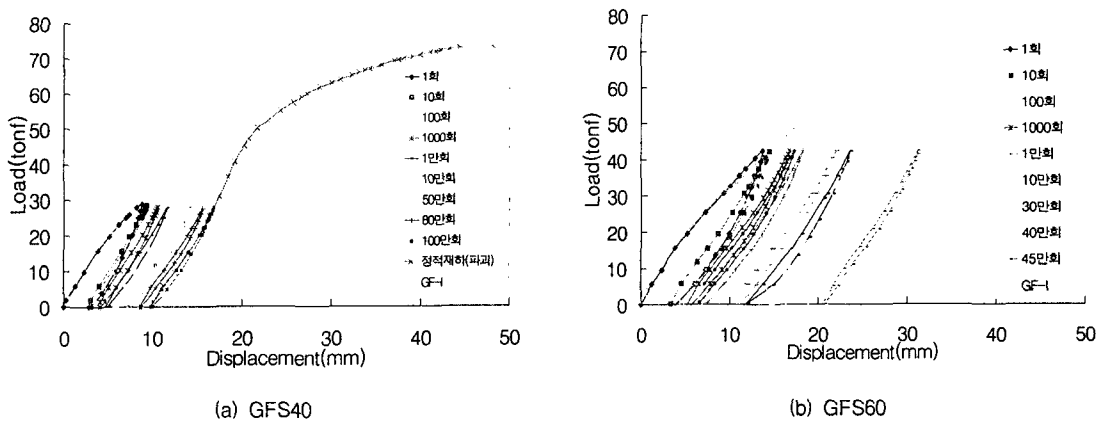
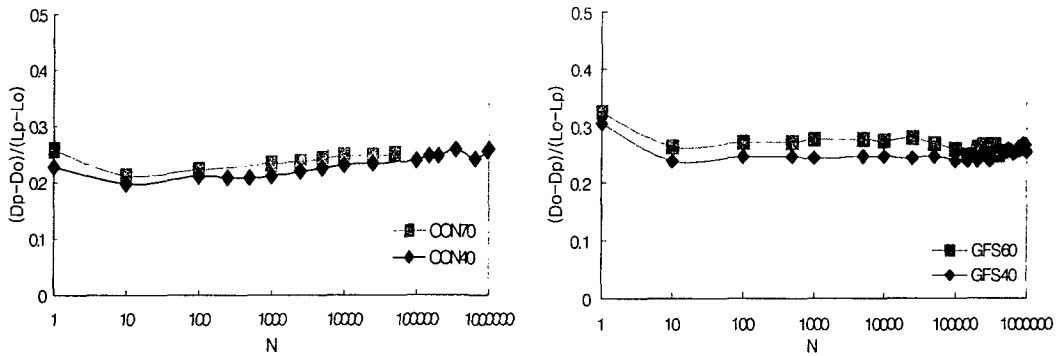


그림 4 보강 시험체의 하중-변위 관계

구 변위가 점차로 증가하는 양상을 보였다. 초기 재하시 무보강 시험체의 최대 변위는 6~11mm 이지 만 보강 시험체의 최대 변위는 8~17mm로 나타났다. 또한, 파괴시의 변위도 보강 시험체가 더 큰 것 으로 나타났다. 정적 거동과 비교해 볼 때 무보강 시험체의 경우는 정적 거동과 비슷한 변위로 파괴되 는 양상을 보였으나, 보강 시험체는 정적 거동과의 변위보다 증가하면서 충분한 연성을 확보하면서 파 괴 하중이 커지는 것을 알 수 있다.

3.2 반복횟수에 따른 컴플라이언스(Compliance) 변화

그림 5는 시험체별 컴플라이언스 변화를 나타낸 것이다. 컴플라이언스는 “균열의 존재에 의하여 시 험편 전체의 변형이 증가한다.”는 가정으로 정의된다.(Bazant, 1998) 균열을 갖는 단위 두께의 2차원 시험편에 있어서 하중 f 와 하중점의 변위 u 사이의 관계는 균열의 유무에 관계없이 고체원자의 응집력 에 기인하는 탄성적 성질을 표시하는 후크의 법칙을 따른다. 즉, $f=ku$ 라는 식이 성립된다. 컴플라이언 스는 균열을 갖는 시험편에 대하여 정의되는 양으로 균열길이의 함수, 스프링계수의 역수라고 한다. 무보강 시험체의 컴플라이언스 변화는 반복횟수가 10회 때에는 감소하다가 일정하게 증가하면서 수렴 하는 것을 알 수 있고, 보강 시험체는 10회 때 큰폭으로 감소하다가 무보강 시험체와는 달리 일정하게 감소하면서 수렴하는 것으로 나타났다. 이것은 보강재가 반복회수가 증가할수록 교량 바닥판의 균열 진전을 억제하는 것으로 나타났다. 반복 하중 회수가 적은 시험체가 컴플라이언스 변화에 다소 작은 것으로 나타났으며, 무보강시험체가 보강 시험체 보다 작게 나타나는 것을 알 수 있다. 보강시험체의 균열은 컴플라이언스 변화로부터 초기에는 균열이 커지다가 보강재로 인하여 균열의 신장을 억제하는 것으로 알 수 있다.



(a) 무보강 시험체 (b) 보강 시험체

그림 5 시험체별 컴플라이언스 변화

3.3 반복회수에 따른 에너지 소산정도

그림 9는 반복회수에 따른 P- Δ 곡선상의 G값을 구하여 반복회수의 증가에 따른 에너지 소산량을 나타낸 것이다. 여기서 G값은 그림 8에서와 같이 하중-변위관계에서의 영역을 적분한 값이다. G값이 높으면 시험체에 대한 에너지 소산량이 크다는 것을 의미하며 시험체에 대한 강도가 그 크기만큼 떨

어진다. 이것을 포함한다. 보강 시험체가 무보강 시험체에 비해 많은 양의 에너지를 갖고 있다는 것을 알 수 있다. 이것은 보강 시험체의 보강재가 교량 바닥판의 강성 및 내구성을 향상 시켜 준다는 것을 알 수 있고, 약 70%의 에너지 소산 능력을 향상 시킨다는 것을 알 수 있다. CON40과 GFS40 시험체는 100만회의 반복하중을 가한 후 정적 파괴시에 남아 있는 에너지를 소산하면서 파괴되는 것을 알 수 있다. 동일한 하중 조건으로 무보강 시험체와 보강 시험체와 비교해 볼 때 무보강 시험체가 100%의 에너지 소산량을 갖고 있다면, 보강 시험체는 100%이상의 에너지를 가지고 있다고 말할 수 있다.

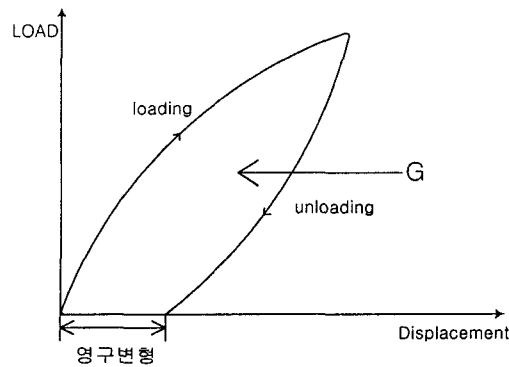


그림 6 에너지소산량(G)의 정의

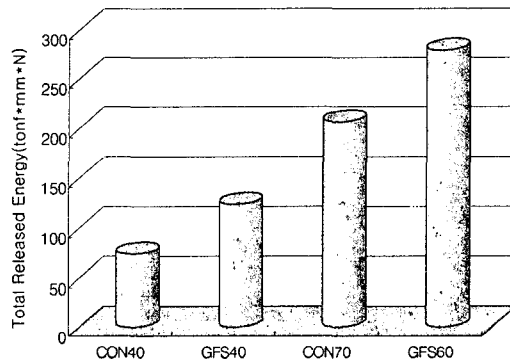


그림 7 시험체별 에너지 소산량

4. 결론

본 연구에서 성능 향상된 교량 바닥판의 구조성능향상을 검증하기 위하여 GFS로 보강된 슬래브의 피로 거동에 대한 자료를 제시하기 위하여, 무보강 및 보강 시험체를 제작하여 피로 실험을 수행하였으며, 하중-변위관계, 컴플라이언스 변화, 에너지 소산정도등 고찰하였다.

하중-변위관계에서 무보강 시험체는 정적 시험체와 유사한 거동을 보였으나, 보강 시험체는 일정한 변위로 증가하면서 파괴하중이 커지는 것을 알 수 있다.

유리 섬유로 보강된 시험체는 반복 회수가 증가할수록 컴플라이언스가 증가하여 균열 신장을 억제하는 것으로 나타났다. 또는, 보강재가 시험체의 강성을 증가시켜 에너지 소산량을 높여 주고, 반복하중이 낮을수록 에너지 소산량이 낮아져 콘크리트 바닥판의 에너지가 충분히 남아 있다고 판단된다. 반복하중이 40%인 시험체들은 정적 파괴시의 에너지 소산량을 합산하면 모든 시험체의 소산량이 비슷하다는 것을 알 수 있다.

감사의 글

이 연구는 (주)콘크리닉에서 주관하는 “유리섬유 보강공법을 적용한 콘크리트 교량 바닥판의 정적 및 동적시험에 의한 성능향상 효과 분석”를 수행함으로써 얻어진 결과이며, 저자들은 (주)콘크리닉의 후원에 감사의 뜻을 전합니다.

참 고 문 헌

1. 심중성, “일방향 섬유로 성능향상된 교량 상판의 파괴거동 및 항복선 이론을 적용한 해석적 연구”, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 2001. pp.81-86
2. 김우, “유리섬유 보강패널로 보강된 철근콘크리트 슬래브의 구조거동에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 2000. pp.751-756
3. 심중성, “CFS로 성능향상된 교량상판의 피로거동특성”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회논문집, 2000. pp.701-704
4. 심중성, “콘크리트 교량 바닥판에 대한 보수·보강 공법의 효과분석”, 한국도로공사, 2000.
5. 정영수, 김기봉, 이광명 외 5명, “국도상 노후교량의 성능개선기법 개발에 관한 연구”, 건설교통부, 1997. 12.