

CFS로 성능향상된 교량상판의 피로거동특성

Fatigue Behavior of the Strengthened Bridge Deck with CFS

심 중 성*
Sim, Jongsung

오 흥 섭**
Oh, Hong-Seob

유 재 명***
Yu, Jae-Myung

ABSTRACT

Considerable research has been done to study the fatigue behavior of reinforced concrete bridge deck which is strengthened by carbon fiber sheets. Before the strengthening, the specimen was damaged by repeated loads with various repeat cycles. The results of this study show that strengthening efficiency is getting rised in the lower pre-damaged degree. When the fatigue damaged bridge-deck is strengthened, the crack propagation may be controlled efficiently.

1. 서 론

노후화된 교량상판의 성능향상을 위하여 보강판을 상판하부에 부착시키는 연구가 진행되어 왔다. 정란 등⁽²⁾은 시험체에 균열을 유발시킨 후 보강을 실시하였고 보강 시 하중재하 및 제거상태에서 보강을 실시하여 구조시험 하였다. 정영수 등⁽³⁾은 슬래브 교량을 시험체로 사용하여 노후화된 RC 상판에 대한 구조거동을 분석하였다. 그러나 이들 연구의 대부분이 정적구조시험의 결과이며 실제 교량상판의 구조거동을 모사했다고 볼 수 없다. 즉, 실제 교량상판은 동적 반복하중에 의해 손상 및 열화가 누적되는 부재이며 이를 보강한 경우에 대한 연구는 피로시험을 통한 구조거동 분석이 수행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 보강되지 않은 교량상판 시험체에 반복하중을 재하하여 손상을 입혔으며 이를 FRP로 보강하여 피로성능시험을 실시하였다.

2. 실 험

본 연구에서는 "피로거동 파악을 위한 성능향상된 교량상판의 사전피로손상의 고찰"에서 제시된바와 같이 계획된 반복재하횟수 내에서 교량상판시험체를 2 Hz로 단진재하하여 피로손상시켰고, 이를 참고문헌 1의 S1D2 및 S2D2 보강방법으로 보강하여 피로파괴시켰다. S1D2 및 S2D2 보강방법은 균열제어능력과 탄성회복능력 등이 뛰어난 것으로 나타났다⁽¹⁾. 시험체는 60-S1D2-40, 60-S2D2-50, 40-S1D2-70 그리고 40-S2D2-80이다. 여기서, '60-' 및 '40-'은 손상시 반복재하된 하중의 크기로서 보강되지 않은 상태의 배력철근항복하중에 대한 퍼센트 비율이고 '-40', '-50', '-70' 및 '-80'은 보강된 경우의 피로성능시험시 반복재하된 하중의 크기로서 각 보강방법으로 보강된 시험체의 배력철근항복하

* 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 교수(jssim@email.hanyang.ac.kr)

** 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정(hongseob@hotmail.com)

*** 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 석사과정

중에 대한 퍼센트 비율이다. S1D2는 주철근방향(S)에 대하여 CFS를 철근비로 환산하였을 경우 주철근의 철근비와 동일하도록(S1)하였고, 배력철근방향으로 상관하면 전체를 배력철근방향으로 보강하는 보강량의 50%만(D2)을 적용한 것이다. S2D2는 S1보강량의 50%만을 적용한 것이다. 보강시험체는 손상시험에서와 같이 2 H₂로 단진재하였다. 시험변수에 따른 보강시험체의 분류와 시험체의 형상 및 세원은 “피로거동 파악을 위한 성능향상된 교량상판의 사전피로손상의 고찰”에 표현된바 있다.

3. 실험결과

3.1 반복횟수에 따른 하중-슬래브중심변위 관계

그림 2는 반복횟수에 따른 시험체별 하중-슬래브중심변위 관계를 보강 전·후에 대하여 누적하여 나타낸 것이다. 손상시험 시 반복횟수가 적어 기 손상정도가 작았던 60-S2D2-50 시험체를 제외한 모든 시험체가 피로파괴 되었고, 60-S2D2-50 시험체는 75만회까지 반복재하후 정적하중을 재하하여 파괴시켰다. 이를 참고문헌 3에 나타난 S2D2 보강시험체의 정적시험결과와 비교한 결과 구조물 항복하

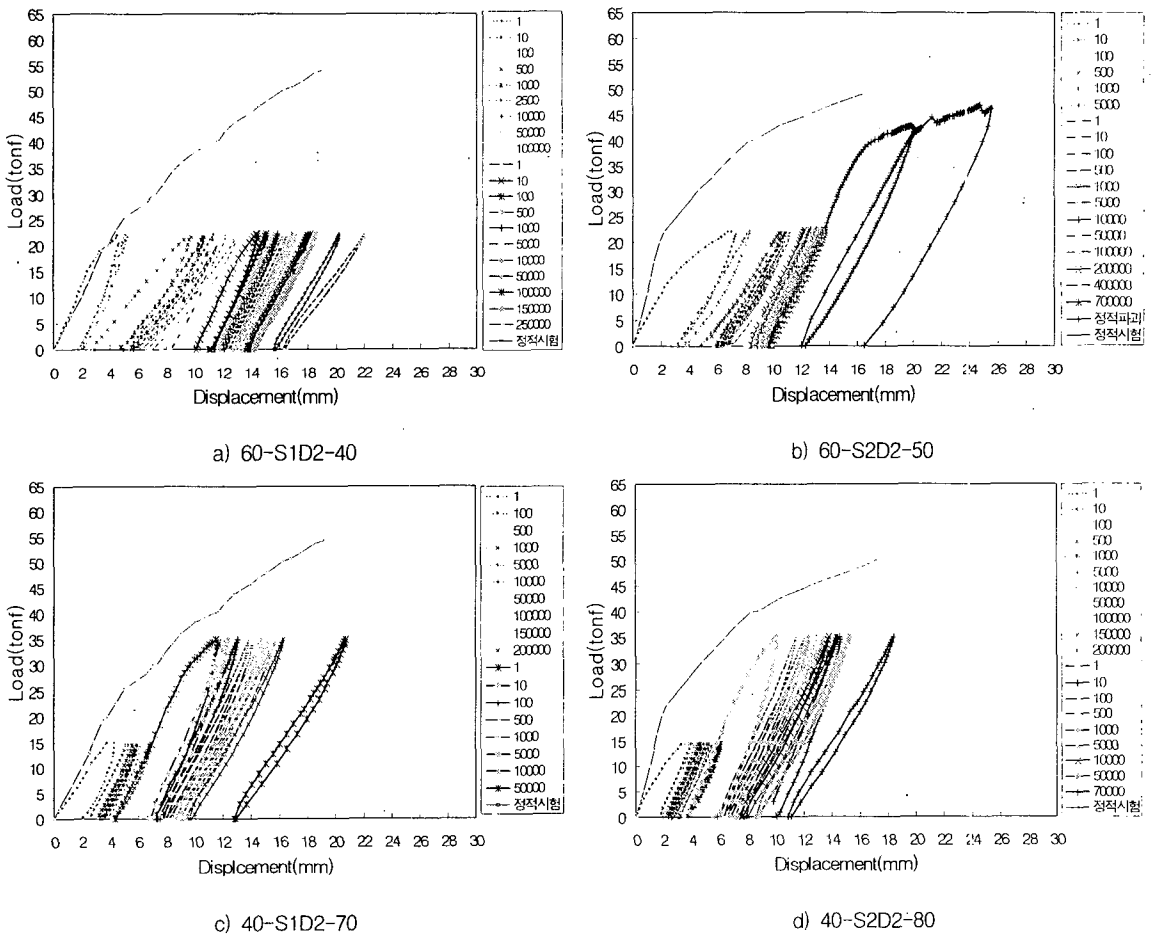


그림 2 각 시험체별 반복횟수에 대한 하중-슬래브중심 변위 누적곡선(보강전: 점선, 보강후: 실선)

중에 대하여 16%의 강도저하가 60-S2D2-50에서 발생한 것으로 나타났으며, 이는 피로하중에 의한 손

상이 원인이다. 손상시험 및 보강 후 피로성능시험의 하중-변위곡선은 재하하중의 크기에 따른 하중-변위상의 차이만 있을 뿐, 이외의 피로거동상의 변화는 동일한 것으로 보이며 초기재하시 보강시험체의 강성이 무보강시험체의 초기재하 강성과 유사하여 손상이전의 상태로 회복되었음을 알 수 있었다. 한편, 그림 2에는 S1D2 및 S2D2 보강시험체의 정적시험결과를 배력철근 항복 시까지 도시하였다. 이를 피로시험 결과와 비교한 결과, 정적시험의 구조물 항복변위(배력철근항복하중 기준)와 피로파괴직전의 누적변위가 대체로 유사한 것으로 나타났다. 즉, 표 1에서 나타낸 바와 같이 정적시험 및 피로시험의 항복 및 파괴 최대변위는 대체로 20 mm 전후의 값을 보이고 있다. 이로부터 피로시험의 누적 최대변위와 보강시험체에 대한 정적시험의 항복하중에 대한 변위는 비교적 차이가 없음을 알 수 있다. 따라서 반복재하에 의해 피로손상된 교량상판을 보강할 경우, 예상되는 피로파괴시의 변위를 기존상에 의한 누적 최대변위와 보강된 경우의 정적 최대변위로부터 산정할 수 있음을 알 수 있다.

표 1 정적시험의 최대변위 및 피로시험의 누적 최대변위 비교

보강방법	정적구조항복시 최대변위	60-S1D2-40 누적 최대변위	60-S2D2-50 누적 최대변위	40-S1D2-70 누적 최대변위	40-S2D2-80 누적 최대변위
S1D2	19.15 mm	22.03 mm	—	20.73 mm	—
S2D2	17.28 mm	—	18.15 mm	—	18.42 mm
비고	—	115%	105%	108%	107%

3.2 하중반복횟수에 따른 보강시험체의 강성의 변화

보강 전·후의 강성의 차이는 미소했으며 전반적인 강성의 변화는 반복초기 이후에 일정한 수렴성을 보이다가 파괴에 도달하면서 급격히 감소하는 양상을 보였다. 손상시험시 재하반복횟수가 1만회 그쳐 손상이 미소했던 60-S2D2-50 시험체의 강성은 다른 시험체 보다 상대적으로 크게 나타났다. 손상시 하중이 40%였던 두 시험체를 비교한 결과 재하하중의 비율이 상대적으로 컸던 40-S2D2-80 시험체의 강성이 크게 나타나고 있다. 교량상판의 강성저하는 주균열에 의해 큰 영향을 받으며 이로부터 S1D2 보강방법이 S2D2 보강방법보다 일방향성을 보이고 있음을 알 수 있었다.

3.3 반복횟수에 따른 컴플라이언스(compliance) 변화

컴플라이언스는 균열신장의 함수로 컴플라이언스가 클수록 균열이 진전되었음을 나타낸다. 그림 3에서 보강 후의 컴플라이언스가 보강 전의 컴플라이언스 보다 작게 나타나고 있다. 즉, S1D2 및 S2D2 보강은 피로하중에 대한 균열제어 측면에 있어서 효과가 있는 것을 알 수 있다. 또한 재하하중의 비율이 배력철근 항복하중에 대하여 상대적으로 컸던 40-S2D2-80 시험체의 컴플라이언스는 40-S1D2-70의 경우보다 작으며 완만하게 나타나고 있다. 따라서 S2D2가 피로하중에 대해서 균열을 부재 전반에 분포시키며 주균열에 의한 큰 폭의 컴플라이언스 증가를 억제하는 것으로 알 수 있다. 이러한 양상은 그림 2의 40-S1D2-70 및 40-S2D2-80에 대한 강성의 변화에서도 알 수 있다.

3.4 반복횟수에 따른 에너지 소산

그림 4는 무보강시험체의 손상시험 시 발생한 전체에너지 소산량과 보강시험체에 대한 성능시험 시 발생한 전체에너지소산량을 합산한 것이다. 기 손상정도가 현저하게 낮았던 60-S2D2-50 시험체의 경우 다른 시험체 보다 월등한 에너지소산능력을 확보하는 것으로 나타났다. 40-S1D2-70 및 40-S2D2-80의 기 손상정도는 대체로 유사하나 보강 후의 에너지 소산량이 40-S2D2-80에서 상대적으로 큰 것으로 나타났고 파괴시 반복재하횟수도 크게 나타났다. 이를 강성의 변화와 컴플라이언스 등의

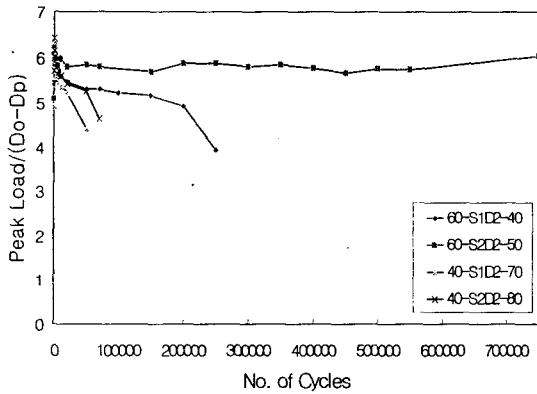


그림 3 보강시험체의 반복재하횟수에 따른 강성의 변화

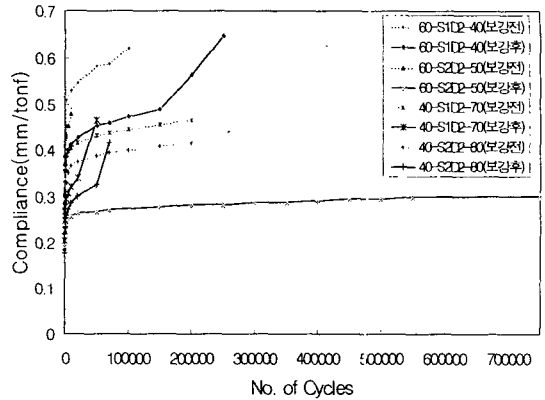


그림 4 보강 전·후의 시험체별 컴플라이언스 변화

고찰과 비교하면 S2D2 보강방법이 S1D2 방법에 비하여 피로하중에 대해서 균열을 전 부재에 걸쳐 고루 분포시켜 주균열의 확장을 방지함을 알 수 있다. 이는 S1D2가 주철근 방향의 강도가 크고 강성은 S2D2와 동일하기 때문에 정적인 내하력 측면에서는 우월하나 S2D2에 비하여 내력의 흐름을 이방향성으로 진행시키지 못하기 때문인 것으로 사료된다.

4. 결 론

기 손상정도가 적은 경우의 보강은 피로하중에 대한 구조거동이 매우 뛰어난 것으로 나타났으며, 정적 시험시의 항복변위와 피로파괴시의 누적최대 변위가 유사함을 알 수 있었다. S1D2 및 S2D2 보강방법은 피로하중에 대한 균열제어 측면에 있어서 효과가 있는 것으로 나타났다. 기 손상정도가 동일한 경우 S2D2를 적용한 보강시험체의 경우 피로하중에 대한 구조성능이 상대적으로 뛰어난 것으로 나타났고 이는 사용하중상태에 대하여 배력철근 방향의 강도보다 큰 주철근 방향의 강도가 주균열의 분산을 지연시키기 때문인 것으로 사료된다.

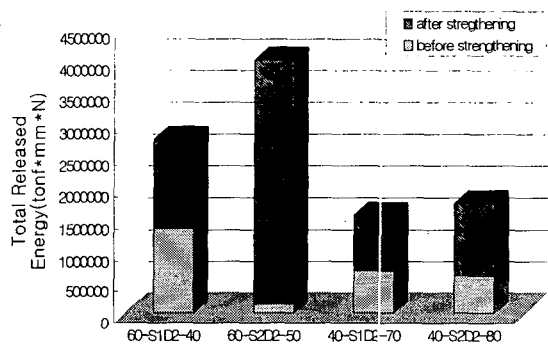


그림 5 시험체별 피로시험시 보강 전·후의 전체 에너지 소산량

감사의 글

이 연구는 건설교통부에서 주관하는 “99 산-학-연 공동연구개발사업”을 수행함으로써 얻어진 결과이며, 저자들은 건설교통부와 SK케미칼의 후원에 감사의 뜻을 전합니다.

참 고 문 헌

1. 심종성, 오홍섭 외 2인, “RC 교량상판의 휨 성능향상을 위한 탄소섬유 보강방법 연구”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제10권 2호, 1998년 11월, pp.839-844.
2. 정란, 정상진 외 3인, “강판, 탄소섬유, 탄소섬유판으로 휨보강된 철근콘크리트 슬래브의 구조적 거동”, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제10권 1호, 1998년 5월, pp.601-606.
3. 정영수, 김기봉, 이광명 외 5명, “국도상 노후교량의 성능개선기법 개발에 관한 연구”, 건설교통부, 1997. 12.