

피로거동파악을 위한 성능향상된 교량상판의 사전피로손상의 고찰

Pre-fatigue Damage of the Strengthened Bridge Deck for Study on Fatigue Behavior

심 종 성*
Sim, Jongsung

오 흥 섭**
Oh, Hong-Seob

김 진 하***
Kim, Jin-Ha

ABSTRACT

Fatigue damage to reinforced concrete bridge decks have been found in many bridges. Failure mode of most reinforced concrete decks is caused by local punching shear rather than flexural moment due to cumulated damage. In this study, mechanical degradation of unstrengthened and strengthened bridge deck specimens is experimentally investigated. The unstrengthened deck specimens were damaged under the pulsating loading condition. After the test, deteriorated deck specimens were strengthened with Carbon Fiber Sheet, then loaded to observe the improvement of the fatigue behavior. It is shown that fatigue damaged specimens are similar to real bridge rather than static damaged specimens.

1. 서 론

교량상판의 파괴는 일반적으로 부족한 휨내력 보다는 반복적으로 작용하는 하중에 의한 피로손상이 누적되어 관통균열이 발생하고 균열면에 골재 맞물림 작용이 감소함에 따라 파괴된다. 따라서 교량상판에 대한 보수·보강공법의 적용은 교량상판을 손상 이전의 구조체로서 회복시키고, 기존 내하력을 향상시키기 위하여 적용되고 있다.

그러나 기존의 교량 바닥판에 대한 보수·보강공법은 일방향 보강을 통한 내하력 향상에 기초하고 있으며 실제 교량상판이 받는 반복하중에 대한 동적 거동에 관한 연구는 미비한 실정이다. 보수·보강에 대한 연구는 무보강시험체와 보강시험체를 제작한 후 정적으로 시험하거나, 보강전에 손상을 입히는 경우 주로 정적으로 손상을 발생시킨 후 시험함으로써 성능향상에 대한 검증을 주목적으로 하고 있다. 그러나 이러한 정적손상은 실제 교량상판의 반복하중과는 많은 차이가 있다. 본 연구에서는 실제 교량상판의 손상과정과 유사한 구조체에 대한 보강효과를 검증하기 위하여 무보강시험체에 대한 피로손상시험을 수행하였고, 이를 보강하여 성능향상후의 피로성능시험을 실시하였다.

2. 철근콘크리트 교량상판의 손상과정

주철근이 차량진행방향에 직각인 경우에 대하여 가장 많이 파악되는 손상진행과정은 콘크리트의 건조수축 및 배력철근방향에 발생한 휨모멘트에 의해 먼저 주철근방향의 균열이 발생하고, 주철근방향의 균열로 인하여 강성이 저하된 배력철근 방향의 휨모멘트 부담률이 저하된다. 그 반면 강성이 큰 주철근 방향 휨모멘트 부담률은 커지기 때문에 배력철근 방향으로 균열이 발생하게 된다. 이처럼 양방향으

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

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

*** 정희원, 한양대학교 토목·환경공학과 석사과정(jcrash2@hanmail.net)

로 생성된 균열은 윤하중(차량하중)의 반복 작용을 받아 차차 그 폭과 깊이가 증가되고, 이윽고 균열이 상판 전 두께에 미치게 된다. 이처럼 초기에 생긴 균열이 성장하는 사이에 그 균열에 새로운 균열이 가해져서, 차차 세밀한 그물망 상태의 균열로 발달해 간다. 균열의 발달 및 세밀화 상태까지 진전되면, 상판의 하중 분배기능이 상당히 저하되고, 차량하중은 국부적으로 집중되기 시작한다. 균열이 더욱더 진전되면서 콘크리트의 박리나 함몰이 생기며, 이러한 상태가 되면 그 부분의 상판은 후미부제로서의 기능을 상실하게 된다. 재하초기의 주균열은 반복하중을 받음에 따라 점차 방사형 균열로 진전하게 된다.

그러나 현재 연구되고 있는 교량상판에 대한 대부분의 보수·보강실험은 정적하중을 가력하여 임의의 손상을 발생시키는 것으로서, 이는 실제 노화된 교량상판의 상태를 제대로 표현하기엔 부족하다. 또한 정적하중으로서 양방향 균열상황을 얻는다면, 구조체로서의 저항력을 상실했다고 볼 수 있다. 따라서 노후화된 교량상판의 실제손상을 고려하기 위해서는 사용하중을 반복재하시켜 손상을 누적시킬 필요가 있다(1,2).

3. 실험

3.1 실험재료

본 실험에 사용된 콘크리트는 설계강도가 300 kg/cm^2 으로 설계된 레미콘제품을 사용하였다. 재령 28일 압축강도는 시험결과 337 kg/cm^2 으로 나타났다. 철근은 항복응력 $3,500 \text{ kg/cm}^2$ 의 D10, D16을 사용하였고, 인장시험결과 항복응력 $3,530 \text{ kg/cm}^2$ 이었다. 보강재료인 탄소섬유시트(CFS)는 극한강도 $35,500 \text{ kg/cm}^2$, 탄성계수 $2.35 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, 극한변형률 1.5%인 재료를 사용하였다.

3.2 피로손상실험

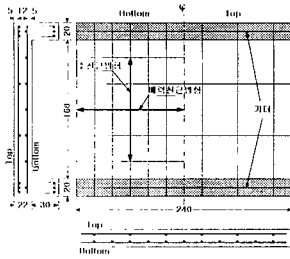
본 실험에서는 철근콘크리트 교량상판을 모사한 시험체 4개를 제작하여 이를 피로손상시켰다. 무보강 시험체의 재하하중은 시험체 배력철근 항복하중의 60%, 40%인 22.5 tonf, 15 tonf을 반복하중으로, 하중재하속도 2 Hz로 피로시험을 수행하였다. 이때 중차량 후륜의 접지면적과 동일한 크기인 $25 \times 50 \text{ cm}$ 강판을 가력판으로 사용하였다. 60%로 재하되는 시험체는 각각 1만회, 10만회씩을, 40%로 재하되는 시험체는 20만회 피로손상실험을 수행하였다.

3.3 피로성능실험

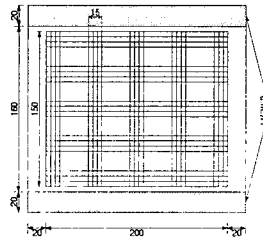
피로손상된 시험체는 CFS를 사용하여 이방향 strip형태로 보강하였으며, 주철근 방향과 배력철근 방향의 보강량을 변수로 선정하였다(3). 60-S1D2-40과 40-S1D3-70시험체는 주철근방향(S)에 대하여 주철근비와 동일한 값의 CFS보강비를 사용하여 보강하였으며, 배력철근방향(D)에 대해서는 전면보강 보강재량의 1/2을 보강하였다. 60-S2D2-50과 40-S2D2-80시험체는 주철근방향(S)에 대하여 S1D2보강량의 50%를 보강하였고, 배력철근방향(D)보강량은 S1D2와 동일하게 적용하였다. S1D2 및 S2D2 시험체들은 각각 보강재량을 포함한 상태의 배력철근항복하중(Py)의 40%, 50%, 70%, 80%의 하중을, 하중재하속도 2Hz로 피로성능실험을 수행하였다.

표 1 시험체의 분류

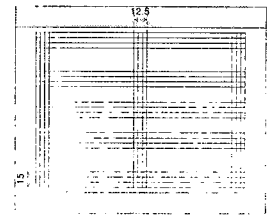
시험체명	피로손상 반복하중	피로횟수	피로성능 반복하중
60-S1D2-40	22.5 tonf	10만회	0.4Py
60-S2D2-50	22.5 tonf	1만회	0.5Py
40-S1D2-70	15 tonf	20만회	0.7Py
40-S2D2-80	15 tonf	20만회	0.8Py



a) 무보강 시험체



b) S1D2 보강



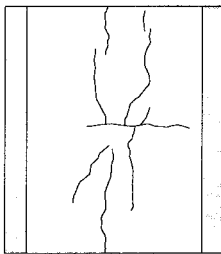
c) S2D2 보강

그림 1. 시험체의 형상 및 제원 (단위 : cm)

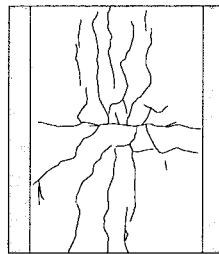
4. 실험결과

4.1 균열양상

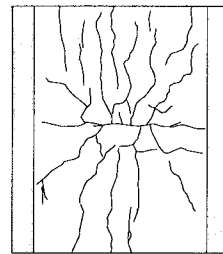
무보강 상태에서 피로손상을 주었을 때, 그림 1에서처럼 10회까지는 배력철근 방향의 일방향 균열이 주로 발생하는 것으로 나타났다. 하중횟수가 증가함에 따라 1000회에서는 이방향 균열이 발생되기 시작하였으나 일방향 균열이 지배적으로 나타되며, 5만회 반복하중 후 실제교량과 유사한 이방향 균열로 발전하는 것으로 관찰되었다.



(a) 10회



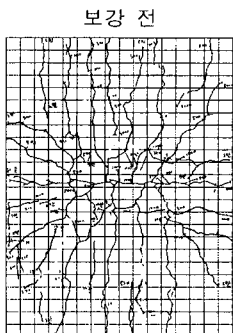
(b) 1000회



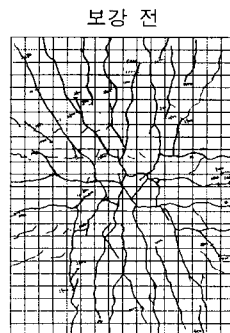
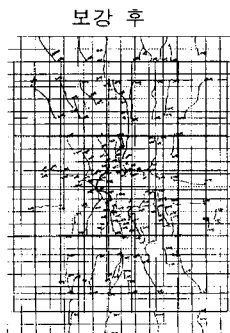
(c) 5만회

그림 2. 무보강시 반복횟수별 균열 양상 (피로손상실험: 60-S1D2-40)

손상된 시험체를 보수·보강하여 피로성능시험한 경우의 균열은 피로손상시험과 같이 초기에 주균열이 발생하고 반복횟수가 증가함에 따라 양방향으로 진행되었으나, 보강재 면에 이르러 진행방향으로 진전되지 못하였다. 그림 3은 보강 전, 후의 균열을 비교한 것이다.



(a) 60-S1D2-40



(b) 60-S2D2-50

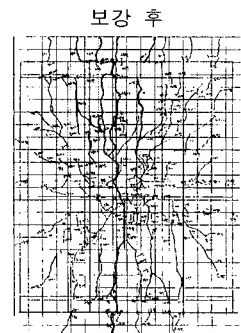


그림 3. 시험체별 균열양상

4.2 반복횟수에 따른 하중변위 관계

시험체들은 초기하중에 의한 큰 폭의 영구변위를 보였으며, 이후 반복횟수가 증가함에 따라 영구변위 및 최대변위가 일정비율로 증가하고 있음을 알 수 있었다. 피로손상 및 피로성능시험시의 강성은 차이가 미비했으며, 피로성능시험 초기의 강성으로부터 기 손상된 교량상판을 보수·보강한 경우 손상이전의 강성을 회복할 수 있는 것으로 나타났다. 그림 4는 만회까지의 보강 전·후 슬래브 중심에서의 처짐을 기록한 것이다. 점선구간은 보강 전, 실선구간은 보강 후 상태이다.

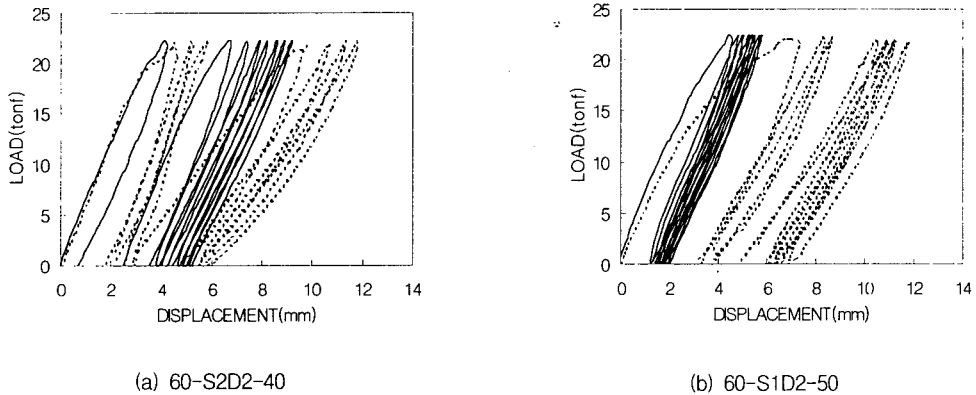


그림 4. 반복횟수에 따른 하중-슬래브 중심변위 관계 (점선: 무보강, 실선: 보강후)

5. 결 론

본 연구에서는 교량 상판의 보수·보강 전후의 피로거동 특성파악을 위한 실험적인 연구로서 반복하중 재하시의, 철근콘크리트 교량 상판의 손상과정과 구조거동을 실험적으로 검증하였다.

피로손상시험을 통해 발생한 균열양상이 실제 교량상판의 손상과 비교적 유사하게 나타나고 있음을 확인하였으며, 보강 전·후의 균열은 매우 유사한 것으로 관찰되었다. 이는 격자형(strip) 보강방법이 상판의 거동특성에 적합하다는 것을 나타내는 것이라 판단된다. 피로손상된 시험체에 탄소섬유시트를 이용하여 격자형으로 보강한 본 실험의 경우, 손상이전의 강성을 획득할 수 있는 것으로 나타났으나, 기 손상 정도에 따른 보강성능향상 정도의 판정과 보강 전·후의 수명예측을 위해서는 확률적 분석을 통한 손상해석이 필요한 것으로 사료된다.

보수·보강 전후의 성능향상효과 검증을 위한 실험적 연구에서, 피로손상기법 도입은 매우 유용한 것으로 나타났으며, 현상에 가까운 모사가 가능한 것으로 판단된다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

- Higai Takeshi, “An Outline of Repairing and Strengthening of RC Deck Slabs”, Bridge and Foundation Engineering, Vol. 26, No. 8, 1994, pp. 105~108
- 김철영, 김영진, 정철현, “현장타설 철근콘크리트 교량바닥판의 손상과 대책”, 콘크리트 학회지, 제 9권, 4호, 1997.8, pp.57~65.
- 심종성, 오홍섭 외 2인, “RC 교량상판의 휨 성능향상을 위한 탄소섬유 보강방법 연구”, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제10권 2호, 1998년 11월, pp.839-844.