

장지간 교량의 강바닥판 성능 강화를 위한 수치해석 연구

Study on numerical analysis for capability improvement of long span bridge with orthotropic steel deck

공 병 승* · 김재곤***

Kong Byung-Sueng · Kim Jae-Gon

요 약

본 논문은 사하중 절감이 중요한 장지간 교량에 있어서 유리한 구조를 가지는 강바닥판의 성능 강화를 위한 수치해석 연구를 실시하였다. 이미 국내외에서는 다수의 강바닥판을 이용한 교량의 시공 사례가 많으며, 앞으로도 시공 또는 계획될 해상 장지간 교량에서도 강바닥판 교량의 사례가 많을 것으로 판단된다. 강바닥판 교량은 공기를 단축할 수 있으며, 들보의 높이가 작아서 날씬한 형상으로 할 수 있기 때문에 미관을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 가설 공사비를 절감시킬 수 있는 등 많은 장점을 갖고 있다. 하지만 강바닥판은 이상과 같이 장점을 갖는 구조이지만 비교적 얇은 강판을 복잡한 형상으로 용접하여 조립함에 용접 결함, 잔류응력, 면내 및 면외 변형의 발생 등의 문제점이 지적되고 있다. 따라서 외국에서는 강바닥판의 피로손상에 대한 실험 및 연구로 많은 자료를 확보하고 있으며, 국내에서도 국내 현실에 맞는 강바닥판의 피로거동 및 피로강도 향상방안에 관한 연구가 더욱더 필요하다. 본 연구에서는 국내교량에 적용되고 있는 구조상세 및 구조해석을 실시하여 강바닥판의 피로거동과 응력 특성을 파악하고, 피로강도를 향상하는 방법으로 Bulkhead Plate와 수직리브 형상 및 부착에 따른 거동을 분석하고, 최적상세를 도출하여 강바닥판의 적극적인 활용화에 그 목적이 있다.

keywords : 장지간 교량, 강바닥판, 피로손상, Bulkhead Plate

1. 서 론

현재 해양중심도시인 부산은 신항만을 중심으로 거가대교, 가덕대교, 신호대교, 을숙도대교, 남항대교, 광안대교 등의 장지간 해상 교량이 완공되었고, 북항대교는 시공 중에 있다. 이와 같은 교량은 해상에서의 작업의 어려움과 미관을 고려하여 장지간의 교량으로 설계되었으며, 대부분 강바닥판을 이용한 교량이다.

강바닥판 교량은 세로리브와 가로리브로 강재 바닥강판을 보강하여 바닥판으로 사용하고, 그 위에 구스아스팔트 포장을 한 교량으로서, 철근콘크리트 바닥판을 사용하는 경우와 비교해 중량이 30~50% 정도 밖에 되지 않으며, 같은 지간장과 교폭, 같은 하중하에서 건설재료를 55% 까지 절감할 수 있는 장점을 가지고 있어 많은 시공사례로 이용되고 있다. 또한 제작의 대부분이 공장제작이므로 품질의 신뢰성을 가지며, 현장조립의 간편성과, 공기단축 및 품질확보에 유리한 장점도 가지고 있다. 하지만 강바닥판 교량은 비교적 얇은 강판을 사용하여 세로·가로리브 및 가로보 등에 용접을 이용하여 조립을 실시하는 구조이기 때문에 접합부 등 여러 곳의 구조상세에서 발생하는 응력상태가 매우 복잡하고 용접에 의한 결함과 변형이 발생할 가능성이 존재하여 용접기술과 피로보강설계의 기술력을 더욱 보강하게 된다면 충분한 경쟁력을 확보할 수 있으며, 사용이 증가될 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 국내교량에 적용되고 있는 구조상세 및 구조해석을 실시

* 정회원 · 동서대학교 토목공학과 교수 kongbs@dongseo.ac.kr

*** 동서대학교 토목공학과 석사과정 jg8213@naver.com

하여 강바닥판의 피로거동과 응력 특성을 파악하고, 피로강도를 향상하는 방법으로 Bulkhead Plate와 세로리브 형상 및 부착에 따른 거동을 분석하고, 최적상세를 도출하여 강바닥판의 내구성을 강화시키고자 한다.

2. 강바닥판의 기본구조 및 연구

2.1. 강바닥판의 기본구조

2.1.1. 격자구조

교량구조물의 실제거동을 살펴보면 각각의 구성요소가 서로 강결되어 하중에 저항하는 격자구조물의 거동과 같음을 알 수가 있으며 이러한 개념에 따라 설계된 장대교량의 경우 경제적으로 유리하다. 격자구조라 하면 강성이 거의 같고, 서로 직교하는 보에 의해서 지지되는 바닥판이나 슬래브를 통칭하며 교량에서의 바닥틀은 가로보와 세로보 사이를 절단해서 적절한 단면성질을 이용하여 근사적으로 등가의 격자구조를 형성해 낼 수 있다. 또한 격자구조는 고차의 부정정 구조로서 외력에 대한 저항능력이 정정 구조보다 훨씬 크며 그 차수가 높을수록 또한 능력이 커진다.

2.1.2. 패널구조

패널구조 형태는 1939년 미국의 Ashoton에 의해서 제안되었는데 바닥강판이 세로리브와 가로리브의 상부플랜지 역할을 하게 함으로써 I형 보의 격자를 형성하게 하였으며 균질의 등방성이고 모든 방향으로 동시에 응력을 발휘할 수 있는 강판의 특성 때문에, 바닥판을 이방향 강바닥판으로 설계하여 지간의 장대화를 이룰 수 있는 장점으로 이 개념은 후에 직교이방성 구조시스템(Orthotropic Deck System)으로 발전하게 된다.

2.1.3 그 외의 구조

1) Battledeck 바닥틀

Battledeck 바닥틀의 형상은 보와 강판이 용접 연결되어 있는 구조로서, 바닥강판의 주기능은 윤하중을 세로보에 전달하고 어떤 유효폭 내에서는 세로보의 상부플랜지로 거동하는 것이다. 하지만 이 강재는 복합적인 거동의 해석기법으로 인하여 그 당시에 개발되지 못하였다.

2) 방형구조(Cellular system)

방형구조는 처음 독일의 강바닥판 실험에서 연구되기 시작했는데 바닥판의 강성을 증진시키며 보다 효과적으로 이용하기 위해서 세로리브의 간격을 좁히려는 과정에서 격자구조가 벌집모양의 여러개의 방으로 구성되는 형태인 방형구조(Cellular system)로 발전된 형태이다. 하지만 용접량의 과다와 구조해석의 어려움으로 인해 더 이상의 발전은 되지 않았다.

2.2. 강바닥판 피로손상 사례

2.2.1 강바닥판 구조 상세부의 일반적인 피로손상

강바닥판은 본래 철근 콘크리트 바닥판과 같이 윤하중을 직접 받는 부재로서 피로균열이 발생할 가능성이 많은 구조부재이다. 강바닥판교의 일반 부재는 차량이 한 대 통과할 때마다 1회의 응력변동을 받게 되나, 바닥판 시스템은 바퀴하나가 통과할 때마다 응력 변동이 발생하게 되어 그때마다 피로가 누적되며 피로손상이 발생한다. 하지만 그대로 방치해두면 포장의 손상, 평탄성 결여 등으로 인해 도로교로서의 기능 저하가 발생하고, 교량의 내구성이 저하하게 된다. 따라서, 피로 취약 상세부에 대한 균열저감 대책 및 최적 상세부 개발이 반드시 강구되어야 할 것이다.

2.2.2 국내 피로손상 사례

국내 교량에서 피로균열 발생이 보고된 위치는 거의 종리브 맞대기 이음부, 종리브, 데크 플레이트 연결

부이다. 또한 종리브와 격벽판에 균열이 발생하였다. 아래의 그림은 실제 교량의 피로균열을 나타낸다.

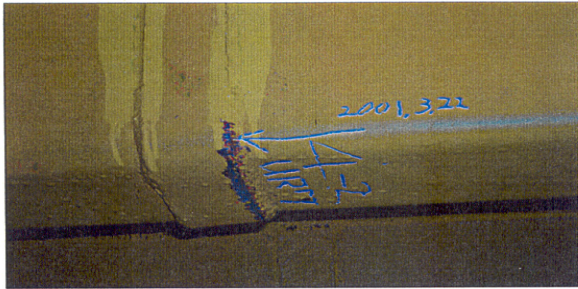


그림 1 종리브 맞대기 이음부 피로균열

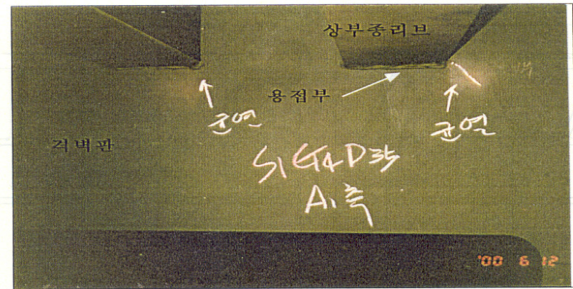


그림 2 종리브와 격벽판 피로균열

2.3 연구결과

2.3.1 종리브의 구조상세

기존구조상세 모델링을 중심으로 하여, 종리브 형상을 각각 다르게 하여 구조해석을 실시하였으며, 아래의 표와 같이 3가지 종류의 세로리브 상세와 각각의 모델에 맞는 응력분포도를 나타내었다.

표 1 세로리브 구조상세

모델번호	모델 형상 상세	형상별 응력분포	비 고
Model 1 (M1)			<ul style="list-style-type: none"> - Bulkhead가 없는 범용적인 국내 상세 - 구조해석상 가장 이상적인 형상 - 기본구조 세로리브 상세
Model 2 (M2)			<ul style="list-style-type: none"> - 직선형 Bulkhead Plate 가 부착된 세로리브 상세
Model 3 (M3)			<ul style="list-style-type: none"> - 곡률을 가진 Bulkhead Plate 가 부착된 세로리브 상세

2.3.2 구조해석 모델링

기본구조 상세 시험체를 대상으로 선행 연구에서는 실제 시험체로 실험을 해보았으며, 본 연구에서는 실구조물을 가장 근사적으로 묘사할 수 있는 모델링을 실시해 보았다. 선행연구에 따른 강바닥판의 피로손상의 여러 원인중 본 연구와 관련된 세로리브와 가로리브 연결부, 세로리브와 데크 플레이트 연결부 상세에 대하여 해석을 수행하였다. 아래의 그림 3 은 모델의 형상에 따른 응력분포를 나타낸 것이다.

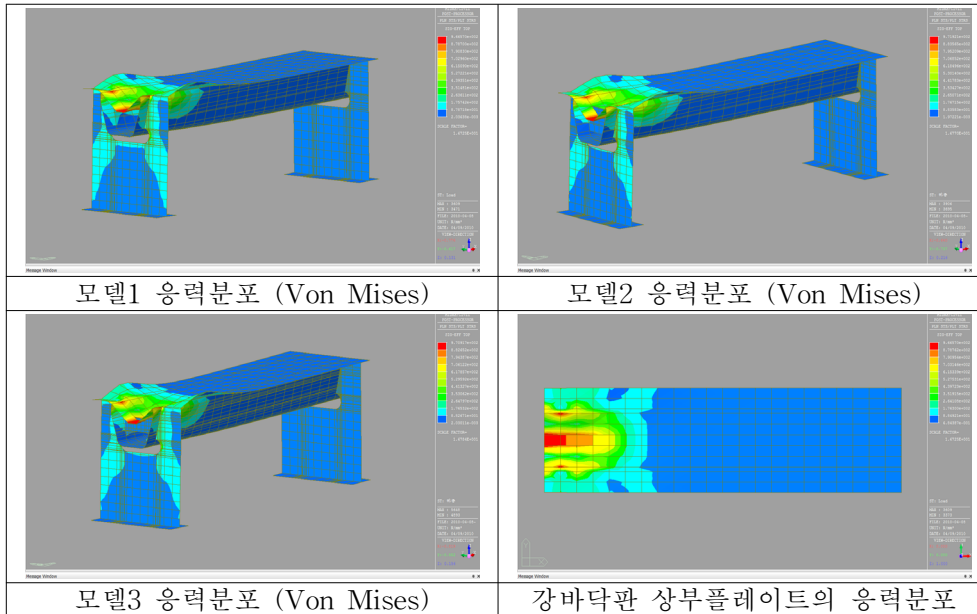


그림 3 각 모델별 응력분포

3. 결론

기본구조 상세의 세로리브와 가로리브의 응력해석검토 결과, 피로손상 원인은 세로리브의 비틀림과 가로리브의 면외거동으로 인하여 가로리브에 응력집중이 발생하여 피로손상을 유발하는 것으로 판단된다. 선행연구에서는 Bulkhead Plate가 부착된 종리브 상세를 사용할 경우에 응력분포나 처짐량에서 성능이 향상되는 것으로 나타나며, Bulkhead Plate의 형상에 따라서도 많은 차이점을 보였다. 또한 변수 연구 결과를 분석해 볼 때, 세로리브 연결부의 주응력 크기는 강바닥판 두께 변화의 영향은 미미한 것으로 나타났으며, 가로리브 간격을 증가시켜 주응력이 증가하는 경향은 가로리브의 높이를 증가시켜 응력이 감소하는 경향에 비해 매우 적으므로 가로리브 간격을 어느 정도 증가시키고 가로리브의 높이를 증가시켜 적용하는 것이 바람직하며, 주요 변수에 대한 발생 주응력의 크기는 공학적인 수식으로 거의 정확히 유추될 수 있다. 강바닥판의 상세 개선을 통해 강재의 증가 및 감소량은 별 차이가 없지만, 용접길이가 감소되므로, 인건비 및 기계용접에 따른 시간절약으로 인하여 원가의 감소가 될 것으로 판단된다. 본 연구에서는 일반적으로 널리 사용되는 방법을 적용했지만, 게이지부착 위치 따라 측정값이 큰 차이를 나타낼 수 있기 때문에, 이 부분의 응력을 공칭응력화 할 수 있는 방법을 강구해야 될 것으로 판단된다.

감사의 글

"이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 20100005726)"

참고문헌

- 건설교통부 (2008) 도로교설계기준 해설, 대한토목학회
- 경갑수 (2006) 구조 상세부의 피로거동을 고려한 고성능 강바닥판 개발에 관한 해석적 연구, 한국강구조학회 논문집, 18(4)
- 최준혁 (1999) 강바닥판 구조상세부의 정적 및 피로거동
- 조재병 (1995) 계산에 의한 강구조의 단계별 피로수명 추정법, 한국강구조학회 논문집, 7권, PP.234~235