

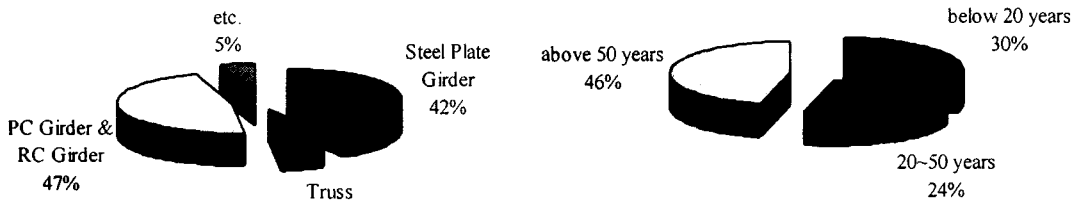
열화손상이 발생한 강판형 철도교의 응력특성

정영화 · 채원규* · 홍성욱** · 남왕현

강원대학교 토목공학과 · *신구대학 토목과 · **한림정보산업대학 토목과

1. 서론

현재 국내에는 총 2,500개소의 철도교가 있는데, 이 중에서 강교량이 연장이 차지하는 비율은 약 48%를 차지하고 있으며, 교량별 구성비는 그림 1.1(a)와 같다. 또한 강교량의 공용년수에 따른 분포양상은 그림 1.1(b)에서 나타낸 바와 같이 공용기간이 50년 이상인 교량이 전체교량의 약 46%를 차지하고 있다.



(a) 형식별 연장이 차지하는 비율

(b) 경과년수별 현황

그림 1.1 국내 철도교의 현황

이러한 노후 강교량에 있어서 피로와 부식손상은 시간경과에 따라 축적되며, 이들 교량의 수명을 지배하는 중요한 열화요인이다. 철도교는 도로교에 비해서 활하중 변동폭이 크고, 특히 사하중이 작은 개상식 구조를 갖는 강철도교를 중심으로 손상사례가 빈번하게 보고되고 있으며, 이에 대한 보수·보강사례 연구도 활발하게 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 약 60년간 공용한 개상식 강판형 철도교를 대상으로 열화손상에 따른 응력특성을 분석하기 위해서 일련의 현장계측 및 유한요소해석을 실시하였다.

2. 대상교량의 개요

본 연구에서 대상으로 한 교량은 표 2.1 및 그림 2.1과 같이 현재까지 약 60년의 공용기간을 가지고 상부구조는 경간장 20~25m인 3경간연속 강판형교(총길이 : 482m)와 경간장 78.5m인 3경간연속 트러스교와 경간장 62.8m인 단순트러스교(총길이 : 630m)로 구성되어 있는데, 본 연구에서는 부식손상이 심하게 발생하고 피로균열이 발생한 3경간연속 강판형교 구간 중 P8~P9 사이의 경간을 대상으로 선정하였다.

표 2.1 대상교량의 개요

교 량 명	□□철교
준 공 년 도	1944년 6월
상 부 구 조	3경간 연속 강판형교 (7런) ; 총연장 (481.85m) 3경간 연속 트러스교 (3런) ; 총연장 (630.85m) - 복합트러스

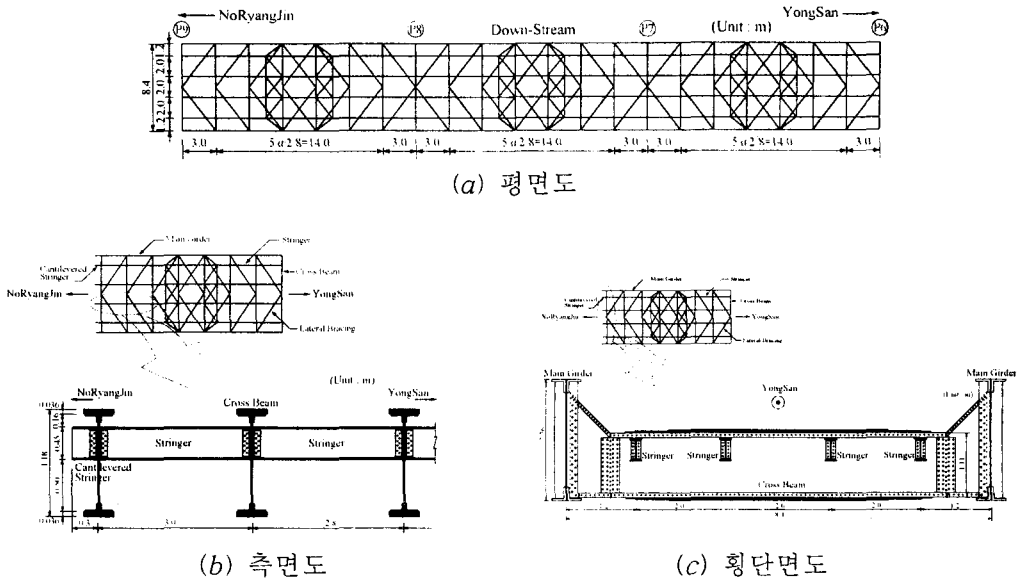


그림 2.1 대상교량의 개요

3. 게이지부착위치

본 연구에서는 그림 3.1에서 나타낸 바와 같이 주부재 중에서 중앙부에서는 주형 하부플랜지(게이지 번호 1) 및 세로보 하부플랜지(게이지 번호 3), 지점부에서는 주형 상부플랜지(게이지 번호 2) 및 가로보 하부플랜지(게이지 번호 4)를 대상으로 공칭응력을 측정하기 위해서 단축변형률게이지를 부착하였다.

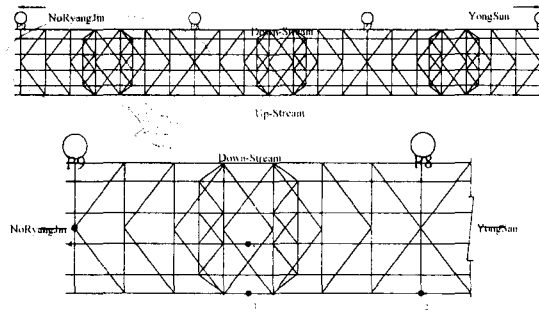
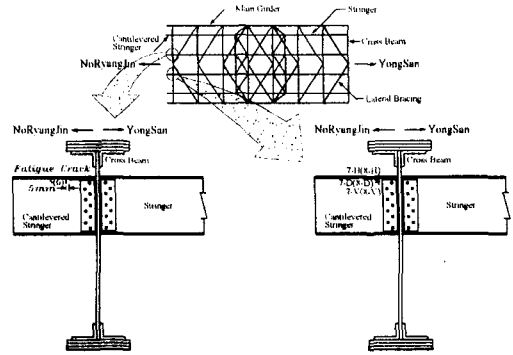
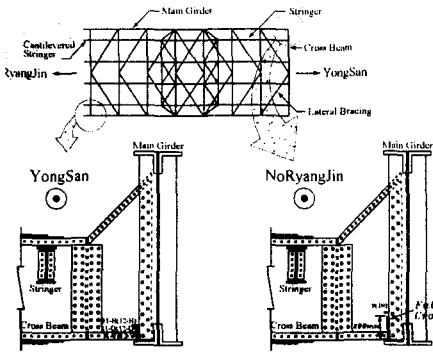


그림 3.1 주부재에 대한 변형률게이지 부착위치

또한 그림 2.2(b), (c)와 같이 피로균열이 발생한 캔틸레버 세로보(게이지 번호 5, 6)와 주형과 가로보 연결부(게이지 번호 9, 10)를 대상으로 그림 3.2에서 나타낸 바와 같이 균열방향에 직각으로 단축게이지를, 그리고 균열이 발생하지 않은 캔틸레버 세로보(게이지 번호 7, 8)와 주형과 가로보 연결부(게이지 번호 11, 12)에 대해서는 주응력을 측정하기 위해서 3축게이지를 부착하였다. 그림에서 괄호안의 게이지 번호는 면외응력을 측정하기 위해서 동일한 부재의 반대면에 부착한 게이지 번호를 나타낸다.



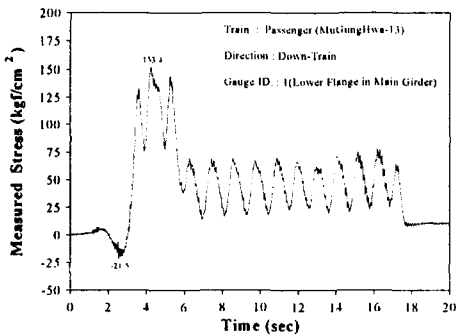
(a) 주형과 가로보 연결부

(b) 캔틸레버 세로보 연결부

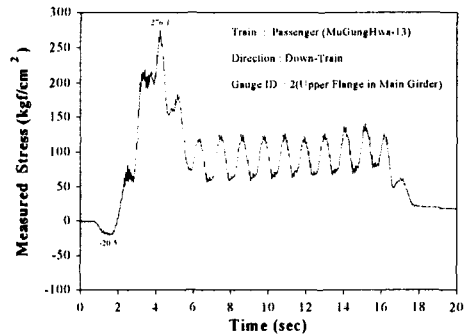
그림 3.2 2차부재 연결부에 대한 변형률게이지 부착위치

4. 현장계측결과 및 분석

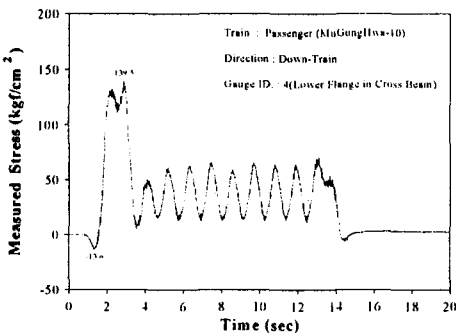
대상교량의 주부재에 대한 무작위주행시험결과로부터 각 부재별로 대표적인 실동응력파형을 나타내면 그림 4.1과 같다. 그림 4.1에서와 같이 세로보의 응력변동범위가 주형이나 가로보의 응력변동범위에 비해서 크고 대차하중의 영향이 현저하게 나타나고 있다. 한편 균열이 발생한 주형과 가로보 연결부의 가로보 복부판 동일위치(게이지번호 : 9, 10)에서 측정된 균열부 선단에서의 응력이력파형을 일례는 그림 4.2와 같다.



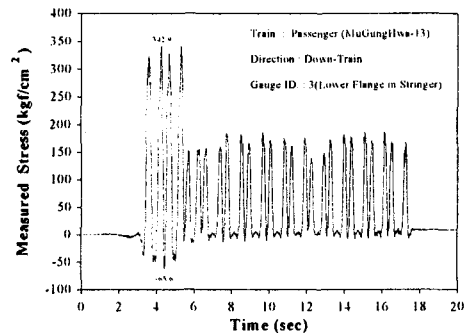
(a) 중앙부 주형 하부플랜지



(b) 지점부 주형 상부플랜지

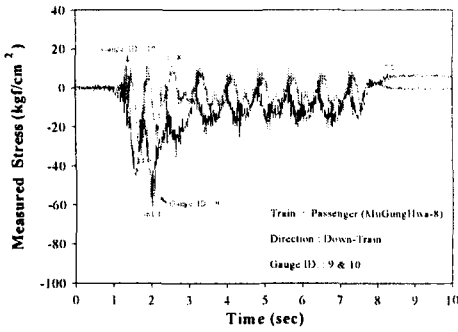


(c) 지점부 가로보 하부플랜지

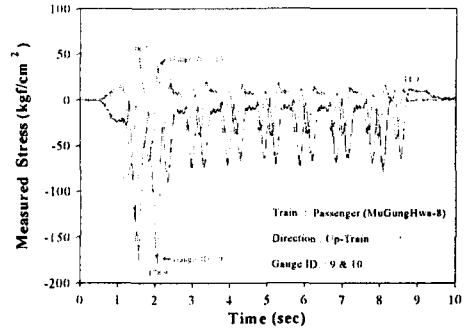


(d) 중앙부 세로보 하부플랜지

그림 4.1 주부재에 대한 응력이력파형의 일례



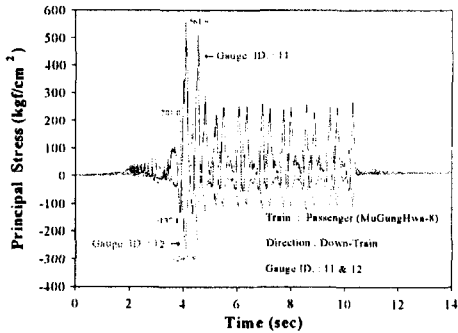
(a) 하행선 통과시



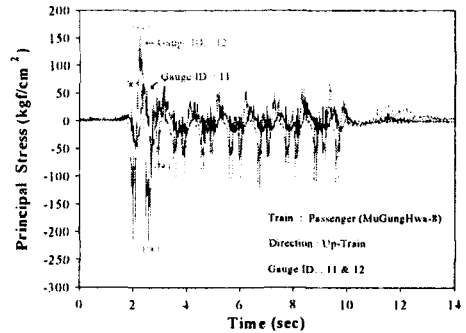
(b) 상행선 통과시

그림 4.2 균열이 발생한 주형과 가로보 연결부에 대한 주응력이력파형의 일례

그림 4.2에서와 같이 균열이 발생한 주형과 가로보 연결부 복부판의 균열선단부에서 발생하는 응력은 비교적 작은 값을 나타내고 있는데, 이는 게이지 부착위치가 적절하지 않기 때문인 것으로 생각되므로, 이 부분에 대한 분석은 생략한다. 또한 그림 3.2의 균열이 발생하지 않은 주형과 가로보 연결부의 가로보 복부판 동일위치(게이지번호 11, 12)에서 측정된 주응력이력파형의 일례를 나타내면 그림 4.3과 같다.



(a) 하행선 통과시



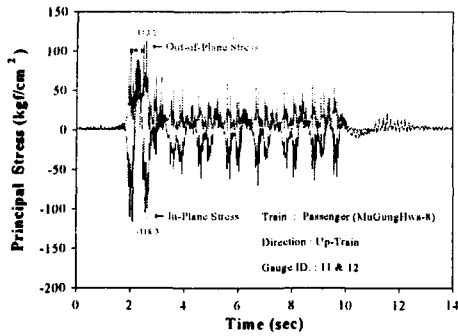
(b) 상행선 통과시

그림 4.3 균열이 발생하지 않은 주형과 가로보 연결부에 대한 주응력이력파형의 일례

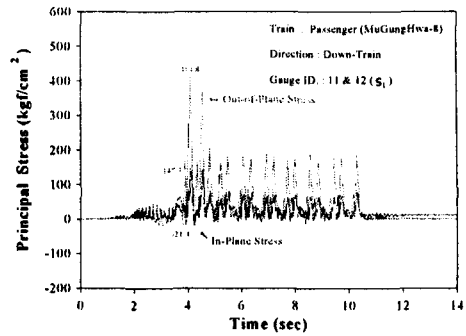
그림 4.3에서와 같이 이 부위에서 발생하는 주응력이력파형은 가로보 복부가 부분적으로 구속되어 있어서 압축응력이 상당히 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 한편 이 부분에는 내·외측에서 주응력이력이 상당한 차이를 나타내고 있으므로 위의 결과를 이용하여 면내응력 및 면외응력파형으로 구분하여 나타내면 그림 4.4와 같다.

그림 4.4에서와 같이 가로보의 응력특성을 보면 게이지가 부착된 하행선 측에서 열차하중이 통과할 때 면외응력이 면내응력을 초과하는데, 이로부터 본 구조상세에서 발생 응력성분이 주로 압축응력이 지배적임에도 불구하고 피로균열이 발생하고 있는 이유는 주형 하부플랜지와 연결되어 있지 않아 열차통과에 따라 가로보가 면외변형을 하기 때문인 것으로 생각된다. 한편 그림 3.3에서 나타낸 바와 같이 균열이 발생한 캔틸레버 세로보 연결부의 상류측(게이지 번호 : 5)과 하류측(게이지 번호 : 6)에 수직방향으로

부착한 변형률게이지로부터 획득한 응력이력파형의 일례를 나타내면 그림 4.5와 같다.



(a) 하행선 통과시



(b) 상행선 통과시

그림 4.4 균열이 발생하지 않은 주형과 가로보 연결부의 면내·외응력파형의 일례

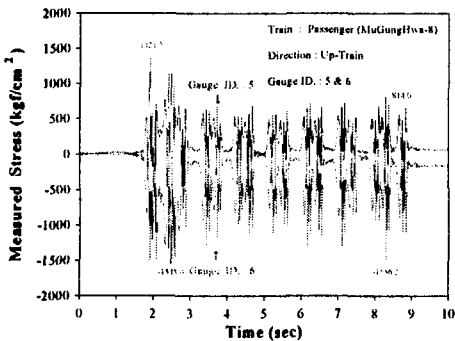


그림 4.5 균열이 발생한 캔틸레버 세로보 연결부에서의 응력이력파형의 일례

그림 4.5에서와 같이 균열이 발생한 캔틸레버 세로보의 경우 하류측에 부착한 변형률게이지(게이지 번호 : 6)에서는 주로 압축응력이, 그리고 상류측에 부착한 변형률게이지(게이지 번호 : 5)에서는 주로 인장응력이 발생하는 것을 알 수 있다. 또한 그림 4.5로부터 응력성분을 면내응력 및 면외응력파형으로 구분하여 나타내면 그림 4.6과 같다.

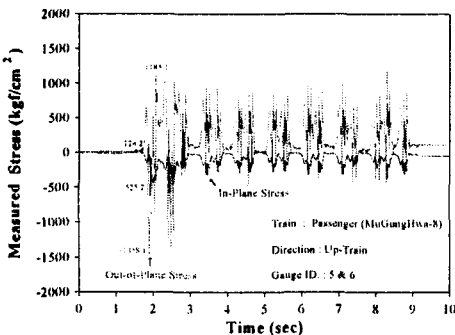


그림 4.6 균열이 발생한 캔틸레버 세로보 연결부에서의 면내·외응력파형의 일례

그림 4.6에서와 같이 균열이 발생한 세로보에서는 열차통과시 면내응력보다 면외응력이 지배적인 것을 알 수 있다. 한편 그림 3.3에서와 같이 피로균열이 발생하지 않은 캔틸레버 세로보 연결부의 상류측(게이지 번호 : 7)과 하류측(게이지 번호 : 8)에 부착한 변형률게이지로부터 획득한 주응력이력파형의 일례를 나타내면 그림 4.7과 같다.

그림 4.7에서와 같이 균열이 발생하지 않은 캔틸레버 세로보의 경우 열차가 하행선 통과시에 하류측에 부착한 변형률게이지(게이지 번호 : 7)에서는 압축응력만이, 상류측에 부착한 변형률게이지(게이지 번호 : 8)에서는 인장응력만이 발생하였으며, 또한 그림 4.6으로부터 면내응력 및 면외응력파형으로 구분하여 나타내면 그림 4.8과 같다.

그림 4.8에서와 같이 피로균열이 발생하지 않은 캔틸레버 세로보에서는 면외응력이

면내응력의 3배 정도 크게 발생하였다. 그림 4.5와 그림 4.7에서의 주응력성분이 각각 인장과 압축이 나타나는 이유는 하중이 직접 전달되는 궤도가 세로보 내측으로 설치되어 있어 세로보 하부가 벌어지고자 하는 성질을 갖기 때문이며, 또한 균열발생부는 세로보에서 발생하는 진동의 영향으로 2차응력파형 성분을 나타내고 있다.

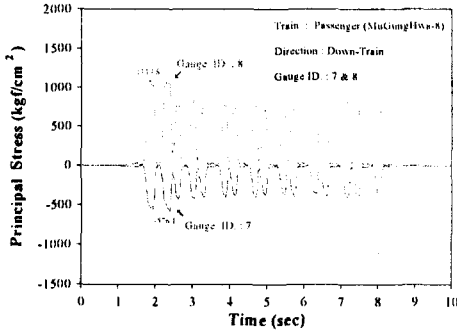


그림 4.7 균열이 발생하지 않은 캔틸레버 세로보 연결부에서의 주응력이력파형의 일례

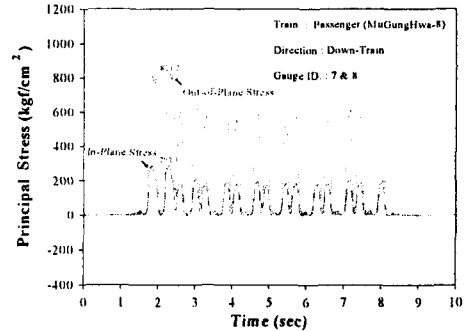


그림 4.8 균열이 발생하지 않은 캔틸레버 세로보 연결부의 면내·외응력파형의 일례

한편 철도교에서 하중체계, 구조상세 및 진동 등의 특성이 응력이력파형 및 피로손상에 미치는 영향을 평가하기 위해서 하중전달부재인 세로보와 가로보를 중심으로 이들의 영향을 검토하였다. 앞에서 나타낸 주응력이력파형결과로부터 응력빈도히스토그램을 작성한 후 RMC 등가응력을 산정하고 이 결과에 기초해서 수정마이너법칙을 이용해서 피로수명을 산정한 결과를 나타내면 그림 4.9 및 그림 4.10과 같다.

본 연구에서는 도로교에서 등가응력 및 피로수명을 산정할 때 일반적으로 적용되고 있는 25%의 컷오프 비율을 철도교에의 적용가능성을 확인하기 위해서 컷오프비율을 약 5%씩 증가시키면서 최대 30%까지 컷오프를 실시해서 RMC 등가응력 및 피로수명을 산정하였다.

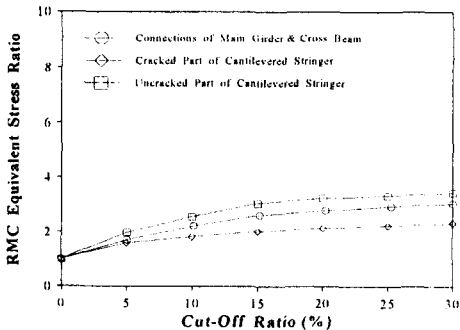


그림 4.9 각 부재별 등가응력 산정결과

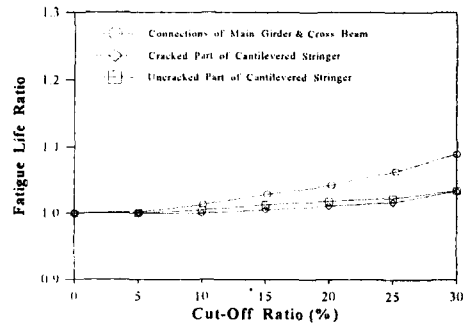


그림 4.10 각 부재별 피로수명 산정결과

그림 4.9 및 그림 4.10에서와 같이 컷오프 비율에 따라 등가응력 및 피로수명이 다소 달라지는 것을 알 수 있으며, 컷오프비율 약 15% 전후로 등가응력이 일정한 값을 나타내며, 피로수명에 미치는 영향이 작은 것을 알 수 있다. 따라서 철도교의 경우 도로교

에서 적용하는 컷오프 비율인 25%보다 약 15% 전후의 컷오프비율을 적용해서 철도교의 피로안전성 평가를 실시하는 것이 바람직한 것으로 생각된다.

5. 결 론

- (1) 본 연구대상 교량의 주부재의 경우 피로안전성은 충분히 확보하고 있는 것으로 생각된다.
- (2) 본 연구대상 교량의 2차부재 연결부에서 발생한 피로균열은 모두 면외응력의 영향 때문인 것으로 생각된다.
- (3) 철도교의 경우 컷오프비율을 15% 내외에서 설정하여 피로안전성 평가를 실시할 것을 제안한다.

참고문헌

- (1) 日本土木學會編, “鋼橋における劣化現象と損傷の評価”, (株)丸善, pp.10-pp.12, 1996.
- (2) 阿部英彦, “鐵道橋における疲勞と對策”, 日本鋼構造協會誌, 1979.
- (3) 阿部允, “最近鐵桁の變狀對策”, 鐵道土木, 1984.
- (4) 三木千壽, 西川和廣, J.W.Fisher, “鋼橋の疲勞損傷とその檢査”, 橋梁と基礎, pp.17-pp.21, 1986.
- (5) 日本道路協會橋梁委員會 編, “鋼橋の疲勞”, (株)丸善, pp.1-pp.38, 1997.
- (6) 日本鋼構造協會編, “鋼構造物の疲勞設計指針・同解説”, 技報堂出版, pp.5-pp.12, 1993.