

실동하중에 의한 강판형철도교의 응력변도해석

Stress Histogram Analysis of Steel Plate Girder Railway Bridge due to Service Load Histories

황 인 구* · 김 언 태**

ABSTRACT

Despite the number of steel bridges being under in service more than 50 years reaches about 50% in present, the quantitative estimation in maintenance on steel railway bridges is not possible because a ton of the field data in the bridges have not been plentifully accumulated. Therefore, a series of field tests on the steel plate girder bridge, the typical types of steel railway bridges, are executed, and the stress characteristics of main members in steel plate girder railway bridges are quantitatively estimated in this study.

1. 서론

현재 우리나라에서 공용중인 강철도 교량의 50% 이상이 공용기간 50년 이상 경과된 구조물로, 이와 같이 공용기간이 오래된 강철도 교량의 내구성에 영향을 미치는 주된 연화손상으로 피로와 부식이 보고되고 있다.

강철도 교량은 하중제하 위치가 명확하고 동과하중을 거의 정확하게 추정할 수 있어, 각 부재에 대한 응력발생 특성을 정량적으로 분석, 평가하는 것은 공용기간이 오래된 구조물이 많은 강철도 교량의 상황을 고려할 때 강철도교의 합리적인 유지관리시스템 구축에 매우 유익한 자료를 제공할 것으로 사료된다. 그러나 현재 실제 공용중인 강교량의 각 부재별 실측자료의 축적이 미흡한 실정이라서 유지관리시 구조물의 특성을 반영하는 정량적인 평가가 체계적으로 이루어지지 않고 있다.

특히 강철도 교량에 대한 피로손상 평가시 구조물이나 부재의 피로손상에 영향을 미치지 않는 응력변위인 컷오프 비율을 철도교의 발생응력 특성을 충분히 고려하지 않고 현재 도로교에서 주로 적용되고 있는 25%를 사용하고 있어 정확한 피로평가를 위해서는 컷오프 비율이 피로평가에 미치는 영향을 파악하는 것도 중요한 요소로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 강철도 교량의 대표적인 형식인 강판형교를 대상으로 일련의 현장계측을 실시한 자료를 분석하여, 이로부터 실제 운행하는 각 열차 하중별로 주형에 발생하는 응력특성을 정량적으로 분석하였으며, 현재 일반적으로 강철도 교량에서 적용되고 있는 컷오프비율에 대해 그 적정성을 분석, 평가하였다.

* 서울산업대학교 철도전문대학원 석사과정

** 서울산업대학교 교수

2. 대상교량의 개요

본 연구에서는 국내 강철도교량의 대표적인 구조형식인 리벳접합형식의 강관형교를 대상으로 하였으며, 대상교량은 경부선상에 1944년에 준공되어 현재까지 약 60년간 공용중에 있으며, 총연장 38.26m, 폭선반경 800m인 곡선교로, 대상교량의 상세를 정리해서 나타내면 표 1 및 Fig.1과 같다.

표 1. 대상교량의 개요

교량명	준공년도	구조형식	경간장	단·복차	실제하중
○○교	1944년	2경간 단순교	18.0m	단선	LS-22

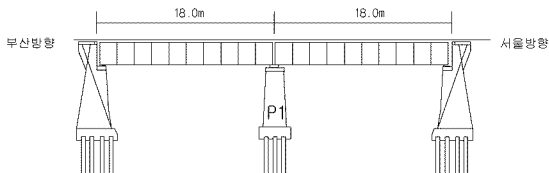


Fig.1 대상교량의 모식도

3. 변형률계이지 부착위치

본 연구에서는 강관형교 주부재의 실동응력을 측정하기 위해서 주형 하부플랜지에 변형률계이지를 부착하였으며, 계이지 부착위치는 Fig.2와 같다. 또한 대상교량 주부재에서 발생하는 실동응력을 측정하기 위해서 현재 운행중인 여객열차 중 무궁화호와 새마을호, 그리고 화물열차를 대상으로 일련의 무작위 주행시험을 실시하였다.

한편 실동응력 측정시 최악의 하중조건을 도출하기 위해서 무궁화호의 경우 기관차 2량이 연속으로 편성되어 있는 열차, 새마을호의 경우 8량 2편성인 총 16량 열차를 대상으로 선정하였으며, 화물열차의 경우 화차가 수가 가장 많은 화물열차를 측정대상으로 선정하였다.

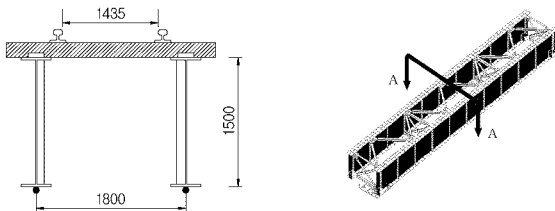
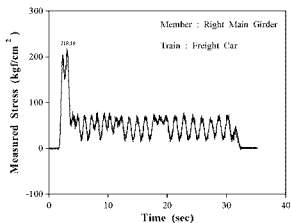


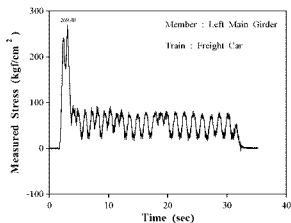
Fig.2 변형률계이지 부착위치

4. 현장계측결과

본 연구에서 대상으로 한 교량의 주형에 대한 현장계측결과를 가장 통행이 빈번한 화물열차, 여객 열차 중 무궁화호와 새마을호에 대해서 정리해서 나타내면 Fig.3 - Fig.5와 같다.

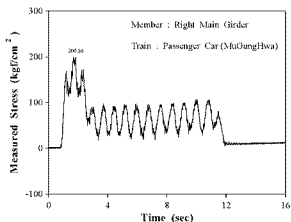


(a) 우측 주형 하부플랜지

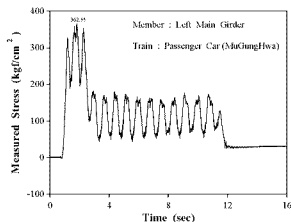


(b) 좌측 주형 하부플랜지

Fig.3 화물열차 주행시 각 부재별 응력이력과정

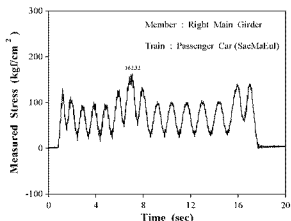


(a) 우측 주형 하부플랜지

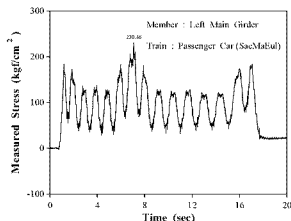


(b) 좌측 주형 하부플랜지

Fig.4 여객열차(무궁화) 주행시 각 부재별 응력이력과정



(a) 우측 주형 하부플랜지



(b) 좌측 주형 하부플랜지

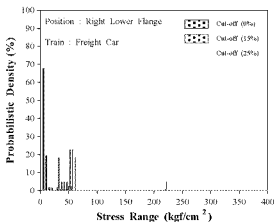
Fig.5 여객열차(새마을) 주행시 각 부재별 응력이력과정

Fig.3~Fig.5에서와 같이 열차통과시 주행에서 발생하는 최대응력은 기관차 통과시에 가장 크게 나타나고 있으며, 열차통과위치에 따라 최대응력은 무궁화호의 경우 약 2.0배, 새마을호의 경우 1.5배 정도 차이가 발생하는 것을 알 수 있었다. 또한 주형의 응력이력과정에서 알 수 있는 바와 같이 지간 길이에 따른 영향선의 특성에 의하여 객차수만큼 응력의 피크값이 발생하는 것을 알 수 있었는데, 이는 강관형교 주형의 경우 열차하중을 직접 지지하는 구조이기 때문인 것으로 생각된다.

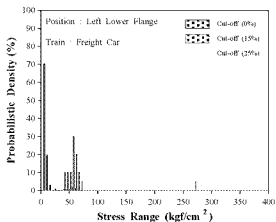
그러나 본 측정대상교량의 경우 좌·우측 주형간에 최대 약 1.8배의 응력차이가 있는 것을 알 수 있는데, 이는 본 대상교량이 곡률반경 800m의 곡선교량이기 때문인 것으로 생각되지만 지점의 상태, 부재의 노후정도 등에도 영향을 받기 때문에 이에 대한 정확한 판단은 향후 구조해석이나 정밀의관조사가 수반되어야 가능할 것으로 생각되므로 이에 대한 추가적인 분석이 필요할 것으로 생각된다.

5. 응력빈도하스토그램

본 연구에서는 컷오프를 실시하지 않은 경우와 각 5%씩 컷오프비율을 증가시키면서 최대 25%까지 컷오프를 실시하여 응력빈도해석을 실시하였는데, 본 연구에서 대상으로 한 교량에 대해서 컷오프 0%, 컷오프 15% 및 컷오프 25%에 대한 응력빈도하스토그램을 작성한 결과는 Fig.6 ~ Fig.8과 같다.

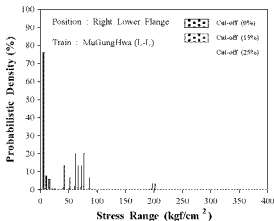


(a) 우측 주형 하부플랜지

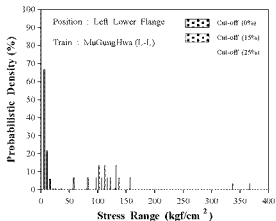


(b) 좌측 주형 하부플랜지

Fig.6 화물열차 주행시 각 부재별 응력빈도하스토그램

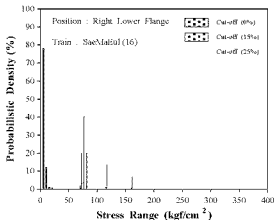


(a) 우측 주형 하부플랜지

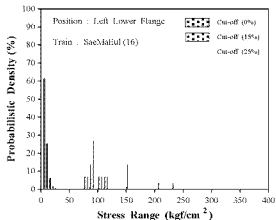


(b) 좌측 주형 하부플랜지

Fig.7 여객열차(부궁화) 주행시 각 부재별 응력이력과정



(a) 우측 주형 하부플랜지



(b) 좌측 주형 하부플랜지

Fig.8 여객열차(새마을) 주행시 각 부재별 응력이력과정

Fig.6 ~ Fig.8에서와 같이 강관형교 주형의 경우 기관차하중과 객차하중에 의한 응력변동범위가 분명하게 나타나고 있으며, 컷오프비율에 따라서 응력빈도분포특성이 상이하게 나타나는 것을 알 수 있었다. 또한 컷오프비율을 25%로 설정하는 경우 객차나 화차의 속하중의 변동범위가 작은 경우 객차나 화차의 발생응력을 충분히 반영하지 못하기 때문에 컷오프비율을 25%로 설정하는 경우 부재에서 발생하는 등가응력을 정확하게 산정할 수 없다. 그러나 컷오프비율을 15% 정도로 설정하는 경우 속하중의 변동범위가 작은 경우에도 객차나 화차의 속하중 반복회수를 정확하게 반영하고 있으므로 현재 구조물의 피로수명 산정시 25%로 일괄적으로 적용되고 있는 컷오프비율을 조정할 필요가 있을 것으로 생각된다.

한편 Fig.6 ~ Fig.8의 결과에 기초해서 RMC법에 기초해서 등가응력을 산정한 결과를 정리해서 나타내면 Fig.9와 같다.

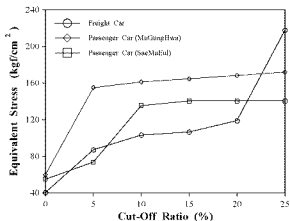


Fig.9 각 열차별 등가응력 산정결과

Fig.9에서와 같이 각 열차별 RMC 등가응력은 대략 컷오프비율 약 15% 내외에서 일정한 값으로 수렴하는 경향을 나타내고 있는데, 이로부터 강관형 철도교 주형의 적정 컷오프비율은 기존의 25%에서 15% 정도로 조정되어야 할 것으로 생각된다.

또한 위에서 산정한 등가응력의 크기는 기존 강구조물 피로설계지침에서 제시하고 있는 2,000,000 회 기준의 피로한계응력인 $1580(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ 과 비교하면 주형의 발생응력이 피로한계응력의 약 15% 정도에 지나지 않으므로 주형의 피로수명은 일반적으로 무한수명이라고 가정하여도 큰 문제가 없을 것으로 생각된다.

7. 결 론

- (1) 강관형 철도교 주형의 경우 열차하중과 구조적 거동특성을 비교적 정확하게 반영하고 있었으며, 응력빈도분포특성이 컷오프비율에 따라서 현저하게 변화하였다.
- (2) 강철도교의 합리적인 컷오프비율을 현재 도로교에서 적용하고 있는 컷오프비율과 달리해서 약 15% 정도로 조정하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.
- (3) 강관형 철도교 주형의 등가응력이 피로한계응력을 하회하고 있어 피로에 큰 영향은 없는 것으로 문제가 없는 것으로 나타났으나, 응력집중이 주로 발생하는 용접부 및 철취부에 대한 피로평가가 필요하다.
- (4) 향후 응력빈도분석 결과를 토대로 연간 통과하중에 의해 신제 구조물에 발생하는 신응력을 열차 유형별로 정리, 분석하여 피로 설계 및 평가에 대한 기초 자료로 활용하고자 한다.

참 고 문 헌

- (1) 이 병희, “강철도 트러스교의 응력분포특성에 관한 연구”, 한양대학교 산업대학원 석사학위논문, pp.7-8, 1997.
- (2) 이 성욱, “철도강구조물의 유지관리”, 한국강구조학회지, 제12권, 제3호, pp.30-35, 2000.
- (3) 정 태호, “부삭에 의한 단면손실이 강철도교의 긴전성에 미치는 영향”, 한양대학교 대학원 석사학위논문, pp.30-73, 2001.
- (4) 김갑수, 이준석, 최일운, 홍성욱, “국내 강철도교의 열화손상 사례분석”, 2002년도 한국강구조학회 학술발표대회논문집, pp.32-pp.40, 2002.
- (5) 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.