

현장계측결과에 기초한 노후 강트러스 철도교의 피로수명평가

채원규 · 민인기* · 홍성욱**

신구대학 토목과 · *우송공업대학 토목과 · **한림정보산업대학 토목과

1. 서 론

현재 우리나라에서 공용중인 강철도교의 50% 이상이 공용기간 50년 이상 경과된 교량으로 구성되어 있지만 실교량에서 각 부재별 실측자료의 축적이 미흡한 실정이어서 유지관리시 구조물의 특성을 충분히 반영하는 정량적인 평가가 체계적으로 이루어지고 있지 않은 실정이다.

특히 피로손상평가지 구조물이나 부재의 피로손상에 영향을 미치지 않는 응력범위인 컷오프비율을 강철도교에서의 발생응력특성을 충분히 고려하지 않은채 현재 도로교에서 적용하고 있는 컷오프비율인 25%로 일률적으로 적용하고 있으므로 정확한 피로평가를 위해서는 컷오프비율이 피로평가에 미치는 특성을 파악하는 것도 중요한 요소로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 공용중인 강철도교량 중에서 노후화가 비교적 많이 진행된 것으로 판단되는 대표적인 형식인 강트러스교를 대상으로 일련의 현장계측을 실시하고 이 현장계측결과를 분석하고, 이로부터 강철도교량의 구조형식별 각 부재의 응력발생특성을 정량적으로 평가하였으며, 현재 강철도교량에서 적용하고 있는 컷오프비율의 적정성 여부를 검토하고 합리적인 컷오프비율을 제안하고자 한다.

2. 대상교량의 개요

본 연구에서 대상으로 한 강트러스교는 그림 2.1과 같이 약 1926년에 준공되어 약 75년간 공용중으로, 상부구조는 총 3경간의 단순와렌트러스교 형식과 총 12경간의 하로판형교 형식으로 구성된 총경간 560m이고 설계하중이 LS-25인 교량을 선정하였다.

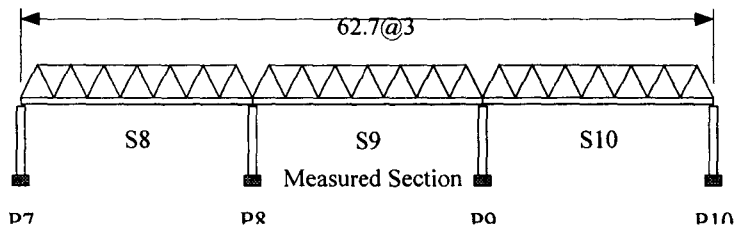


그림 2.1 강트러스교의 개요

3. 변형률게이지 부착위치

강트러스 철도교의 각 부재별 실동응력을 측정하기 위해서 그림 3.1에서와 같이 S9 경간 중앙부의 사재와 가로보, 세로보 및 하현재에 대해서 변형률게이지를 부착하였으며, 무작위주행시험은 현재 본 연구대상교량을 통행하고 있는 여객열차와 화물열차를 대상으로 실시하였다.

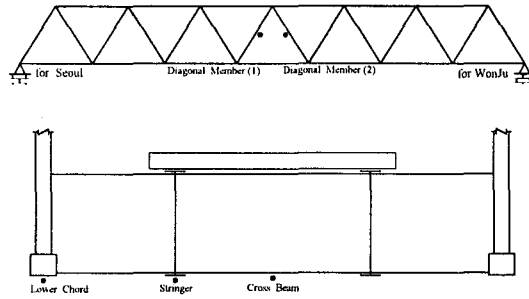
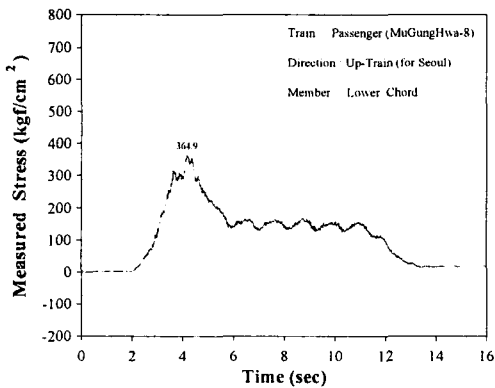


그림 3.1 강트러스교의 변형률게이지 부착위치

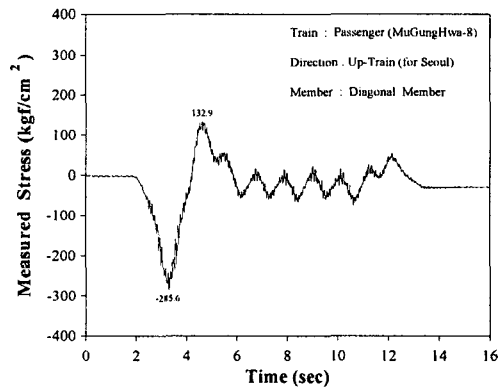
4. 현장계측결과

본 연구에서는 강트러스교를 구성하는 주요부재인 하현재, 사재, 세로보 및 가로보에 대해서 일련의 무작위주행시험을 실시하고 대상교량을 통과하는 열차들에 대해서 응력 이력파형을 측정하였다.

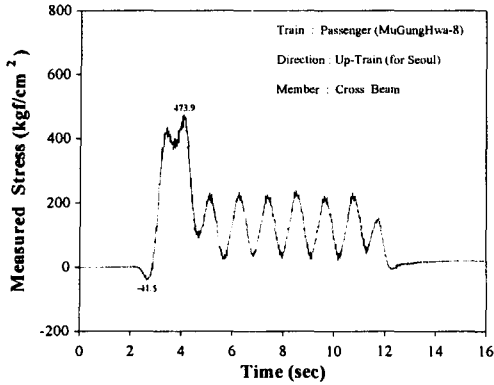
본 연구에서 대상으로 한 강트러스교 구간의 각 부재에 대한 현장계측결과를 여객열차 중 가장 통행이 빈번한 무궁화호에 대해서 정리해서 나타내면 그림 4.1과 같다.



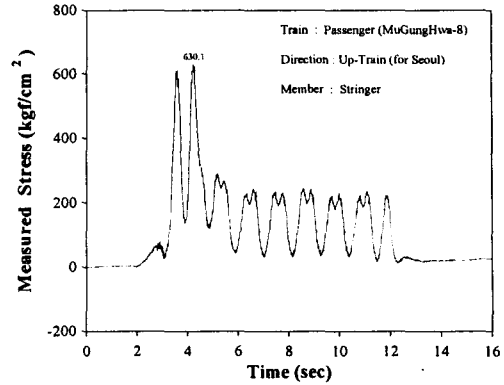
(a) 하현재



(b) 사재



(c) 가로보



(d) 세로보

그림 4.1 강트러스교의 각 부재별 응력이력파형

그림 4.1에서와 같이 하중이 직접 재하되는 바닥틀 부재중에서 세로보는 단순보의 거동특성을 나타내고 있지만 가로보의 경우 연속보의 거동특성을 나타내고 있는 것을 알 수 있었는데, 이는 오랜 공용기간으로 인한 세로보 단부의 연결부의 강성저하에 기인하는 현상으로 생각되며, 가로보와 세로보 모두 트러스 부재에 비해서 응력변화가 크게 나타나고 대차하중의 영향도 비교적 분명하게 나타나는 것을 알 수 있었다.

그러나 트러스 부재중에서 사재의 경우 열차주행에 따라 사재에 대한 영향선과 같이 인장 및 압축응력의 피크값이 번갈아 나타나고 있었다. 또한 하현재는 열차하중이 바닥틀 시스템에 의해 분배되어 하중이 큰 기관차 하중의 영향만 현저하게 나타나며 객차하중에 의한 응력의 변화는 비교적 미미한 것을 알 수 있었다.

이로부터 열차하중에 의한 발생응력은 가로보와 세로보에서 가장 크게 발생하는 것을 알 수 있는데, 이는 바닥틀 구조가 대상교량을 주행하는 열차하중을 직접 지지하는 구조이기 때문으로 생각된다.

따라서 위에서 나타낸 응력이력파형의 특성으로부터 세로보 및 가로보는 설계가정과는 달리 양단 연결부에서 고정단모멘트가 발생되어 연속보와 유사한 거동을 나타내기 때문에 이러한 것을 고려해서 피로손상을 평가하는 것이 향후 강철도교의 유지관리에서 중요한 것으로 생각된다.

5. 응력빈도히스토그램

위의 4장에서 구한 응력이력측정결과에 기초해서 강트러스교의 각 부재에 대한 응력빈도히스토그램을 Rainflow Counting Method을 이용해서 작성하였다.

여기서, 각 부재에서 발생하는 응력빈도히스토그램 작성시 부재의 피로손상에 거의 영향을 미치지 않을 정도의 미소한 응력수준에 대해서 컷오프(cutoff)를 실시하는데, 일반적으로 도로교에서는 통과차량의 구성을 고려하여 최대응력의 25%이하의 응력에 대해서 컷오프를 실시한다.

이에 본 연구에서는 컷오프를 실시하지 않은 경우와 각 5%씩 컷오프비율을 증가시켜가면서 최대 25%까지 컷오프를 실시하였으며, 본 연구에서 대상으로 한 강트러스교

에 대한 응력이력측정결과를 이용해서 컷오프 0%와 컷오프 25%에 대한 응력빈도히스토그램을 작성한 결과를 나타내면 그림 5.1과 같다.

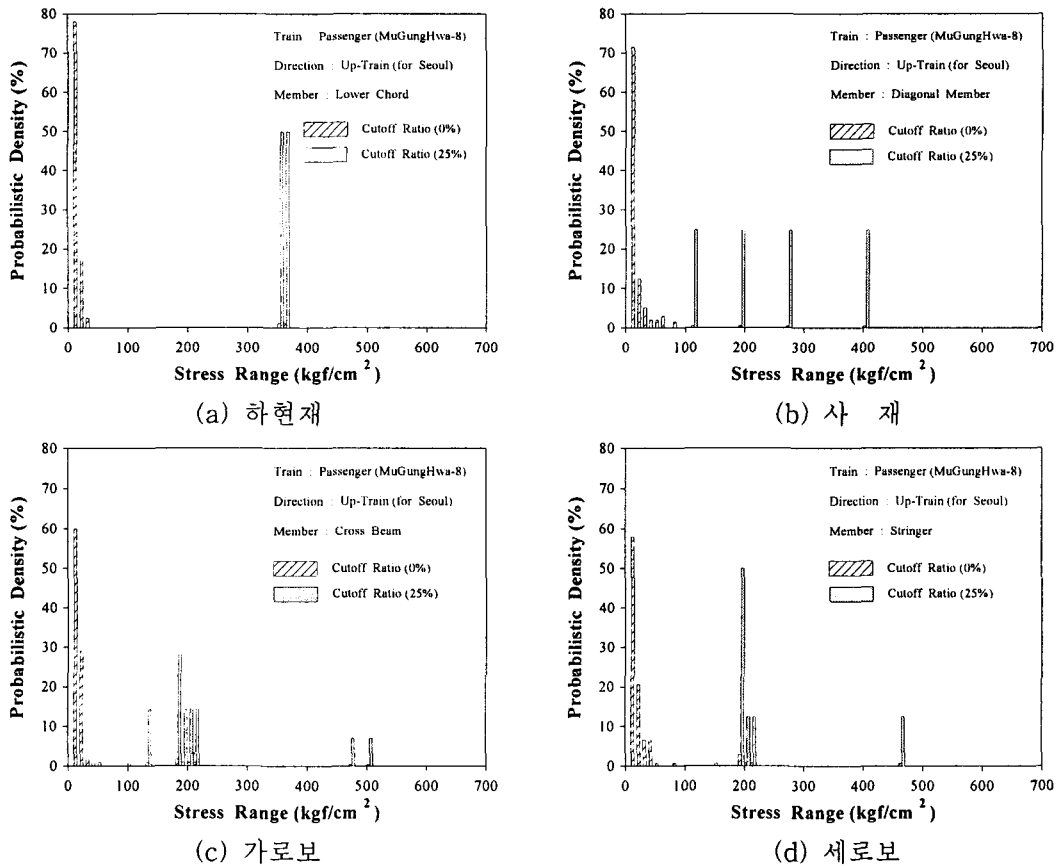


그림 5.1 강트러스교의 각 부재별 응력빈도히스토그램

그림 5.1에서와 같이 강트러스교의 경우는 교량을 구성하는 트러스부재와 바닥틀 부재에서 컷오프비율에 따른 응력빈도히스토그램이 다른 양상을 보이고 있는데, 트러스부재 중에서 하현재의 경우 컷오프비율을 25%로 적용하는 경우 객차하중에 의한 응력변동범위가 상쇄되고 기관차 하중에 의한 응력변동범위만이 나타나는 것을 알 수 있었다.

이로부터 강트러스교에 대한 피로안전성 및 피로수명 평가시 모든 부재에 대해 일괄적으로 컷오프비율을 25%를 적용하는 것은 다소 무리가 있을 것으로 생각된다.

6. 등가응력

본 연구에서 대상으로 한 강트러스교에 대해서 등가응력을 산정한 결과를 컷오프 비율 0%인 경우와 25%인 경우에 대해서 나타내면 표 6.1과 같다.

표 6.1 강트러스교의 각 부재별 등가응력 (kgf/cm²)

부재명	컷오프비율 (%)	
	0	25
하현재	104.62	360.07
사재	80.84	288.61
세로보	140.62	359.08
가로보	111.96	283.25

또한 컷오프비율에 따른 등가응력의 변화특성을 정량적으로 평가하기 위해서 최소 0%에서 최대 25%까지 각 5%별로 컷오프비율을 달리해서 강트러스교의 각 부재별 등가응력을 산정한 결과를 나타내면 그림 6.1과 같다.

본 연구에서 컷오프비율을 달리하며 등가응력을 평가한 것은 변동응력이 작용하는 구조물에서 등가응력을 사용해서 피로평가를 실시하는 경우 컷오프 0%의 경우는 발생빈도가 높은 피로한계 이하의 작은 응력범위도 모두 고려하게 되므로 등가응력이 낮게 평가되어 피로수명을 과대평가할 수 있으며, 컷오프비율이 높게 되면 피로에 영향을 주는 응력범위도 제거되어 피로수명을 과소평가할 수 있기 때문이다.

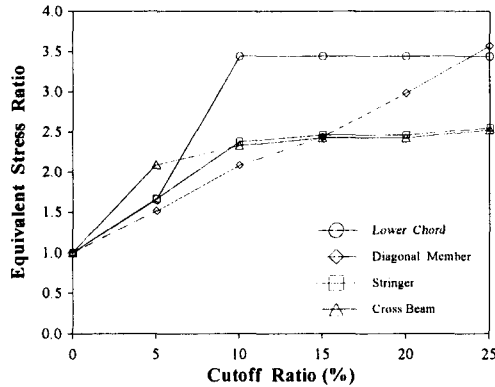


그림 6.1 컷오프비율에 따른 강트러스교의 등가응력

그림 6.1에서와 같이 바닥틀 부재인 가로보와 세로보의 등가응력은 컷오프비율 약 10%~15% 정도에서 수렴하는 경향을 나타내고 있으며, 트러스부재인 사재와 하현재의 경우에는 컷오프비율 20% 정도에서 수렴하는 경향을 나타내고 있었다. 이러한 이유는 응력이력파형 산정결과에서 설명한 바와 같이 가로보와 세로보는 하중을 직접 지지하기 때문에 실패통하중에 의한 발생응력이 거의 정확하게 반영되어 컷오프비율의 영향이 작기 때문이다.

그러나 트러스 부재인 사재와 하현재의 경우 기관차와 객차 통과시의 발생응력의 차이가 크기 때문에 컷오프비율이 낮은 경우 객차하중에 의한 영향이 삭제되어 발생응력의 영향을 정확하게 평가하기 어렵다. 이로부터 강철도교에 대한 피로안전성 및 피로수명 평가시 보다 안전측의 평가를 하기 위해서 적용가능한 합리적인 컷오프비율을 약 15% 정도에서 설정하는 것이 타당할 것으로 생각된다.

한편 위에서 나타낸 등가응력 산정결과에 기초해서 컷오프비율이 피로수명에 미치는

영향을 평가하기 위하여 수정마이너법칙을 이용해서 컷오프비율에 따른 피로수명 산정 결과를 나타내면 그림 6.2와 같다.

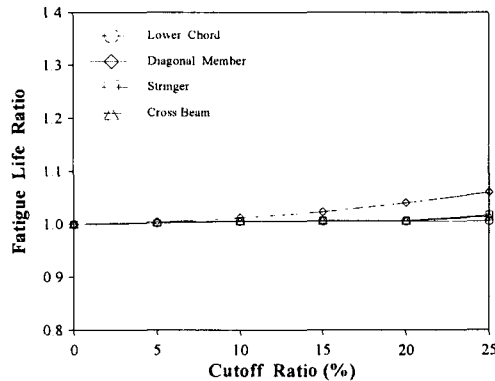


그림 6.2 컷오프비율에 따른 강트러스교의 피로수명

그림 6.2에서와 같이 강트러스교의 바닥틀 부재인 가로보와 세로보의 피로수명은 컷오프비율 약 15% 정도까지는 거의 일정한 경향을 나타내고 있으며, 트러스 부재인 사재와 하현재의 경우에는 컷오프비율 20% 정도까지는 거의 일정하게 나타나는 것을 알 수 있었다. 즉, 컷오프비율이 피로수명에 거의 영향을 미치지 않는 것으로부터 강철도교에서는 컷오프비율을 15~20%로 설정하는 것이 강철도교의 피로평가에 효율적인 것을 알 수 있었다.

7. 결 론

- (1) 세로보 및 가로보는 설계가정과는 달리 양단 연결부에서 고정단모멘트가 발생되어 연속보와 유사한 거동을 나타내었다.
- (2) 수평브레이싱과 같은 2차부재의 경우 발생응력범위는 주부재에 비하여 작지만 진동에 따른 2차응력성분이 많이 나타나는 것을 알 수 있었다.
- (3) 강트러스교의 각 부재 중 하현재의 경우 응력빈도히스토그램의 특성이 컷오프비율에 따라서 현저하게 변화하였다.
- (4) 강철도교의 합리적인 컷오프비율을 현재 도로교에서 적용하고 있는 컷오프비율과 달리해서 약 15%~20%로 조정하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.
- (5) 강철도교량에 대한 유지관리시 열차하중에 의한 응력변동범위가 비교적 심한 바닥틀 구조인 가로보와 세로보에 대해서 보다 주의를 기울일 필요가 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- (1) 이 범희, “강철도 트러스교의 응력분포특성에 관한 연구”, 한양대학교 산업대학원 석사학위논문, pp.7-8, 1997.

- (2) 이 승수, “강철도교의 응력발생모형을 이용한 피로수명추정에 관한 연구”, 수원대학교 대학원 석사학위논문, pp.1-2, 1997.
- (3) 이 성욱, “철도강구조물의 유지관리”, 한국강구조학회지, 제12권, 제3호, pp.30-35, 2000.
- (4) 정 태호, “부식에 의한 단면손실이 강철도교의 건전성에 미치는 영향”, 한양대학교 대학원 석사학위논문, pp.30-73, 2001.
- (5) 경갑수, 이준석, 최일윤, 홍성욱, “국내 강철도교의 열화손상 사례분석”, 2002년도 한국강구조학회 학술발표대회논문집, pp.32-pp.40, 2002.
- (6) Albrecht P., Naeemi A. H., “Performance of Weathering Steel in Bridges”, Report 272, Nat. Cooperative Highway Res. Program, 1984.
- (7) Komp M. E., “Atmospheric Corrosion Ratings of Weathering Steels - Calculations and Significance”, Materials Performance, Vol.26, No.7, pp.42-44, 1987.
- (8) 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.