

강철도교의 부식 및 피로손상 사례조사

채원규 · 홍성욱*

신구대학 토목과 · 한림정보산업대학 토목과

1. 서론

철도는 국가의 물류 및 인적자원을 수송하는 주요한 수송수단으로 1899년 9월 연장 33.2km의 경인선을 시작으로 선로가 지속적으로 증설되어 현재 총영업연장은 6,683km에 달하고 있다. 현재 국내에는 총 2,500여개소의 철도교가 있는데, 이 중에서 강교량에 대해서 연장이 차지하는 비율은 약 48%이고, 공용기간이 50년 이상인 강교량이 전체교량의 약 46%를 차지하고 있으므로 이들 강철도교는 노후화가 상당히 진행되고 있을 것으로 판단된다.

강교량에서 발생하는 주된 열화현상으로는 피로, 부식 및 지연파괴를 들 수 있다. 이러한 열화현상으로 인한 구조물 붕괴의 가능성은 희박하지만 열화손상에 대한 원인분석 및 보수·보강대책이 적절하게 수립되지 않는다면 과거 성수대교 붕괴사고나 당산철교 철거사건에서 볼 수 있었던 바와 같이 사회·경제적으로 막대한 파급효과를 미칠 수 있다.

현재 공용중인 강철도교에서 피로, 부식 등과 같은 열화손상에 대한 현황을 정확하게 파악하고 정성적인 열화손상정도가 강철도교에 미치는 영향을 정량적으로 평가하는 것은 강철도교의 건전성 확보 및 체계적인 유지관리방안의 수립에 있어서 매우 중요한 요인이 된다.

현재 국내 강철도교에 대한 유지관리는 일부 강교량에 대해서는 초기재하시험이 실시되어 이들 자료를 유지관리에 활용하고는 있으나 대부분 교량의 유지관리에서는 열화손상이나 열화손상의 통계자료에 기초해서 객관적이고 정량적으로 교량의 열화손상정도를 판단하지 않고 있는 실정이다.

강철도교의 열화손상은 강철도교에 작용하는 하중특성과 구조적 특징 등에 영향을 받으므로 이들 특성이 강철도교의 열화손상에 미치는 영향에 대한 연구에 기초해서 효율적인 유지관리를 실시하여야만 강철도교의 열화손상방지와 성능향상을 위한 사전예방적 유지관리체제를 수립할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 국내에서 실시되고 있는 교량안전진단결과에 기초해서 국내 강철도교에서 발생하고 있는 열화손상유형을 체계적으로 정리, 분석하고 기존의 외국의 열화손상결과와 비교함으로써 향후 강철도교의 합리적 유지관리체제를 수립하기 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 대상교량

본 연구에서 대상으로 한 강철도교는 총 100개소로 그림 2.1에서와 같이 트러스교 15개소, 판형교 85개소이며, 철도청에서 1994년~2001년까지 실시한 강철도교 안전진단보고서의 외관조사결과를 기초로 열화손상유형을 정리하였다.

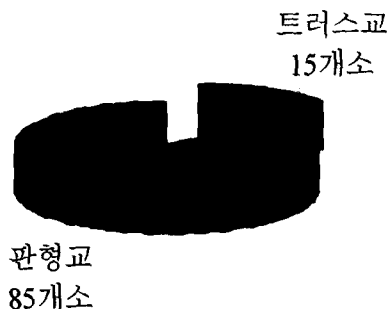


그림 2.1 분석대상 강철도교 현황

3. 국내 강철도교의 열화손상현황

3.1 피로손상현황

제 2 장에서 기술한 내용을 기초로 국내에서 현재 공용중인 강철도교의 피로손상 조사결과를 정리해서 나타내면 그림 3.1과 같다.

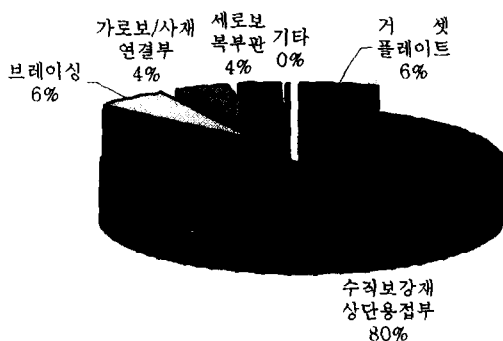


그림 3.1 피로손상 발생부재의 분포특성

그림 3.1에서와 같이 피로손상은 판형교와 트러스교 모두에서 상부플랜지와 수직보강재 상단의 용접이음부에서 가장 많이 발생하고 있으며, 그 다음으로 수직브레이싱, 주형과 수평브레이싱 연결부재인 거셋플레이트, 특히 트러스교에서 사재와 가로보 연결부에서 피로손상이 자주 발생하는 것을 알 수 있다.

또한 주부재에서는 아직까지 피로손상이 발생한 사례를 보고되고 있지 않지만 리벳 접합형식의 강철도교의 주부재에서 6.25 동란으로 인해서 전쟁중 주부재에 발생한 총탄으로 인한 피로균열이 발견되고 있다.

용접접합형식의 강철도교의 경우 교량의 건설이 6.25동란 이후에 주로 이루어진 관계로 리벳접합형식의 강철도교에서 발견되는 피로손상은 나타나고 있지 않지만 2차부재 연결부에서 피로손상이 자주 발생하고 있는 것을 알 수 있다.

이러한 피로손상 발생원인은 대상피로손상에 대한 정밀한 계측이 실시되지 않아서 정확원 원인규명은 다소 곤란하다고 하더라도 개략적으로 3장에서 설명한 일본에서의 피로손상사례 및 원인분석과 비교해서 현재 추정할 수 있는 원인으로는 강철도교 설계당시에 고려하지 못한 면외용력의 발생으로 인한 2차용력 및 주형간의 변위차이 및 열차주행으로 인한 진동 등을 생각할 수 있다.

예를 들어 가장 많은 피로균열이 발생된 것으로 보고되고 있는 수직보강재 상단부 용접부의 경우 수직보강재에 지지되지 않은 상부플랜지의 면외변형 및 진동이 피로균열 발생원인으로 판단되며, 일부 피로균열은 기존에 발생된 피로균열을 채용접한 부분에서 다시 발생하였다. 이와 같은 피로손상을 방지하는 경우 경우에 따라서 상부플랜지를 관통해서 극부재까지 성장할 가능성이 있으므로 균열특성을 보다 상세히 분류하고 이들에 대한 적절한 대책을 강구하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

3.2 부식손상현황

국내에서 현재 공용중인 강철도교의 부식손상 조사결과를 정리해서 나타내면 그림 3.2와 같다.

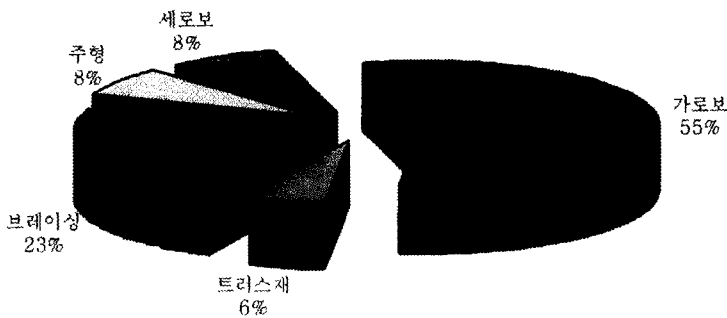


그림 3.2 부식손상 발생부재의 분포특성

그림 3.2에서와 같이 부식손상이 가장 현저하게 발생한 부재는 주로 바닥틀 구조를 형성하는 주형, 세로보 및 가로보임을 알 수 있으며, 특히, 가로보 복부판과 가로보 하부플랜지에서 부식손상이 다수 발견되고 있었다. 또한 위의 부재들에서 발생하는 부식손상은 전체부재에 걸쳐서 일정하게 발생하는 않고 국부적으로 피트(pit)의 형태로 발생해서 부식면적이 점차적으로 확대되는 것을 알 수 있었다.

이와 같이 부식손상이 바닥틀 구조에 다수 발생하는 이유는 기존에 건설된 강철도교의 형식이 대부분 개상식 구조이기 때문에 우수가 바닥틀 구조의 하부플랜지에 퇴적되기 때문인 것으로 생각되며, 특히 가로보에 집중적으로 발생하는 이유는 열차주행시 열

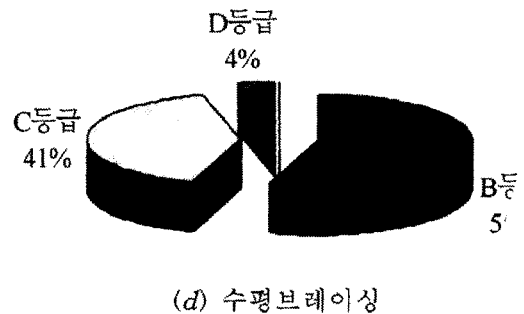
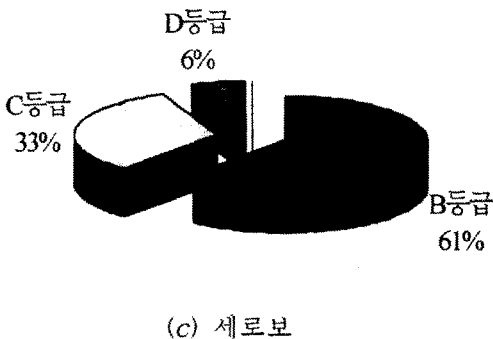
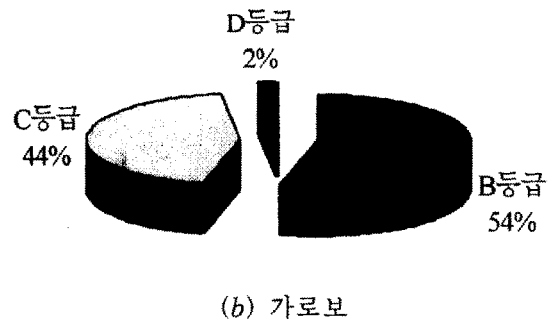
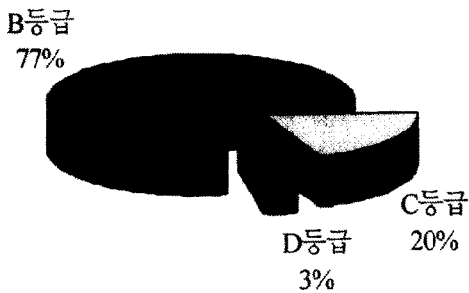
차에서 발생하는 각종 오물에 기인해서 오물들이 가로보의 복부판 하단부와 가로보 하부플랜지에 퇴적되기 때문인 것으로 생각된다.

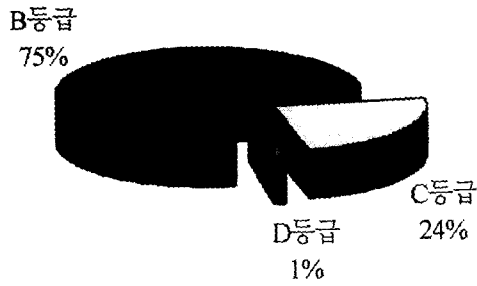
한편 앞에서 설명한 부식손상을 대상으로 강철도교의 구조별로 구분해서 각 부재별 손상등급을 구분해서 정리한 결과를 나타내면 그림 3.3 및 그림 3.4와 같다.

여기서, 그림에서 나타내고 있는 등급은 표 3.1에서 나타낸 바와 같이 건설교통부에서 발간한 교량 유지관리지침에서 규정하고 있는 등급을 의미한다.

표 3.1 부식손상 상태등급

등급	부식손상상태
A	변색, 표면양호, 부식없음
B	표면에 습기, 부식가능성
C	도장탈락, 국부적인 부식(10~25%)
D	부재 전반적 도장탈락, 부식면적 25% 가량
E	부재전면 부식확대, 부식면적 25% 이상, 단면손실



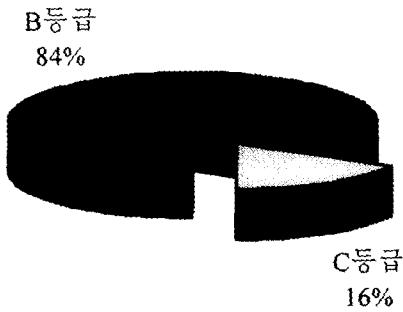


(e) 수직브레이싱

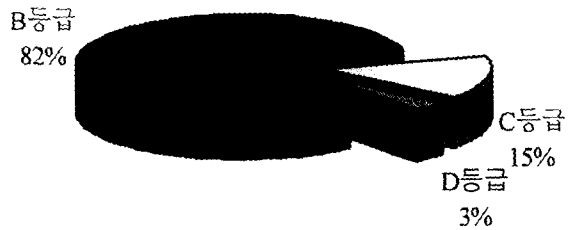
그림 3.3 판형교 각 부재의 부식손상등급

그림 3.3에서와 같이 강판형교를 구성하는 부재 중에서 대부분의 부재에 대해서 손상 등급은 B등급을 지배적임을 알 수 있으나 가로보, 세로보 및 수평브레이싱의 경우 현재 부식손상상태가 C등급인 경우도 다수 나타나고 있다.

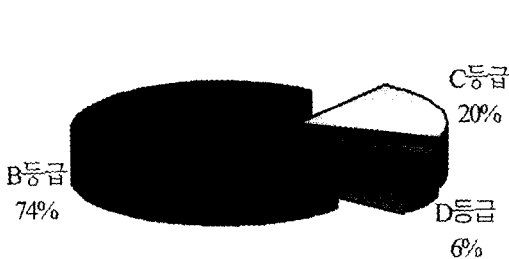
이러한 이유는 앞서서도 설명한 바와 같이 가로보, 세로보 및 수평브레이싱의 경우 기존 철도교의 구조가 개상식인 관계로 우수나 오수가 위의 부재에 퇴적되어 부재가 습한 환경에 빈번하게 노출되어 있기 때문인 것으로 생각된다. 또한 세로보의 경우 현재 상태가 D등급인 경우도 있는데 이는 주로 세로보 하부플랜지 상면의 부식에 기인하는 것으로 생각된다.



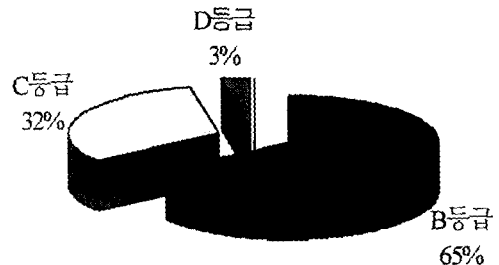
(a) 상현재



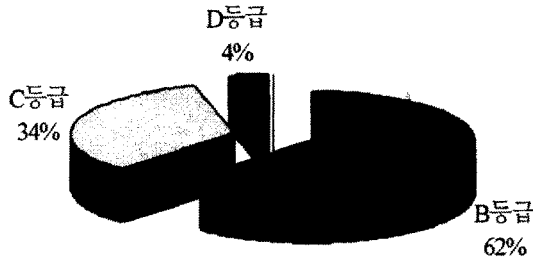
(b) 하현재



(c) 세로보



(d) 가로보



(e) 사재와 수직재

그림 3.4 트러스교 각 부재의 부식손상등급

한편 그림 3.4에서와 같이 강트러스교를 구성하는 부재 또한 강판형교와 유사한 경향을 나타내고 있으며, 바닥틀 구조를 형성하는 가로보와 세로보의 부식상태가 심각한 것을 알 수 있었다.

이로부터 향후 강철도교에 대한 유지관리시 부식에 대해서는 교축직각방향으로 배치된 구조부재를 우선적으로 관리하는 것이 필요하며, 특히 가로보, 세로보 하부플랜지 상면과 같이 습한 환경에 노출될 가능성이 많은 부재에 대해서는 유지관리시 상세대책이 필요할 것으로 판단된다.

3.3 파손 및 변상현황

국내에서 현재 공용중인 강철도교의 파손 및 변상현황 조사결과를 정리해서 나타내면 그림 3.5와 같다.

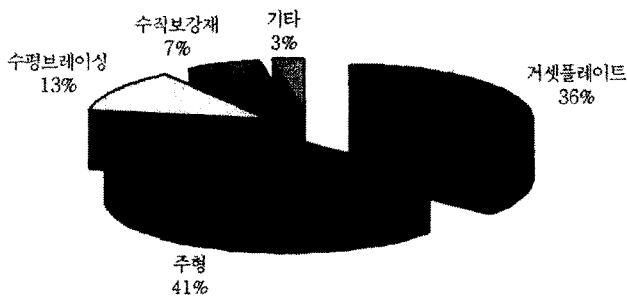


그림 3.5 파손 및 변상부재의 분포특성

현재 국내에는 파손 및 변상손상에 대한 정확한 규정이 없으며, 또한 기보고된 내용도 주관적으로 판단된 사항이 많기 때문에 본 연구에서는 파손이나 변상이 발생한 원인에 대해서 정량적으로 분석하기에는 다소 무리가 있으나 그림 3.5에서와 같이 손상 유형은 주로 철도교의 공용이력이 장기간인 점을 고려하면 한국전쟁중의 총탄에 의한 상이나 가설중 부재의 취급미숙으로 발생한 손상이 대부분일 것으로 생각된다.

3.4 연결부 손상현황

국내에서 현재 공용중인 강철도교의 연결부 손상현황 조사결과를 정리해서 나타내면 그림 3.6과 같다.

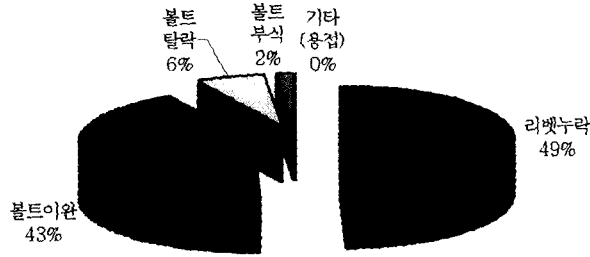


그림 3.6 연결부 손상의 분포특성

그림 3.6에서와 같이 연결부 손상특성으로는 리벳누락 및 이완이 대부분을 차지하고 있는데 이는 현재 리벳접합형식의 강교량의 공용수명이 오래 경과되고 공용기간중에 열차주행으로 인한 진동의 영향이 주된 원인으로 생각된다. 또한 볼트이완도 연결부 손상의 대부분을 차지하고 있는데, 이러한 이유도 열차주행으로 인한 진동이 주요한 원인으로 생각된다.

이러한 손상은 강철도교의 안전성에는 직접적인 영향을 미치지 않는으나 이와 같은 손상을 방지하는 경우에는 각 부재에서의 응력전달에 문제가 발생하여 예상이외의 힘이 특정부재에 전달될 수도 있으므로 강철도교의 사용성에 문제를 초래할 가능성이 있으므로 이러한 손상에 대해서 신속한 조치를 취하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

4. 결 론

현재 국내에서 실시된 교량안전진단결과에 기초해서 국내 강철도교에서 발생하고 있는 열화손상 유형을 정리분석해서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 피로손상은 주형아니 세로보 수직보강재 상단용접부가 보고된 전체 피로손상의 80% 정도를 차지하고 있으므로 이들에 대해서는 전체적으로 적절한 대책이 필요할 것으로 판단된다.
- (2) 부식손상은 부재가 습한 환경에 빈번하게 노출되어 있는 교축직각방향 부재의 하부플랜지 상면에 많이 발생하고 있으며, 일부 부재에서는 손상등급 D를 나타내고 있었다.
- (3) 연결부손상은 용접결합보다는 주로 열차주행으로 인한 진동현상에 기인하는 볼트 이완이나 리벳이완/누락이 대부분을 차지하고 있었다.

참고문헌

- (1) Kab-Soo KYUNG, Sung-Wook HONG, Hee-Hyun LEE, Jun-Chang JEON, "*Deterioration and Stress Characteristics of Steel Railway Bridges in Korea*", Proceedings of the Regional Symposium on Construction Materials and Testing 2002, pp.321-pp.335, 2002.
- (2) 경갑수, 이준석, 최일윤, 홍성욱, "국내 강철도교의 열화손상 사례분석", 2002년도 한국강구조학회 학술발표대회논문집, pp.32-pp.40, 2002.
- (3) 이성욱, "철도강구조물의 유지관리", 한국강구조학회지, 제12권, 제3호, pp.30-pp.35, 2000.
- (4) 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.
- (5) 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.
- (6) 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.
- (7) (財)鐵道總合技術研究所, "鐵道構造物等設計標準・同解説 - 鋼・合成構造物", 2000.