

강철도 플레이트거더교 용접이음부 피로균열의 평가에 관한 연구

A Study on the Fatigue Crack at Welded Joint for Steel Plate Girder Railway Bridge

박진은* · 경갑수** · 이성진*** · 조윤재****

Park, Jin-Eun · Kyung, Kab-Soo · Lee, Sung-Jin · Jo, Yun-Jae

요약

강철도 플레이트거더교의 경우 일반적으로 레일의 폭보다 거더 사이의 폭이 넓기 때문에 거더에 편심이 작용하게 된다. 이러한 편심 영향으로 거더 내측 상부플랜지에 휩변형이 일어나게 되어, 상부플랜지와 수직보강재 용접이음부에 반복하중에 의한 피로균열이 발생되고 있는 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서는 공용중인 강철도 플레이트거더교를 대상교량으로 하여 공용하중에 대한 구조해석을 실시하였다. 대상교량에 대한 현장계측을 기초로 구조모델링을 검증하였고, 검증된 구조모델링을 사용하여 열차하중 하에서의 상부플랜지와 수직보강재 용접연결부에서의 피로균열 보강방안에 대한 구조해석을 실시하였다. 또한 상부플랜지와 수직보강재 용접이음부 상세해석을 통하여 피로균열 발생위치를 확인하고 연결이음부의 적절한 보강방안을 제시하고자 한다.

keywords : 강철도 플레이트거더교, 용접이음부, 피로균열, 보강방안

1. 서론

철도교에서 강교량은 전체교량의 철도교의 약 42.5%를 차지하고 있으며, 그 중 플레이트거더교는 90% 이상을 차지하고 있다. 하지만 플레이트거더교의 93.1% 이상이 30년 이상의 공용년수를 가지고 있어, 주기적인 점검과 유지관리가 많이 필요할 것으로 판단된다. 이러한 플레이트거더교에서 발생하는 피로균열은 주로 거더와 직각방향으로 놓여있는 수직보강재, 가로보, 거셋플레이트 등의 용접이음부에서 발생한다. 한편 강철도 플레이트거더교의 경우 일반적으로 레일의 폭보다 거더사이의 폭이 넓기 때문에 거더에 편심이 작용하게 된다. 이러한 편심 영향으로 거더 내측 상부플랜지에 휩변형이 일어나게 되어, 상부플랜지와 수직보강재 용접이음부에 반복하중에 의한 피로균열이 발생되고 있는 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서는 공용중인 강철도 플레이트거더교를 대상교량으로 하여 공용하중에 대한 구조해석을 실시하였다. 대상교량에 대한 현장계측을 기초로 구조모델링을 검증하였고, 검증된 구조모델링을 사용하여 열차하중 하에서의 상부플랜지와 수직보강재 용접연결부에서의 피로균열 보강방안에 대한 구조해석을 실시하였다. 또한 상부플랜지와 수직보강재 용접이음부 상세해석을 통하여 피로균열 발생위치를 확인하고 연결이음부의 적절한 보강방안을 제시하고자 한다.

* 학생회원 · 한국해양대학교 토목공학과 박사과정 pje1101@naver.com

** 정회원 · 한국해양대학교 토목공학과 부교수 kyungks@hhu.ac.kr

*** 한국해양대학교 토목공학과 석사과정 1983sasin@paran.com

**** 한국해양대학교 토목공학과 학사과정 qraweds@nate.com

2. 연구대상교량 및 구조해석

2.1. 대상교량 일반사항

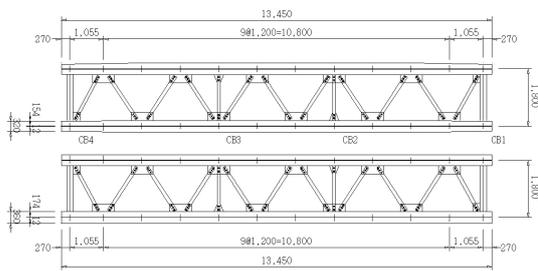
본 연구에서는 플랜지와 수직보강재 용접이음부의 피로균열 보강방안을 위한 대상교량으로 공용중인 강철도 플레이트거더교를 선정하였다. 대상교량 일반제원 및 단면제원은 표 1 및 표 2에 나타내었으며, 대상교량의 일반도는 그림 1에 나타내었다.

표 1 대상교량 일반제원

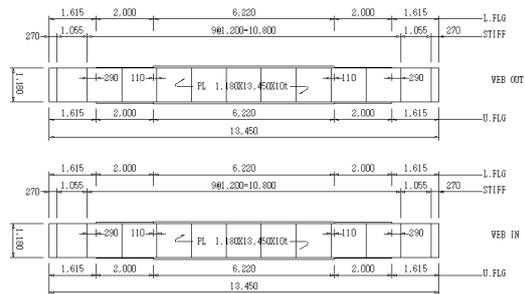
교량길이	L=7@13.7+24@19.9+19.1
교량 폭	1.8m
설계하중	L-22
상부구조	플레이트거더 용접형, 리벳형
사용재료	SWS41

표 2 대상교량 단면제원

구분	위치	폭(mm)	두께(mm)	높이(mm)
주거더	상부 플랜지	360	22	-
			29	-
			38	-
	하부 플랜지	360	19	-
			24	-
			35	-
복부	-	12	1180	
수직보강재		110	9	1180



(a) 평면도

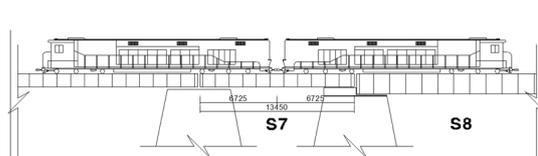


(b) 측면도

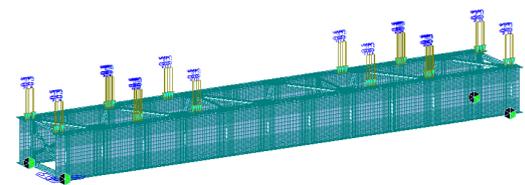
그림 1 대상교량의 일반도

2.2. 해석모델 및 해석조건

대상교량에 대해 격자해석 및 상세해석의 2가지 모델을 적용하였다. 해석프로그램은 범용구조 해석프로그램인 MIDAS Civil을 사용하였다. 상세모델에서 플랜지와 수직보강재 용접연결부 주위의 요소크기를 3mm로 분할하여 해석을 수행하였다. 대상교량의 하중은 재하시험에서 사용한 7000계열 2대를 연결한 디젤기관차의 하중을 재하하였다. 그림 2에 재하시험시 차량재하 위치와 상세해석에 적용된 재하위치를 나타내었다.



(a) 재하시험시 차량재하 위치



(b) 상세해석에 적용된 재하위치

그림 2 하중재하위치

2.3. 구조해석 모델 검증

격자해석 및 상세해석 모델을 검증하기 위하여 격자해석, 상세해석모델을 현장계측 데이터와 비교하였다. 구조해석 모델을 검증하기 위한 구조해석 결과는 재하시험 게이지가 부착되어 있는 경간중앙부 상부 및 하부플랜지를 대상으로 하였다. 계측 및 구조해석 결과 비교를 표 3에 나타내었다.

표 3 계측 및 구조해석 결과 비교

구 분		변 위 (mm)		응 력 (MPa)	
		G1	G2	G1	G2
현장계측	상부플랜지	5.842	5.430	41.643	40.704
	하부플랜지			36.211	35.395
격자해석	상부플랜지	6.362	6.362	36.052	36.052
	하부플랜지			37.848	37.848
상세해석	상부플랜지	6.645	6.638	36.329	36.526
	하부플랜지			38.444	38.237

변위비교결과, 실제계측에서의 변위와 차이가 나는 것으로 나타났다. 이것은 철도교의 침목강성을 고려하지 않은 것으로 판단되며, 이 후 레일침목의 강성을 고려하여 상부플랜지와 수평보강재 연결이음부에 대한 상세해석을 진행 할 예정이다. 그러나 응력의 비교결과, 현장계측 값과 유사하게 나오는 것으로 나타났다.

3. 연결이음부의 보강방안

3.1. 피로응력 검토

본 연구에서 플레이트거더교의 피로검토 대상위치는 그림 3과 같이 열차하중에 의한 편심이 작용하는 상부플랜지와 수직보강재 용접이음부를 대상으로 하였다. 그림 4에 나타낸 것과 같이 상부플랜지와 수직보강재 용접이음부에 피로균열이 발생한 상태이며 이와 같은 용접부 균열은 용접불량에 따른 응력집중과 열차통과 시 발생하는 진동 및 반복응력 등에 기인하여 발생된 것으로 판단된다.

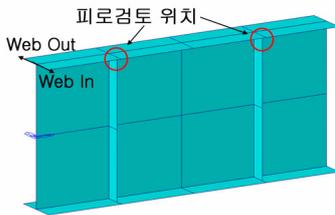


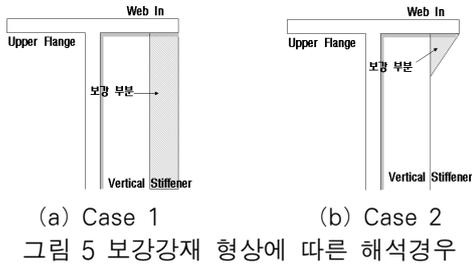
그림 3 피로검토 위치



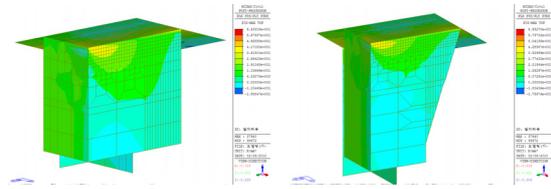
그림 4 피로균열 발생현황



대상교량의 내측플랜지에 편심하중이 작용하기 때문에 수직보강재에 강재를 추가적으로 부착하여 보강시키면 상부플랜지와 수직보강재 용접연결부의 응력을 저감시킬 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 수직보강재에 강재를 보강하는 방안으로 그림 5와 같이 2가지 경우를 제시하고 이에 대해 구조해석을 실시하였다. 그림 6에는 해석결과 응력 Contour를 나타내었다.



(a) Case 1 (b) Case 2
그림 5 보강강재 형상에 따른 해석경우



(a) Case 1 (b) Case 2
그림 6 해석결과 (응력 Contour)

3.2. 상부플랜지와 수직보강재 용접이음부의 피로응력 검토

상세모델에서 상부플랜지와 수직보강재 용접이음부의 피로응력 검토결과를 표 4에 나타내었다. 상부플랜지와 수직보강재 연결부 구조상세의 피로등급은 철도설계기준의 C등급(64MPa)을 적용하였다. 검토결과, 모든 경우의 보강방법에서 허용응력범위를 만족하는 것으로 나타났다. 하지만 상세해석 모델에서 응력범위 저감정도를 비교해보면 약 2%정도로 Case 1의 보강방안은 비효율적이라 판단된다. 따라서 상부플랜지와 수직보강재 연결부의 피로균열 보강방안은 Case 2를 사용하는 것이 효율적일 것으로 판단된다.

표 4 용접이음부 피로응력 검토결과

구 분	응력범위 (MPa)	응력범위 감소율	허용응력범위 (MPa)	
보강전	99.3	-	64.0	
보강후	Case 1	13.2		86.7 %
	Case 2	15.8		84.1 %

4. 결 론

이상의 대상교량의 상부플랜지와 수직보강재 연결부의 피로균열 보강방안에 대해 검토한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 피로응력에 대한 효율적인 보강방안을 검증하기 위해 재하시험 결과를 기초로 하여 대상교량을 모델링 하였으며, 상세해석 모델링의 타당성을 검증하였다.
2. 피로응력 검토결과 대상교량은 허용피로응력범위를 초과하는 것으로 나타났으며, 피로균열이 상당히 진전되어 조속한 보강 등의 유지관리가 요구된다.
3. 구조해석결과, 피로균열은 용접이음부 루트부에서 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, 상부플랜지와 수직보강재 연결부의 피로균열 보강방안은 Case 2를 사용하는 것이 효율적일 것으로 판단된다.

참고문헌

건설교통부, 대한토목학회 (2004) 철도설계기준(철도교편)
 권순철, 경갑수, 박진은 (2009) 2거더교의 수직보강재 연결상세부의 피로설계에 관한 연구, **한국강구조학회 논문집**, 21(1), pp.93~103.
 이성진, 경갑수, 박진은, 이준호 (2009) 강철도 플레이트거더교 용접구조상세의 피로균열 평가 및 보수보강, **한국철도학회 2009년 추계학술대회 논문집**
 조재병 (1995) 계산에 의한 강구조의 단계별 피로수명 추정법, **한국강구조학회 논문집**, 7(3), pp.231~239.
 IIW (1993) Recommendations concerning stress determination for fatigue analysis of welded components, *Wiley-Interscience*