

신형식 바이프리스트레싱 거더교의 동적안정성 검토

Dynamic Stability Evaluation of a New Type Bi-prestressing Girder Bridge

임재훈*, 최상현**†, 이승준***, 양성돈***

Jaehoon Lim*, Sanghyun Choi**†, Seung Joon Lee***, Sung Don Yang***

Abstract In this paper, a new type of a prestressed concrete girder using an unique bi-prestressing technique in which an additional tensile stress is applied to the upper part of a section to enhance the efficiency of the section is introduced, and the results of the dynamic stability analyses on a bridge using the new type girder are presented. The additional tensile force in the upper part of a section can be introduced by inserting a pin bar with a wedge-like section into the gap between two steel bars pre-installed in the girder. Using a commercial finite element analysis program, the dynamic stability evaluation is performed on three bridges with span lengths of 30m, 35m, and 40m. The results of the analyses show that all bridges satisfy the limits provided in the design specifications to ensure structural stability, driving safety, ride quality, etc.

Keywords : Bi-prestressing, Wedge, Prestressed concrete girder, Railway bridge, Dynamic stability

초 록 이 논문에서는 강선을 이용하여 거더 단면 하부에 압축력을 도입하는 기존의 프리스트레싱 기법에 새로운 방식으로 단면 상부에 추가적인 인장응력을 도입할 수 있는 바이프리스트레싱기법을 소개하고 개발된 신형식 거더가 적용된 교량의 동적안정성 검토 결과를 제시하였다. 거더 상부에 도입되는 인장력은 단면 상부에 기설치된 강봉 사이에 췌기형 핀바를 삽입하여 발생시킨다. 동적안정성 검토는 30m, 35m 및 40m 경간의 신형식거더교에 대하여 유한요소해석프로그램을 이용한 이동하중 해석을 통하여 수행하였다. 동적해석을 통한 검토 결과 개발된 교량은 구조적안정성, 주행안전성, 승차감 등의 확보를 위하여 관련 기준에서 제시하고 있는 제한값을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

주요어 : 바이프리스트레싱, 췌기, 프리스트레스트 콘크리트 거더, 철도교, 동적안정성

1. 서론

최근 프리스트레싱기법을 활용하여 30m 이상 중지간에 적용할 수 있는 신형식 거더의 개발이 활발하게 진행되고 있다. 철도의 경우 도로에 비하여 상대적으로 곡선과 구배의 제한이 엄격하므로 교량 및 터널의 비율이 높다. 우리나라의 경우도 도로 총연장 104,236km 중 교량이 차지하는 비율은 2,389km로 2%에 그치는 반면 철도는 총연장 3,381km 중 교량이 9%인 302km로 4배 이상 차이가 있다.

† 교신저자: 한국교통대학교 철도대학 철도시설공학과(schoi86@nate.com)

* 한국철도대학 철도시설토목과

*** 포스코건설 토목환경사업본부 토목기술그룹

특히 고속주행을 위해 곡선과 기울기를 더욱 최소화해야 하는 고속철도의 경우 교량이 차지하는 비율이 전체 연장 410km 중 약 27%에 해당하는 약 113km로 교량에 대한 수요가 더욱 높은 상황이다.

현재 국내 고속철도의 경우 고속주행에 따른 교량의 동적안정성 등을 고려하여, 일부 구간을 제외하고 주로 2경간 연속(2@40m)의 PSC(Pre-Stressed Concrete) 박스거더교가 표준으로 건설되어 있다 [1]. 일반철도에 적용되는 I형의 PSC거더교는 상대적으로 경제적이거나 한계 지간이 25m 정도이며, 30m까지는 프리플렉스(preflex)거더교가 적용되어 왔다. 최근 경간 30m~40m 정도의 중지간에 대하여 강재 합성형이나 다단계 긴장 등의 기술을 적용한 신형식 PSC거더교의 적용이 검토되고 있다[2].

이 연구에서는 유한요소해석프로그램을 이용하여 다중 및 다단계 프리스트레싱 기술을 동시에 적용한 새로운 형식의 거더를 이용한 철도교량의 동적안정성을 검토하였다. 신형식 거더는 일본에서 개발된 바이프리스트레싱(bi-prestressing)기법인 Bipre 공법을 응용한 것으로 거더 상부에 도입되는 인장력은 단면 상부에 기설치된 강봉 사이에 췌기형 핀바를 압입하여 발생시킨다. 이러한 프리스트레스 도입방식을 통하여 슬래브 거치 후 거더 하부에 추가적인 압축력을 도입할 수 있어 보다 효율적이다. 동적안정성 검토는 30m, 35m 및 40m 경간의 신형식거더교에 대하여 KTX 20량 편성을 적용한 이동하중해석을 통하여 수행하였다.

2. 신형식 바이프리스트레싱 거더의 개념

개발된 구조는 일본의 Bipre 공법과 마찬가지로 강봉과 강선을 이용하여 거더 단면의 상부 및 하부에 각각 프리스트레싱을 도입하나, 기존의 방식과 달리 새로운 기법으로 상부 강봉에 압축력을 도입한다. Fig. 1은 신형식 거더의 개요도이다. 그림에서 강봉의 압축력은 거더 중앙부에 위치한 췌기형 핀봉(Fig. 2)의 압입을 통하여 도입되며, 이를 통하여 추가적으로 단면 상부에 인장응력, 하부에 압축응력을 도입할 수 있다. 새로운 형식의 거더 구조는 경제성을 제고하기 위하여 높은 가공비 및 조립비용이 소요되는 강재의 이용을 최소화하고(강봉, 강선, 정착단, 지압판, 핀바, 가이딩장치 등), 상부의 비틀림 강성 강화 및 시공의 용이성을 감안하여 박스형의 거더로 결정하였다.

신형식 거더의 기본 원리는 Bipre와 같이 기존 PSC 공법에 강봉의 압축력을 적용 상부 인장응력 및 하부 압축응력을 도입하여 단면의 효율성을 극대화하는 것이나, 핀바 압입을 통하여 상부 슬래브 거치 후에 추가적인 프리스트레스를 도입하는 단계적 방식을 취할 수 있다. 이러한 단계적 프리스트레스 방식은 거더 상부에 발생하는 과도한 압축응력을 피할 수 있어 보다 효과적으로 단면을 사용할 수 있다.

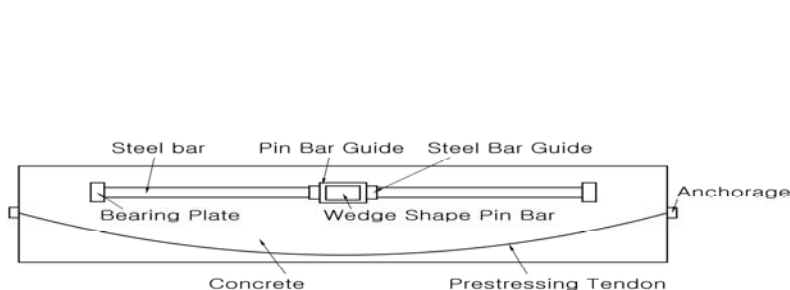


Fig. 1 Concept of new type girder

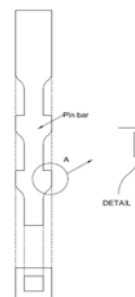


Fig. 2 Wedge shape pin bar

3. 동적안정성 검토

개발된 거더가 적용된 철도교량에 대하여 동적안정성 검토를 수행하였다. 검토 대상 교량의 경간은 30m, 35m, 40m로 하였으며, 각 경간에 대한 교량 단면은 Fig. 3과 같다. 도상 형식은 자갈로 가정하였다. 동적해석에 적용된 열차하중은 현재 고속철도 노선을 운행중인 KTX 20량 편성으로 하였다. 선정된 열차의 하중을 시간 경과에 따라 일정한 속도로 주행하면서 교량 상판의 레일 중심을 따라 작용하는 것으로 하였으며, 하중은 단선 재하 하였다. 차량의 주행속도는 실제 운행속도보다 높은 속도로 고려하여 20km/h부터 420km/h 까지 10km/h 단위로 증가시면서 교량의 동적해석을 수행하였다.

동적성능 평가는 거더 중앙부 처짐, 상판의 최대 수직 가속도, 단부교축변위, 단부의 상대 수직 처짐 및 면틀림에 대하여 수행하였으며, 철도설계기준[3] 및 철도설계편람[4]의 규정을 준용하여 적절성을 검토하였다. Table 1은 동적안정성 검토 결과이다. Table 1에서 해석결과는 관련 기준의 제한값을 모두 만족시키고 있음을 알 수 있다.

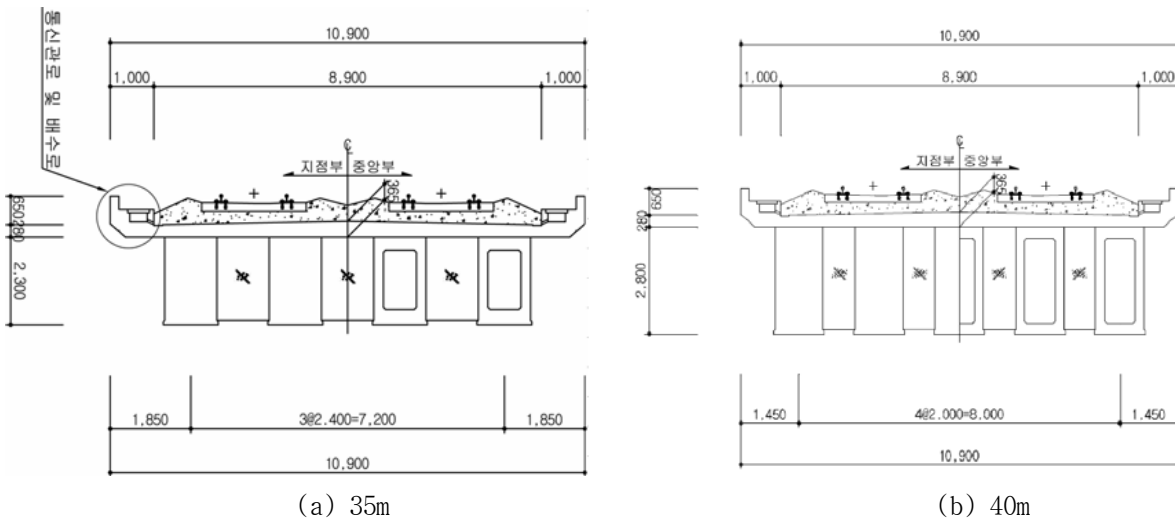


Fig. 3 Analyzed bridge section

Table 1 Result of dynamic stability analyses

	Limit value	Bridge span length (m)		
		30	35	40
Vertical displacement (mm)	30m: 18.75 35m: 20.00 40m: 21.05	3.36	3.17	8.50
Vertical acceleration (g)	0.35	0.08	0.10	0.20
Axial end displacement (mm)	8.0	0.90	0.83	2.09
Relative vertical displacement (mm)	2.0	0.16	0.14	0.32
Plane twist (mm/m)	0.4	0.12	0.11	0.26

3. 결 론

이 논문에서는 다중 및 다단계 프리스트레싱 기술을 동시에 적용한 새로운 형식의 PSC거더를 이용한 철도교량의 동적안정성을 검토하였다. 수치해석을 이용한 검토 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 신형식 PSC거더는 기존 바이프리스트레싱 공법과 동일하게 강봉과 강선을 이용하나, 단면 상부 강봉의 압축력은 썬기형상 편봉의 압입을 통하여 도입한다.

(2) 신형식 PSC거더를 적용한 철도교는 기존 PSC거더와 달리 30m~40m의 중지간에 대한 적용이 가능하다.

(3) KTX 20량 열차하중을 이용하여 신형식 거더가 적용된 철도교의 동적안정성을 검토한 결과 30m~40m 경간 모두 기준이 정하는 한계값을 만족하는 것으로 나타났다.

참고문헌

- [1] J.W. Kwark, J.R. Cho, W.J. Chin, J.W. Lee, B.S. Kim (2009) Dynamic problem and solution of the various type of bridges for high-speed railway, *Proceedings of Spring Conference of Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, pp. 536-537.
- [2] T.G. Lee, H.U. Kim (2006) Comparison of girder height by span in various types of railway bridge, *Proceedings of Spring Conference of Korea Society for Railway*, pp. 262-267.
- [3] Korea Rail Network Authority (2011) *Railroad Design Specification (Road Bed)*.
- [4] Korea Rail Network Authority (2010) *Railroad Design Manual (Track)*.