

SB20거더의 지간장 및 주행조건을 고려한 동적성능 평가

Evaluation on dynamic performance of SB20 girder
considering the span length and running condition

나건현*, 김건수*, 김성재**, 이상우**, 김상효*†

Geon-Hyeon Na*, Kun-Soo Kim*, Sung Jae Kim**, Sang Woo Lee**, Sang-Hyo Kim*

Abstract SB20 is the method of construction to integrate the sections between box girders using loop joint and skewed pipe shear connector for improving the existing multi box girder. In this study, validity of analytical models is verified by comparing with the railway bridge applied SB20. Also dynamic performance is evaluated based on the criteria which are natural frequency, critical speed, vertical acceleration of bridge deck, vertical displacement, longitudinal level suggested by Railway design Standard. As a result of the dynamic behavior of bridges which are single lane and double lane with 25, 30, 35, 40m span, SB20 has enough dynamic performance for general train, freight train and KTX.

Keywords : SB20, Multi box girder, Railway bridge, Dynamic performance

초 록 SB20 은 루프철근 전단연결재 및 강관형 전단연결재를 사용하여 박스거더 사이의 단면을 일체화하여 기존의 다중 박스거더의 단점을 개선한 공법이다. 본 연구에서는 SB20 이 적용된 실제 철도교의 계측값과 해석모형의 값을 비교하여 구조해석의 타당성을 검증하였다. 또한 해석모형을 이용하여 철도설계기준에서 제시하는 고유진동수, 임계속도, 상판의 연직가속도, 연직처짐, 면틀림 등에 대한 동적성능을 평가하였다. 25, 30, 35, 40m 의 지간장을 갖는 단선 및 복선 철도교의 동적거동을 검토한 결과, SB20 거더는 일반열차, 화물열차, 고속열차에 대하여 충분한 동적성능을 가지고 있는 것을 확인하였다.

주요어 : SB20, 다중 박스거더, 철도교, 동적성능

1. 서 론

기존의 다중 박스거더는 거더 사이의 부등처짐으로 인해서 균열이 발생하고 교량 하면으로 누수가 발생하는 단점을 가지고 있다. SB20은 박스거더 사이의 단면을 일체화한 공법으로, 저형교의 콘크리트 단면 구성과 급속시공을 가능토록 한 새로운 형식의 교량이다.

본 연구에서는 SB20이 적용된 철도교의 계측을 통해 해석모형의 타당성을 검증하였다. 또한 철도설계기준 [1]에서 제시하고 있는 고유진동수, 연직처짐 등에 대한 동적성능을 평가하기 위해 25, 30, 35, 40m의 지간장을 갖는 단선 및 복선 철도교의 동적거동을 검토하였다.

† 교신저자: 연세대학교 공과대학 토목환경공학과(sanghyo@yonsei.ac.kr)

* 연세대학교 공과대학 토목환경공학과

** 브릿지테크놀러지

2. 본 론

2.1 해석 모형의 검증

2.1.1 계측 대상교량

동적응답 계측을 수행한 대상교량은 대전에 위치한 인동지하차도로, Fig. 1 - (a)에 나타내었다. 인동지하차도는 SB20 형식의 5주형 철도교로써 연장 24.542m, 형고 1.6m, 폭원 13.01m의 단순교이다. 설계하중은 철도교설계기준에 명시되어 있는 LS-11 표준열차 하중을 이용하였다. Fig. 1 - (b)는 동적응답 계측 시 설치된 가속도계의 모습을 나타내었다.



(a) View of measured bridge



(b) The installed accelerometer

Fig. 1 The measured bridge

2.1.2 계측 교량의 모형화

본 연구에서는 교량의 모형화를 위해 3차원 뼈대요소법을 사용하였으며, Zhai 등 [2]의 연구에서 제시한 자갈도상의 강성을 고려하여 교량모형에 적용하였다. 교량의 질량은 일관성 질량을 사용하였고 감쇠는 PSC교량의 감쇠비로 알려져 있는 1%의 점성감쇠를 이용하였다. 동적해석을 위해 모형화한 교량모형은 Fig. 2에 나타내었다.

주행열차는 기존의 연구 [3,4]를 참고하여, 열차의 구성요소 마다 6자유도를 갖는 강체로 가정하였으며, 열차의 주행속도는 공진을 발생시키는 임계속도를 상회하는 속도까지 10Km/h 간격으로 해석을 수행하였다.

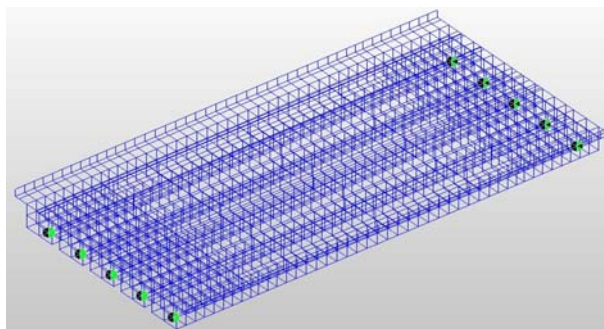


Fig. 2 The analytical model of the bridge

2.1.3 동적성능 비교

실제 교량의 계측을 통해 얻은 고유진동수는 6.445Hz로 분석되었으며, 계측된 결과를 FFT 분석하여 Fig. 3에 나타내었다. 계측 대상교량을 모형화하여 분석한 결과 6.446Hz의 고유진동수가 산출되었으며, 이는 계측응답으로부터 얻은 고유진동수 6.445Hz와 유사한 결과임을 확인하였다. 처짐응답은 KTX열차가 85Km/h, 70Km/h, 65Km/h로 통과하는 순간을 계측하여 동적모형의 해석결과와의 응답비를 비교하였다. 그 결과 모든 주행속도에서 7%이내의 오차가 발생하였다. 따라서 본 연구에서 사용한 동적 해석 모형이 계측교량의 거동을 잘 반영하는 것으로 판단된다.

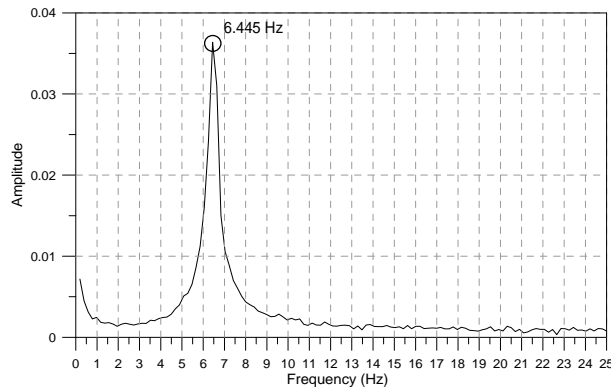


Fig. 3 The natural frequency of the measured bridge

2.2 동적성능 평가

2.2.1 동적성능 검토항목

철도설계기준(한국철도시설공단, 2013)에서는 열차 주행속도가 200Km/h 이상인 고속철도교량은 동적거동 검토를 필수적으로 수행해야 하며, 열차 주행속도가 200Km/h 이하인 일반철도교량에 대해서는 교량의 1차 휨 고유진동수가 3.0Hz 이하일 경우에 동적거동에 대한 검토를 수행하도록 함으로써 고유진동수를 기준식 등으로 제한하지는 않되 장주기 교량의 경우 동적성능을 검토하도록 하고 있다.

또한 철도설계기준(한국철도시설공단, 2013)에서는 주행안전성 및 승차감 검토에 관한 기준으로 ‘교량 상판의 연직가속도’, ‘교량의 처짐’, ‘면틀림’ 등을 제시하고 있으며, 상판의 연직가속도는 자갈도상에서 0.35g, 콘크리트 도상에서 0.5g 이하를 요구하고 있다. 연직처짐의 경우 설계속도와 지간장에 따라 다양하게 결정되며 면틀림은 0.4mm/m 이하를 요구하고 있다.

2.2.2 동적성능 결과

대상교량의 1차 휨 모드 고유진동수는 모든 경우에서 3Hz 이상으로 나타났다. 따라서 동적으로 매우 안정된 교량으로 판단되며 공진 가능성을 검토한 결과, 임계속도는 대부분 열차 최고 주행속도 이상에서 발생하였고 40m 복선교량에서는 KTX열차 주행 시 290km/h에서 다소 높은 응답이 발생하였지만 철도설계기준의 한계치는 충분히 만족하였다.

주행열차에 의한 연직변위, 연직가속도는 주행속도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였지만 기준치를 초과하지 않았다. 또한 주행열차에 의한 대상교량의 면틀림은 주행열차의 속도가 증가하여도 응답의 변화가 크게 발생하지 않았으며, 모든 열차종류 및 주행속도에서 철도 설계기준에서 제시하는 기준치인 0.4mm/m으로 나타났다. KTX 열차에 의한 대상교량의 동적 성능 결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Dynamic performance results of the bridge by KTX

	25m Single line	25m Double line	30m Single line	30m Double line	35m Single line	35m Double line	40m Single line	40m Double line
Vertical acceleration (g)	0.63	0.31	0.34	0.16	0.07	0.06	0.09	0.07
Vertical displacement (mm)	3.59	2.11	3.48	1.83	2.20	1.49	3.06	2.46
Longitudinal level (mm/m)	0.1	0.08	0.09	0.09	0.03	0.05	0.03	0.02

3. 결론

본 연구에서는 SB20가 적용된 철도교의 계측을 통해 해석모형의 타당성을 검증하였다. 또한 지간장 25, 30, 35, 40m PSC box 거더 단선 철도교와 지간장 25, 30, 35, 40m PSC box 거더 복선 철도교를 모형화하여 동적해석을 수행하였다.

동적해석을 수행한 결과, 철도설계기준(한국철도시설공단, 2013)에서 제시하는 고유진동수, 연직가속도, 연직처짐, 면틀림의 항목을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 SB20이 적용된 철도교는 충분한 동적성능을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Korea Rail Network Authority (2013) Railway design Standard (Roadbed part).
- [2] Zhai, W. M., Wang, K. Y., and Lin, J. H. (2004) "Modelling and experiment of railway ballast vibrations", *Journal of sound vibration*, Vol. 270, pp. 673-683.
- [3] S.H. Kim, H.S. Park, J.Y. Huh (1999) Study on Dynamic Responses of Bridges Using High-speed Railway Vehicle Models, *Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*, Vol. 12, pp. 629-638.
- [4] S.L. Choi, Y.S. Lee, S.H. Kim, B.S. Kim (2002) Verified 20-car Model of High-speed Train for Dynamic Response Analysis of Railway Bridges, *Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*, Vol. 15, pp. 693-702.