

PSC 교량의 정량적인 동적안정성 평가

Estimation of Quantitative Dynamic Stability for PSC Bridge

박선준† · 강성후* · 최태근**

Park Sun Joon · Kang, Sung Hoo · Choi, Teo Guen

1. 서론

본 연구의 목적은 기존에 연구되지 않은 PSC I형 단순 철도교에 대해 고속 및 일반 열차하중으로 인한 동적거동을 모니터링을 통해 분석하여 철도교의 동적안정성을 평가하는데 있다. 동적안정성을 평가하기 위하여 평가 항목을 선정하고 이로부터 각 항목별 동적안정성 평가와 전체적인 동적안정성 평가를 수행하고, 동적안정성의 정량적인 평가가 가능하도록 동적안정성 지수를 제안하고자 한다.

2. 열차주행실험

실험 대상의 PSC 철도교는 일반적인 PSC 교량이 갖는 경간 30m 보다 짧은 25m 경간을 갖는 단순 I형교로써 매우 드문 구조형식을 가지고 있으며, 전라남도 OO군 OO면의 호남선(복선) 상에 위치하고 있다. 교량의 총연장은 1,925m이며 77경간 25m 단순교이며, 자갈도상과 콘크리트 침목으로 구성되어 있다. 77경간 중간부는 완만한 곡선을 포함하고 있다. 실험대상 교량의 동적거동 특성을 분석하기 위하여 4종류의 열차(KTX, 무궁화, 새마을, 화물)가 운행 될 때 가속도와 처짐 응답을 실시간으로 모니터링하였다. 전체 12회 실험 중 최대 처짐 값은 화물 열차 주행시 지간 중앙에서 발생된 2.53mm이며, 최대 가속도 응답은 115km/h로 주행한 6량의 무궁화#6 열차 주행 시 경간의 중앙부에서 발생한 0.43g로 나타났다.

† 교신저자, 동신대학교 토목공학과
E-mail : parksj@dso.ac.kr
Tel : (061) 330-3136, Fax : (061) 330-3136

* 동신대학교 토목공학과

** 전라남도청

2.1 고유진동수

복선이면서 경간 25m의 PSC I형 단순 철도교의 고유진동수는 6.73Hz~8.49Hz 범위 값으로 분석되었다. 분석된 고유진동수의 결과를 놓고 볼 때 구조물의 고유진동수는 적정 설계기준의 상한치에 근접하는 7~8Hz 대역으로 평가되어 25m 경간을 갖는 철도교의 적정 고유진동수 범위 내에 들어있는 것으로 나타났다.

2.2 연직가속도 및 단부꺾임각

교량 상판의 연직가속도는 과도한 응답이 발생 시 도상의 교란 및 궤도틀림을 유발할 수 있어 주행 안전성을 위해 반드시 검토되어야 하는 부분이다. 설계기준 BRDM 및 CTRL 규정에서 제시한 0.35g(유도상 궤도의 경우)를 초과하는 0.36g, 0.43g의 값이 무궁화호 열차 통과 시 측정되었으나, 이 값들을 제외하면 모든 측정값이 제한 값을 만족하는 것으로 나타났다.

Fig. 1에는 열차종류별로 단부꺾임각을 비교하여 도시하였으며, 고속철도 설계기준에는 모두 만족하지 못한다는 것을 보여주고 있다.

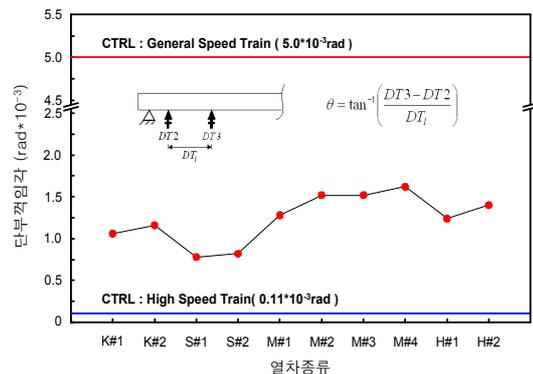


Fig. 1 열차 종류에 따른 단부꺾임각

2.2 충격계수 및 거더의 연직처짐

교량의 충격계수는 교량의 노면조도, 차량의 주행

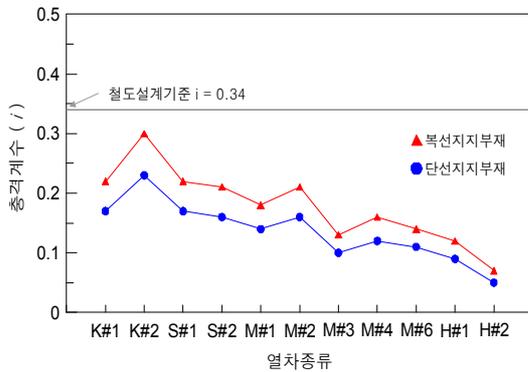


Fig. 2 열차종류에 따른 충격계수

속도, 지간장, 고정하중과 활하중의 비, 구조적 특성 등의 다양한 인자들에 의하여 결정된다. Fig. 2에는 단선·복선 지지부재에 대해 실험으로부터 얻은 충격계수와 철도설계기준에서 제시하고 있는 기준을 비교하여 도시하였다.

Fig. 3에는 열차 주행실험으로부터 얻어진 PSC 거더의 연직처짐과 각국의 설계기준을 비교하여 나타내었다. 거더의 최대 연직처짐은 화물열차#2 주행 시 발생된 2.53mm로 설계기준에서 주행속도에 따라 규정하고 있는 가장 엄격한 제한 값인 CTRL & BRDM의 $L/1600=14.1\text{mm}$ 를 충분히 만족하고 있으며, 연직처짐에 대한 동적안정성은 확보하고 있는 것으로 나타났다.

3. 동적안정성 지수

열차주행 실험을 통하여 25m 경간을 갖는 PSC I형 거더의 동적안정성을 평가하기 위하여 철도교량 동적성능 설계기준 중 5가지 항목을 비교·분석하였다.

$$DSI = \frac{0.2DSI_f + 0.2DSI_a + 0.1DSI_\theta + 0.2DSI_i + 0.3DSI_\delta}{0.2 + 0.2 + 0.1 + 0.2 + 0.3} \quad (1)$$

if $DSI = 1.0$; Dynamic Stability State (2)

$DSI > 1.0$; Dynamic Instability State

식(1)에 의해 구한 PSC I형 거더(L=25m)의 동적안정성 지수는 다음과 같다.

$$DSI = \frac{0.2\left(\frac{8.0}{8.79}\right) + 0.2\left(\frac{0.43}{0.35}\right) + 0.1\left(\frac{1.62 \times 10^{-3}}{5.0 \times 10^{-3}}\right) + 0.2\left(\frac{0.3}{0.34}\right) + 0.3\left(\frac{2.53}{14.1}\right)}{0.2 + 0.2 + 0.1 + 0.2 + 0.3} = 1.046$$

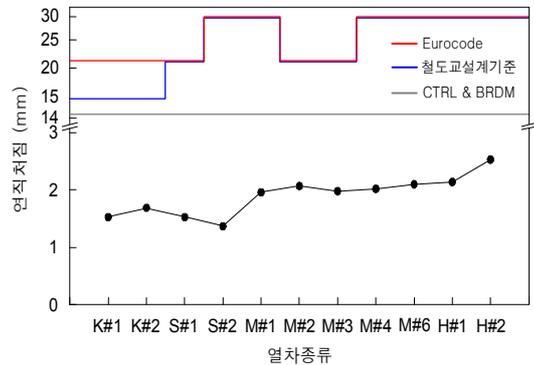


Fig. 3 거더의 연직처짐과 설계기준

$DSI > 1.0$; Dynamic Instability State

본 연구의 대상이 되었던 공용중인 PSC I형 거더 교(L=25m)의 동적안정성 지수 $DSI = 1.046$ 이므로 동적 불안정성 상태에 해당한다. 평가결과에 따라 동적안정성을 확보하기 위해서 어떠한 평가 항목에 대한 대책이 수립되어야 하는지 검토가 필요하다. 본 연구에 실시된 실험과 분석결과에 준할 때 연구대상 교량이 동적안정성을 확보하기 위해서는 가속도응답을 저감시킬 수 있는 대책이 수립되어야 함을 알 수 있다.

4. 결론

고유진동수, 연직가속도, 단부격입각, 충격계수, 연직처짐의 5가지 항목을 대상으로 각 항목별 동적안정성 평가와 전체적인 동적안정성 평가를 수행하고, 공용중인 철도교에 대한 동적안정성의 정량적인 평가가 가능하도록 동적안정성 지수(DSI)를 제안하였다. 연구대상이 되었던 공용중인 PSC I형 단순철도교(경간 25m, 복선, 자갈도상)의 DSI는 1.046으로 평가되어 동적불안정성 상태에 놓여 있는 것으로 나타났다. 특히, 교량 상판의 연직가속도는 과도한 응답이 발생 시 도상의 교란 및 궤도틀림을 유발할 수 있어 주행안전성 확보를 위해 반드시 검토되어야 하는 부분이다. 설계기준 BRDM 및 CTRL 규정에서 제시한 0.35g(유도상 궤도의 경우)를 초과하는 0.36g, 0.43g의 값이 무궁화호 열차 통과 시 측정되어 실험대상 교량은 연직가속도에 대한 동적불안정성 상태에 놓여 있다고 판단되며, 연직가속도 응답을 감소시킬 수 있는 대책이 수립되어야 한다.