

수치해석모델개선을 통한 고속철도교량의 동적안정성 검토

Dynamic Stability Verification for High Speed Railway Bridge Using Updated Numerical Model

박동욱* · 김남식† · 김성일**

Dong-Uk Park, Nam-Sik Kim and Sung-Il Kim

1. 서 론

수치해석모델을 이용한 수치실험은 실제 구조물을 대상으로 행하기 어려운 여러 가지 실험들을 대체하여 구조물의 상태를 예상하거나 검토하기 위한 매우 유용한 방법이다. 이러한 수치실험이 실제 현상을 정확히 예상하기 위해서는 수치실험에 사용되는 수치모형이 실 구조물과 매우 유사하여야 한다. 하지만, 실 구조물은 시공기간의 현장 여건이나, 사용기간 중의 환경여건에 따라 설계도면과 반드시 일치하지 않은 경우가 많다. 특히, 국내의 고속철도 교량은 교량 형식에 따라 하나의 도면을 기반으로 시공되므로, 설계도 및 구조계산서만으로 실 교량의 모든 특성을 파악하기에는 어려움이 있다. 따라서, 수치실험을 기반으로 평가되는 고속철도교량의 동적안정성 평가는 실 교량에서 계측된 동특성을 바탕으로 개선된 수치해석 모델을 이용하는 것이 바람직 할 것이다. 본 논문에서는 단변분 탐색법을 기반으로 한 수치해석모델 개선 기법을 고속철도교량에 적용하고, 개선된 수치해석모델을 이용하여 동적안정성 평가를 수행함으로써, 수치해석모델 개선기법의 적용성과 개선된 모델의 활용성을 확인하였다.

교량에서 많이 사용하고 있는 PSC Box형태의 교량 중 단경간 교량으로 부산시 임기리에 위치한 임기2고가 중 두번째 경간으로 선정하였다. 대상교량의 특성은 Table 1과 같다. 정밀한 동특성 분석을 위하여 무선계측시스템을 이용한 계측점 이동법을 적용하였으며 계측점의 위치는 그림 1과 같다.

(2)계측신호를 이용한 동특성 분석 및 결과 서로 다른 지점에서 계측된 신호의 상관성 분석을 이용하여 교량의 고유진동수를 확인하였으며, Proper Orthogonal Decomposition(POD) 기법을 이용하여 모드형상을 분석하였다. 식 (1)과 식 (2)는 각각 상관성 분석기법과 POD기법의 수식을 나타내고 있다.

$$R_{xy}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x(k)y(k+\tau) \quad (1)$$

$$[C]\{\phi\}_i = \lambda_i \{\phi\}_i \quad (2)$$

Table 1 Properties of target bridge

교량명	임기2고가	위치	부산시 기장군 임기리
상부형식	PSC Box Girder	교량길이	40m 단경간 11련(440m)
열차통과속도	280km/hr	계측경간	P2~P3

2. 수치해석모델 개선 및 동적안정성 분석

2.1 현장계측 및 동특성 분석

(1)대상교량 선정 및 계측

수치해석모델 개선 대상교량은 국내의 고속철도

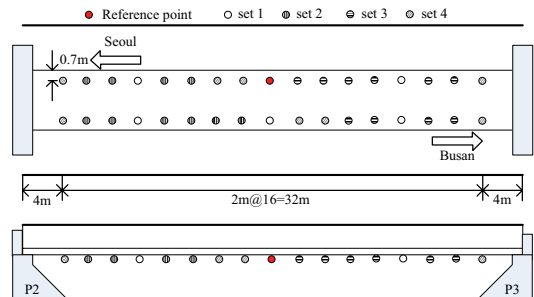


Figure 1 Measurement locations

† 교신저자; 정희원, 부산대학교 사회환경시스템공학부

E-mail : nskim@pusan.ac.kr

Tel : 051-510-2352, Fax : 051-513-9596

* 부산대학교 지진방재연구센터

** 한국철도기술연구원 첨단인프라연구단 TFT

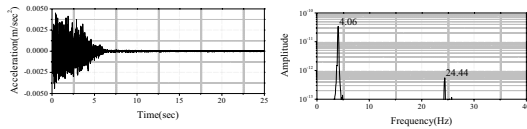
식 (1)에서 $x(k)$ 와 $y(k)$ 는 서로 다른 지점에서 계측된 신호 중 k 번째 계측응답을 나타내며, N 은 신호분석에 사용될 data의 개수를 나타내고, τ 는 새롭게 정의된 시간 축을 의미한다. 한편, 식 (2)에서 $[C]$ 는 계측응답의 상관함수를 나타내고, $\{\varphi\}_i$ 는 구조물의 계측위치에서의 모드형상을 나타내며, λ_i 는 i 번째 모드의 고유치를 나타낸다.

그림 2는 set 1에서 계측된 기준점 신호와 타 지점의 응답신호를 이용하여 얻어진 cross correlated signal을 보여주고 있으며, 그림 3은 POD를 이용하여 얻어진 모드형상을 나타내고 있다. Table 2는 임기 2고가의 동특성 분석결과를 나타내고 있다. 동특성 분석에 고유진동수 분석결과는 열차의 가진으로 인한 간섭을 배제키 위하여 열차가 통과한 후의 자유진동 구간만을 이용하여 분석한 결과를 나타내었으며, 모드형상의 유효길이는 추정된 모드형상을 sine 함수로 회귀분석을 실시하였을 때 분석된 주기의 반을 의미한다.

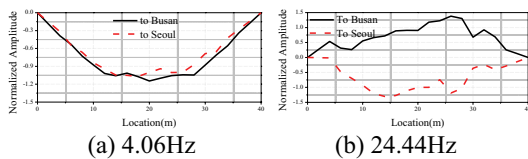
2.2 수치해석모델 개선 및 동적안정성 분석

(1) 단변분 탐색법 기반 수치해석모델 개선

단변분 탐색법은 비구속 최적화 기법 중 하나로 개선대상의 개선을 위하여 관련 변수 1개를 변화시키는 일차원 탐색법이다. 단변분 탐색법을 수치해석모델 개선에 적용함으로써 대상교량의 구조계산서와 도면을 이용하여 만들어진 수치해석 초기 모델을 표 3과 같이 개선할 수 있었다.



(a) Time domain (b) Frequency domain
Figure 2 Cross correlated signal



(a) 4.06Hz (b) 24.44Hz
Figure 3 Mode shapes

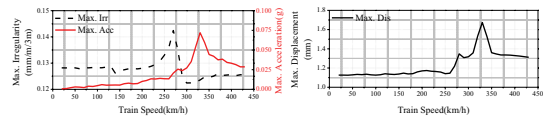
Table 2 Dynamic properties of Imgi 2nd Bridge

Dominant mode	Natural Frequency (Hz)	Effective Length of Mode shape(m)
Vertical	4.96	40.75
Torsion	25.64	37.78

Table 3 Model updating process for Imgi 2nd Bridge

No.	Input		Results			
	Con.E ¹⁾ (GPa)	L ²⁾ (m)	N.F(Hz) ³⁾		E.L.(m) ⁴⁾	
			V	T	V	T
Measured			4.96	25.64	40.75	37.78
1	38.5	35.0	4.47	22.61	39.45	36.35
2	43.3	39.6	4.63	24.78	41.18	39.89
3	49.4	39.2	5.07	26.53	40.41	36.12
4	47.2	39.4	4.80	25.90	40.80	38.54
5	48.4	39.4	4.95	26.21	40.80	38.55

¹⁾ : Elastic modulus of Concrete, ²⁾ : Length between supporting points
³⁾ : Natural frequency, ⁴⁾ : Effective length of mode shape



(a) Irregularity and acceleration (b) Displacement
Figure 4 Dynamic stability analysis

(2) 동적안정성 분석

개선된 수치해석모델을 이용하여 호남고속철도설계지침에 따라 10km/h로 이동속도를 증가시키며 설계속도의 1.1배 이상까지 대상교량의 동적안정성을 검토하였다. 대상교량의 동적안정성 기준은 최대면틀림이 1.2mm/m/3m로 제한되어 있으며, 최대수직 처짐과 상판의 최대가속도가 각각 3.33mm, 0.5g로 제한되어 있다. 동적안정성 분석결과는 그림 4와 같으므로, 해당교량의 동적안정성은 충분히 확보되어 있는 것으로 판단할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 공용중인 교량의 계측신호를 이용하여 교량의 동특성을 분석하고 단변분 탐색법을 기반으로 수치해석모델을 개선하여 단변분 탐색법 기반의 수치해석모델 개선기법의 고속철도교량에 대한 적용성을 확인할 수 있었다. 또한 개선된 수치해석모델을 이용하여 동적안정성 분석을 실시하여 신뢰할 수 있는 결과를 얻음으로써, 개선된 수치해석모델의 활용성을 검증 할 수 있었다.

후 기

이 논문은 국토해양부에서 지원한 "400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발" 과제에 의해 수행되었습니다.