

# 프리스트레스트 콘크리트거더의 동적응답 분석

## Dynamic Behavior of Bi Prestressed Concrete Girders

이 필 구\* 김 충 언\*\*

Lee, Pil Goo Kim, Choong Eon

---

### ABSTRACT

This study was performed to estimate the dynamic behavior for Bi Prestressed Concrete Girder(Bicon girder) which could introduce effectively prestressed forces into concrete girders. Dynamic behavior of PSC girder must be verified because it becomes not only slim but also long and a railway bridge which loaded regularly has risk of resonance especially.

Forced vibration test using a vibration machine was executed for 20m railway bridge girder specimen to acquire dynamic characteristics(natural frequency, damping ratio) and test results showed the natural frequency of 6.632Hz and the damping ratio of 1.43%

### 요 약

이 논문에서는 저형고의 콘크리트거더에 효율적으로 프리스트레스를 도입할 수 있는 Bi Prestressed Concrete Girder (이하 Bicon거더)의 동적 안정성을 검토하기 위한 동적 재하시험의 결과를 분석하였다. PSC거더도 단면 효율의 극대화과 더불어 형고가 낮아지고 구조물이 세장해 지므로, 동적안정성의 검토가 필수적으로 수반되어야 하며, 특히 철도교와 같이 규칙적인 반복하중을 받는 구조물의 경우에는 공진의 위험이 항상 존재하므로 구조물의 설계 과정에서 이에 대한 검토를 충분히 수행하여 사용 중 공진이 발생할 가능성을 최소화 시킬 필요가 있다. 이에 대한 동적 특성치(고유진동수, 모드형상 및 감쇠율)를 실험적으로 얻기 위해 이 연구에서는 20m 철도교 시험체에 대하여 가진기를 사용한 진동시험(Forced vibration test, FVT)을 수행하여 6.632Hz의 고유진동수와 1.43%의 감쇠율을 얻었다.

---

\*정회원, RIST 토목구조연구실 책임연구원

\*\*정회원, 삼현PF 기술개발팀 팀장

## 1. 서론

저형고의 콘크리트거더에 효율적으로 프리스트레스를 도입할 수 있는 Bi Prestressed Concrete Girder (이하 Bicon거더)의 동적 안정성을 검토하기 위한 동적 재하시험의 결과를 분석하였다. Bicon 거더는 거더 상면에 강봉(압축재)과 하면에 강연선(인장재)을 동시에 긴장하여 두 프리스트레싱재의 편심을 이용, 부재에 순수한 휨만을 도입할 수 있는 프리스트레싱 공법으로 제작되어 단면 효율을 극대화시킬 뿐만 아니라 형고가 낮아지고 구조물이 세장해 지므로, 동적안정성의 검토가 필수적으로 수반되어야 하며, 특히 철도교와 같이 규칙적인 반복하중을 받는 구조물의 경우에는 공진(resonance)의 위험이 항상 존재하므로 구조물의 설계 과정에서 이에 대한 검토를 충분히 수행하여 사용 중 공진이 발생할 가능성을 최소화 시킬 필요가 있다. 이를 위해 가장 기본적으로 수행되어야 할 것은 구조물의 동적특성치 (고유진동수, 모드형상 및 감쇠율)의 정확한 산정이다. 이러한 동적 특성치를 실험적으로 얻기 위해 이 연구에서는 20m 철도교 및 도로교 시험체에 대하여 가진기를 사용한 진동시험(Forced vibration test, FVT)을 수행하였다.

## 2. 동적실험

시험체는 그림 1에 나타낸 것과 같은 단면을 갖는 20m 길이의 거더이며 동적응답의 측정을 위해 단부로부터 L/6간격으로 6개(지간중앙에 2개)의 가속도계를 배치하였으며, L/2 지점을 가진점으로 정하였다. 실험에서 사용한 가진기는 편심을 갖는 2개의 질량을 회전시켜 동적 가진력을 얻기 때문에 가진 망치를 사용하는 경우에 비해 큰 가진력을 얻을 수 있지만 (10Hz 가진시 최대 80kN), 구조물의 질량에 비해 무시할 수 없는 크기의 질량이 가진기에 의해 추가되기 때문에 (약 1.5ton) 이의 영향을 분석 단계에서 고려하여야 하고, 1회 가진시 특정한 고정된 주파수에 대한 가진만이 가능하기 때문에 넓은 주파수영역에서의 응답을 측정하기 위해서는 긴 시험시간이 소요된다. 신호 측정빈도 (sampling frequency)는 100Hz로 설정하여 Nyquist frequency 인 50Hz까지의 분석이 가능하도록 하였으며, 이는 구조물의 고유진동수 범위를 고려할 때 충분한 측정범위였다.

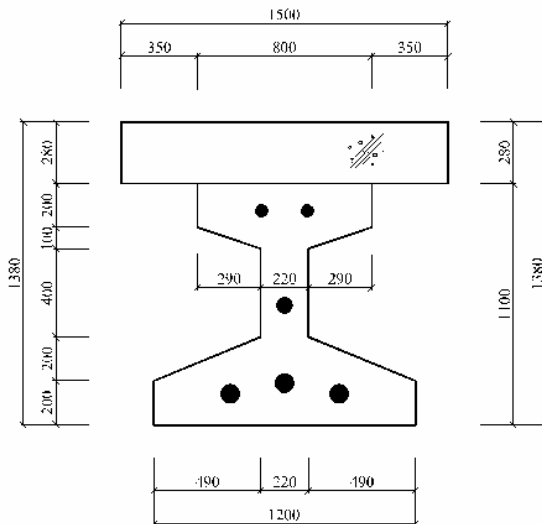


그림 1 시험체 제원

가진기를 사용한 FVT는 일정한 진동수로 가진기를 작동시키며 얻어지는 응답의 진폭을 측정하여 공진 주파수(고유진동수)와 주파수 응답을 측정하는 실험이다. 이 시험체의 경우에는 구조해석 결과로부터 구조물의 1차 고유진동수가 약 7Hz 근처에 존재함이 확인되었으므로, 가진 주파수를 4Hz에서 6Hz까지 0.5Hz 간격으로, 6Hz에서 7Hz까지 0.1Hz 간격으로 변화시켜가며 응답을 측정하였으며, 약 6.7Hz의 가진주파수에서 최대 응답이 관찰되었다. 이것은 구조해석으로부터 고유진동수 7Hz 보다 약 0.3Hz 낮은 값으로, 가진기의 부가질량의 영향이 반영된 것이다. 그림 2에는 각 가진 진동수에 따른 가속도 응답의 진폭과, 1자유도계 응답의 이론식을 사용하여 curve fitting 한 결과를 함께 나타내었다. Curve fitting에 의해 동적 특성치를 추출하였는데, 실험으로부터 구한 RMS amplitude를 동일한 가진력의 응답으로 환산하기 위해 가진주파수의 제곱으로 나누어 1자유도계의 sine 가진에 대한 가속도 응답 fitting function에 대입하고 peak 주변의 측정점을 사용하여 최소승법으로부터 고유진동수와 감쇠율을 산정하였다. fitting 결과 고유진동수는 6.632Hz, 감쇠율은 1.43%로 나타났다.

$$\frac{A(\omega / \omega_n)^2}{\sqrt{\left\{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right\}^2 + \left\{2\xi\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)\right\}^2}}$$

미지수: 고유진동수 ( $\omega_n$ ), 감쇠율( $\xi$ ), 비례상수 ( $A$ )

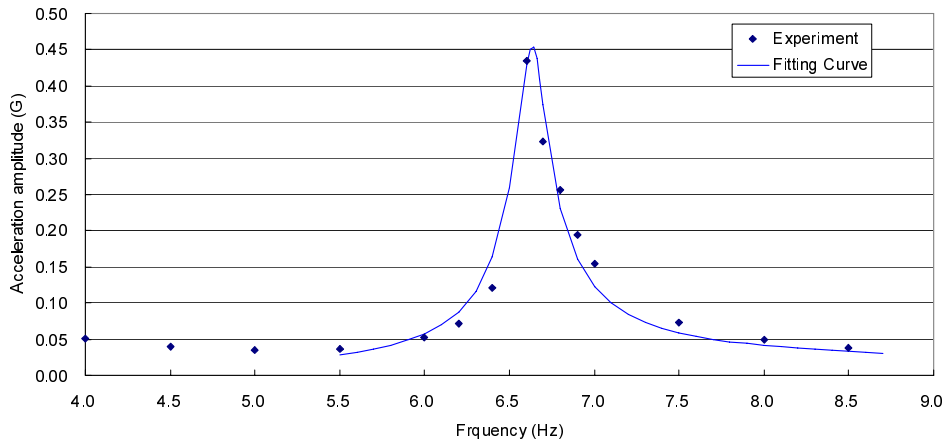
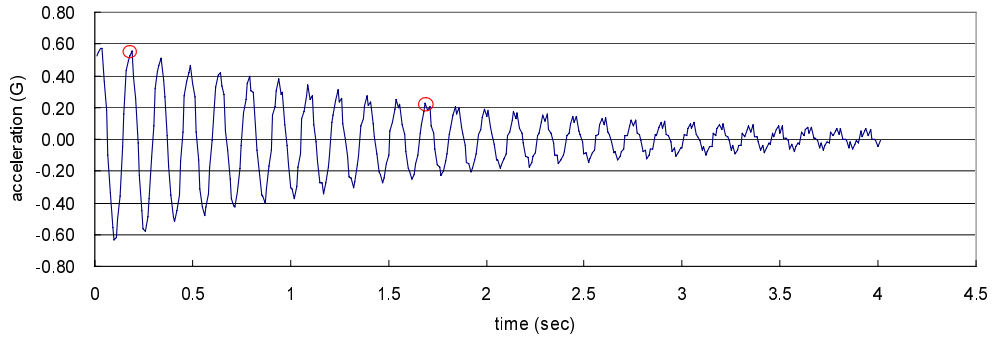


그림 2 가진기 실험을 통한 주파수 응답 곡선

가진 종료 후 측정된 감쇠곡선을 사용하여 감쇠비를 추출한 결과는 그림 3에 나타내었다. 대수감소법을 사용하여 도출된 감쇠율은 fitting 결과와 유사한 1.4%를 나타내고 있었다. 이는 기존 콘크리트 교량의 동적해석에서 사용되는 2% 이상의 값보다는 다소 작은 값을 알 수 있다.



$$\delta = \frac{1}{n} \ln \left( \frac{u_i}{u_{i+n}} \right) = \frac{1}{10} \ln \left( \frac{0.5575}{0.2273} \right) = 0.0897 \cong 2\pi\xi$$

$$\therefore \xi = 0.0897 / 2\pi = 0.014 = 1.4\%$$

그림 3 감쇠곡선

### 3. 결론

이 연구에서는 구조물의 동적거동 파악에 가장 기본적인 바탕이 되는 동적특성치를 가진기를 사용한 강제진동시험을 통하여 구하였다. 실험의 결과로 얻어진 동적특성치는 사전 수치해석의 결과와 근접한 값을 보여주었으며, 향후 차량-교량 상호작용을 고려한 이동하중해석의 정도를 향상시키는 데에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 논문은 2007년도 건설기술혁신사업 자유공모과제(06건설핵심-C10) 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. 이정휘, 이필규, 김성일, 안해영 (2005) “프리스트레스트 강합성 거더의 동적 특성치 변화 분석,” 2005 대한토목학회 정기학술대회 논문집, 951-954
2. Clough, R. W. and Penzien, Joseph (1993) *Dynamics of Structures, 2nd Ed.*, McGraw-Hill
3. Ewins, D. J. (2000) *Modal Testing: Theory, Practice and Application, 2nd Ed.*, Research Studies Press Ltd.
4. Kim, S. and Lee, J. (2000). “Use of Modal Testing to Identify Damage on Steel Members.” *KSCE Journal of Civil Engineering*, 4(2), 75-82
5. The MathWorks. (1999). *Using MATLAB, version 5.3*. Natick, MA, USA