

# 고속전철 교량의 감쇠값 산정을 위한 현장 실험

## Field Test on Damping Value of Bridge in High-speed Railway

최 은 석<sup>\*</sup>      신 호 상<sup>\*\*</sup>      곽 종 원<sup>\*\*\*</sup>      김 병 석<sup>\*\*\*\*</sup>  
Choi, Eun Suk      Shin, Ho Sang      Kwark, Jong Won      Kim, Byoung Suk

### ABSTRACT

The dynamic characteristics such as natural frequency, mode shape and damping ratio are most important parameters in the high-speed railway bridges rather than general roadway bridges. Also, the need to know the dynamic behavior of bridges greatly increased in recent years.

In the early of 1990s, to design the high-speed railway bridges, damping ratio recommended in general code was 2.5~7.5%. However, these values were not applied in all cases. Therefore, obtaining the damping value of specific structures is important to get the correct variable for design of high-speed railway bridges.

The purpose of this study is mainly to obtain the damping ratio of high-speed railway bridges. The average damping ratio of high-speed railway bridges evaluated from a field test is about 2.4%.

### 1. 서론

본 논문은 6월 21일과 22일 6-1공구 대전 갑천교 현장에서, 불균형 질량이 회전하면서 주기적으로 진동을 가하는 가진기를 사용하여 감쇠시험을 실시하였고, 가진기에 의해 발생하는 동적 응답인 교량 상부구조의 가속도를 측정, 분석하여 감쇠비를 구하였다. 질량과 강성의 산정에 비하여 감쇠는 일반적인 실제 구조물에서의 에너지손실 현상이 제대로 규명되지 않은 관계로 그 산정이 매우 어렵다. 일반적인 운동방정식에서 적용되고 있는 점성감쇠, 즉 속도에 비례관계가 있다고 가정되는 감쇠의 작용은 실제로 매우 복잡하다. 그러나, 실험적인 방법에 의하면 적절한 등가의 점성감쇠를 구할 수 있다.

고속으로 주행하는 열차를 지지하는 경부고속철도 교량은 저속 주행하는 차량의 주행을 위한 일반 교량과 달리 교량의 동적거동이 매우 중요한 설계변수이다. 현재 건설중인 경부고속철도 교량은 상자형 교량이 대부분이고 실제 사용속도 내에서 공진이 발생할 수 있다. 이러한 공진속도에서의 교량의 동적거동에 가장 큰 영향을 미치는 변수인 감쇠값의 크기는 공진이 발생하는 경우에 교량의 거동에

\* 한국건설기술연구원 구조시스템그룹 연구원

\*\* 정회원, 인프라 구조안전기술 연구소

\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조시스템그룹 선임연구원

\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조시스템그룹장

매우 민감한 영향을 미치게 된다. 1990년대 초반에 수행된 경부고속철도 교량구조물의 동적거동분석에서는 2.5~7.5%의 감쇠비가 사용되었다. 이러한 감쇠비는 실제 교량구조물의 실측을 근거로 산정된 것이 아니고, 일반적으로 알려진 콘크리트구조물의 감쇠비를 기준으로 추정된 값이다. 따라서, 2@40m 또는 3@25m가 대부분을 차지하고 있는 경부고속철도 교량의 경우에 이러한 대표적인 교량형식에 대한 현장실험을 통한 감쇠비 산정을 통하여 보다 정확한 동적거동 분석 및 예측이 요구되었다.

## 2. 감쇠실험

### 2.1 자유진동 해석

교량의 감쇠비 현장 측정을 수행하기 전에 유한 요소법을 이용하여 교량의 고유진동수와 모드형상을 구하였다(그림1 참조). 해석은 ANSYS의 쉘요소를 사용하였으며 첫 번째 휨모드가 4.5Hz, 두 번째 휨모드가 6.9 Hz로 해석되었다. 두 번째 휨모드는 첫 번째 휨모드가 중앙 지점을 중심으로 역대칭 형상인데 반하여 대칭모드를 갖고 있다.

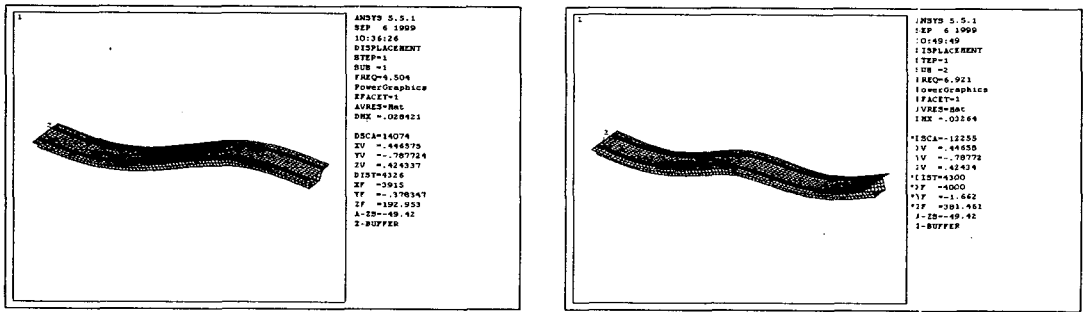


그림 1. 1차 휨 Mode (4.5 Hz)와 2차 휨 Mode (6.9 Hz)

### 2.2 실험대상교량 및 가진위치

실험대상 교량은 6-1공구의 갑천교(2@40m)로써, 교량형식은 PSC 박스거더교, 상부구조는 시험선 구간과 단면이 같은 고속철도 교량의 가장 일반적인 단면인 1-cell 박스이며, 하부구조는 원형 중공단면 교각이다.

실험위치는 pier 19와 pier 20번 사이의 거더이고 가진기의 위치는 교량의 종방향으로는 거더의 1/2지점을, 횡방향으로는 web의 윗부분 중앙에 가진기를 설치하였다. 교량의 종방향으로 거더의 1/2지점을 선택한 이유는 교량 모드형상의 가장 지배적인 1차 모드형상을 볼 수 있고, 상부구조의 국부거동보다 전체거동에 대한 응답을 위해서 교량의 횡방향으로 web의 바로 윗부분을 선택하였다. (그림 2)는 거더의 횡단면과 가진기의 가진 위치, 그리고 불균형 질량 회전 가진기이다.

### 2.3 계측시스템

본 실험에서 사용된 가진기는 불균형 질량이 회전하면서 주기적으로 진동을 가하는 원리이다(그림 2 참조). 가진기의 중심축을 중심으로 원의 1/3 크기의 불균형 질량이 양쪽 2개의 모터에 연결되어 있고, 한쪽 질량이 시계방향으로 회전하면 반대편 질량은 반시계방향으로 회전한다. 따라서 상·하 방향

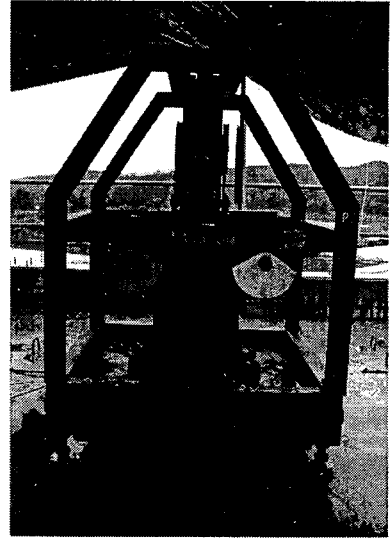
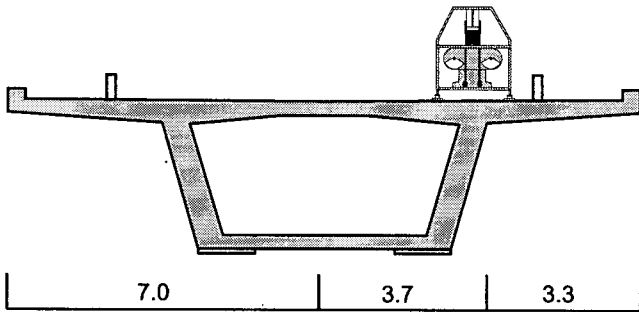


그림 2. 상부구조의 횡단면 가진위치 및 가진기(Unbalance mass rotaty exciter)

으로는 힘이 전달되지만 좌·우 방향으로서는 서로 힘이 상쇠된다. 따라서 질량의 회전수를 제어하여 원하는 주기의 가진력을 발생시킨다. 220V 3상 전원으로 구동되는 가진기는 인버터를 이용하여 전원 주파수를 변화시키면서 불균형 질량의 회전수를 조절, 원하는 진동수를 얻어 교량에 가진이다. (그림 6)은 전원 Hz와 모터의 Hz를 제어해 주는 인버터이다.

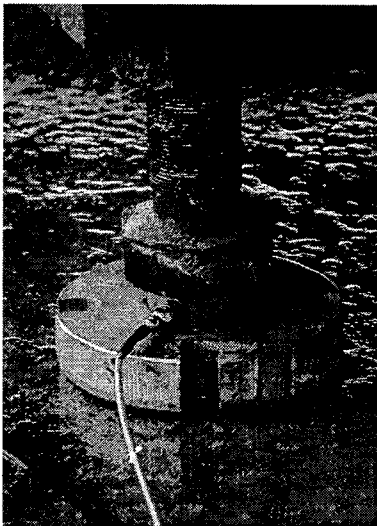


그림 3. Force Transducer

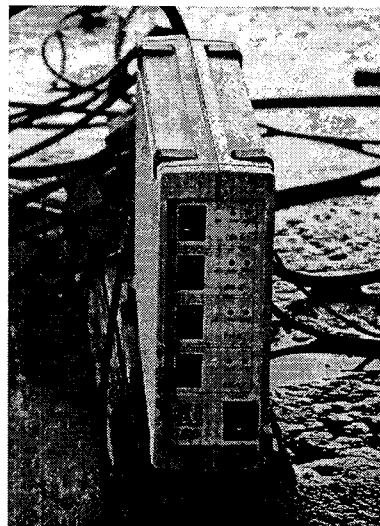


그림 4. Amplifier

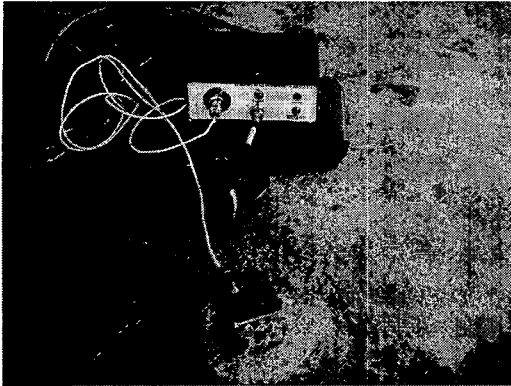


그림 5. 가속도계

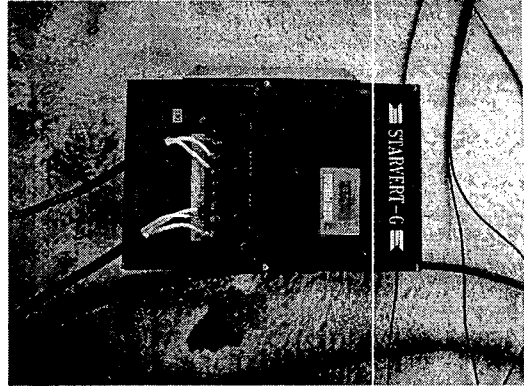


그림 6. 인버터

센서는 Force Transducer(그림 3 참조)와 저진동수 영역에 적합한 Kistler사의 K-beam형식의 가속도계(그림 5 참조)를 사용하였다. Force Transducer는 가진기가 구동하면서 발생하는 가진력을 측정하기 위하여 가진기의 밑부분 4곳에 설치하였고, 가속도계는 가진기의 중앙 하부지점인 교량 종방향 1/2 지점과 1/4지점에 설치하였다. 이렇게 설치된 Force Transducer와 가속도계는 Amplifier(그림 4 참조)를 거쳐서 Megadec Dynamic Logger로 연결하여 데이터를 수집하였다.

### 3. 실험결과

실험은 2차례로 나누어 실시하였다. Sampling rate은 100Hz를 기본으로 하여 50Hz와 500Hz도 측정하였다. 아래의 그림들은 가진력과 가속도 시간이력의 전형적인 그래프이다. (그림 7)은 가진력을 일정하게 가한 경우와 일정하지 않은 경우의 가진력 응답 시간이력이며, (그림 8)은 가진력이 일정한 경우와 변하는 경우의 가속도 시간이력의 한 예이다.

그리고 (그림 9)는 시간이력의 마지막 부분에 해당하는 가속도 신호가 줄어드는 부분의 그래프로써 자유진동을 거쳐 감쇠가 이루어지는 부분을 잘 보여주고 있다.

계속으로 구한 응답 시간이력은 다시 nSOFT 프로그램을 이용하여 고유진동수와 감쇠값을 구하였다. 고유진동수의 해석치는 1차, 2차, 3차 모드에서 각각 4.5Hz, 6.9Hz, 7.7Hz(휨)이었으며 현장측정으

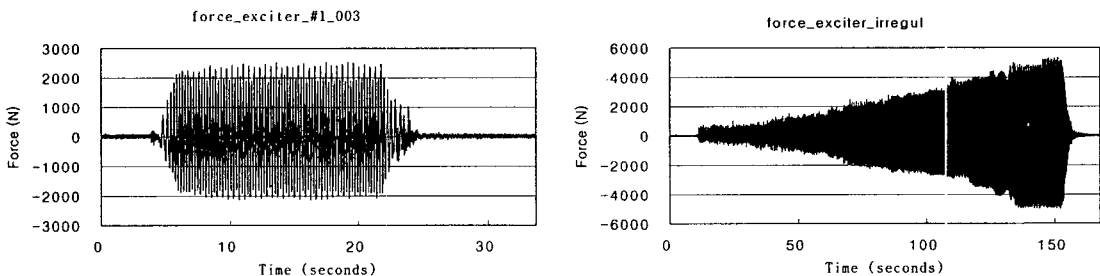


그림 7. 회전이 규칙적인 경우와 불규칙한 경우의 가진 시간이력

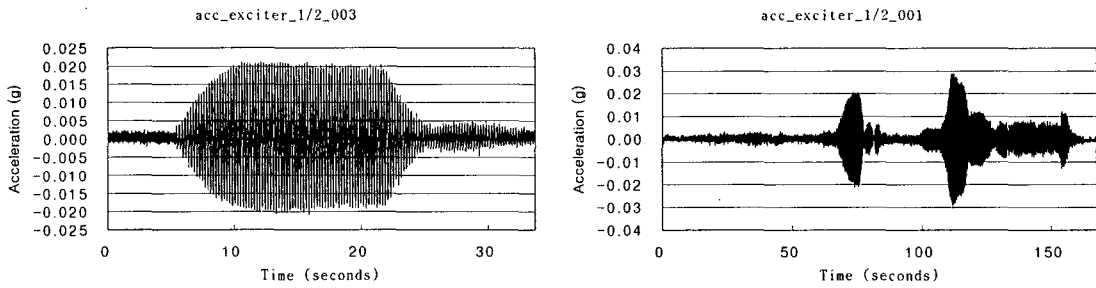


그림 8. 회전이 규칙적인 경우와 불규칙한 경우의 가속도 시간이력

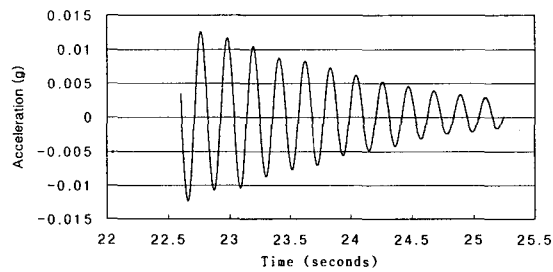


그림 9. 가속도 신호가 소멸되는 부분의 시간이력

로는 1차와 2차모드가 각각 4.75Hz, 6.37Hz임을 확인하였다.

1차모드의 감쇠비를 구하기 위하여 4.75Hz로 가진을 하여 교량의 공진을 유발시키고 가속도계를 사용하여 응답으로부터 대수감쇠비를 구하였다. (표 1)은 1차와 2차 실험의 감쇠비 결과이다.

(표 1)에서 감쇠비는 2.2%에서 약 2.6%의 양상을 보여주고 있으며 평균 약 2.4 %로 측정되었다.

표 1. 감쇠비

1차 실험		2차 실험
	0.012	0.026
	0.018	0.022
	0.028	0.022
	0.020	0.024
	0.026	0.033
	0.026	0.032
	0.023	0.020
평균	0.022	0.026
표준편차	0.006	0.005

#### 4. 결론

본 시험은 대전 감천교 현장에서 실시하였으며, 불균형 질량이 회전하면서 주기적으로 진동을 가하는 가진기를 사용하여 감쇠시험을 실시하였고, 동적 응답인 교량 상부구조의 가속도를 측정, 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 실험대상 교량의 감쇠비는 2.2%에서 2.6%로 측정되었다.
- 가진시의 가진력은 센서 1개당 최대 6,000N 정도로 총 가진력은 24kN이었으며, 가진시의 최대가속도는 0.03g로 측정되었다.
- 대상 교량의 감쇠비가 동적 안정성 검토시 적용되던 감쇠비와 비교하면 2.5% 수준으로 기준치에 포함되지만, 강교량이 아닌 콘크리트 교량으로 판단하면 낮은 수치를 보이고 있다.
- 향후, 도상이 설치된 후에 도상에 의한 감쇠특성 변화를 파악할 필요가 있다.
- 대상 교량 이외의 형식이 다른 고속철도 교량, 특히 강교량과 지간이 짧은 교량의 감쇠특성 측정이 요구된다.

#### 감사의 글

본 실험연구는 건설교통부 G7프로젝트인 “고속전철 구조물 안전성 기술개발” 과제의 일환으로 수행되고 있으며, 현장 실험에 적극적으로 협조해 주신 한국고속철도건설공단과 한진건설, 벽산엔지니어링 관계자들에게 깊은 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

1. 서울대학교 공학연구소, “경부고속철도 교량 및 고가구조물의 동적특성에 대한 안정성 검토보고서”, 1994.12
2. Chopra, A.K., Dynamics of Structures, Prentice Hall
3. Charles R. Farrar, et al. “Variability of Modal parameters measured on the Alamosa Canyon Bridge”, IMAC, Proceedings of the 15th International Modal Analysis Conference, 1997, pp.257-263
4. Scot W. Doebling, et al. “A Statistical Comparison of Impact and Ambient testing Results from the Alamosa Canyon Bridge”, IMAC, Proceedings of the 15th International Modal Analysis Conference, 1997, pp. 264-270
5. N. Haritos, T. J. Chalko, “Using EMA to Determine the In-service Condition of Bridges”, IMAC, Proceedings of the 15th International Modal Analysis Conference, 1997, pp. 271-277