실교량 계측에 기반한 사장 케이블의 감쇠비 추정

Full Scale Measurement on Stay Cables of a Cable Stayed Bridge for Estimation of Damping Ratios

김 상 범* • 임 덕 기** • 김 창 현**** • 이 종 섭*****
Kim, Saang Bum • Im, Duk-Ki • Kim,, Chang-Hyun • Lee, Jong-Sup

요 약

사장교 케이블의 감쇠비를 추정하기 위하여 실교량 계측을 수행하였다. 사장교 케이블은 감쇠비가 낮고, 고유 진동수가 케이블의 길이에 따라 넓은 범위에 걸쳐 분포하므로, 바람이나 지점 가진에 의하여 과도한 진동이 발생될 수 있다. 케이블 진동 현상의 원인과 발생되고 진행되는 구조는 다양하나, 진동 현상의 가장 중요한 요소는 감쇠비이며, 케이블 진동의 과도한 진동을 감소시키기 위하여, 케이블의 감쇠비를 증가시키는 방법이 널리 사용되고 있다. 사장교 케이블의 다양한 진동 현상에 대한 발생 여부를 판단하고, 케이블 댐퍼와 같은 여러 제진 대책을 설계하고, 설치된 케이블 제진 대책의 성능을 검증하기 위해서는, 케이블의 감쇠비를 추정하는 것이 매우 중요하다. 일반적으로 사용되어져 온 케이블의 감쇠비 추정 방법은 정해진 모드로 자유 진동을 발생시킨 후, 진폭의 감소 추세로부터 Logarithmic Decrement를 계산하여 감쇠비를 구하는 방법이다. 그러나 수백m에 이르는 긴 케이블에서 정해진 모드의 자유 진동을 발생시키는 것은 쉽지 않다. 최근에는 상시 진동으로부터 감쇠비를 추정하는 여러 기법들이 개발되어져 왔으며, Frequency Domain Decomposition Method나 Stochastic Subspace Identification Method 등이 많이 사용되고 있다. 이 논문에서는, 상시진동 기반의 기법들을 사용하여, 사장교 케이블의 감쇠비를 추정하였으며, 추정된 감쇠비의 신뢰도를 높이기 위해, 측정시간을 늘리고, 가진 풍하중의 영향을 반영하여 보정하였다. 또한 추정된 감쇠비를 Buffeting 진동과 와류 진동과 같이 진동 현상과 진폭별로 분석하였다.

keywords : 케이블 진동, 감쇠비, 상시진동해석, 모드해석

1. 서 론

사장 케이블은 구조적으로 매우 효율적인 부재이나, 감쇠비가 낮고, 고유 진동수가 케이블의 길이에 따라 넓은 범위에 걸쳐 분포하기 때문에, 바람이나 지점 가진에 의하여 커다란 진동이 발생될 수 있다. 일반적인 Gust Wind에 의한 Buffeting 진동 외에도, 와류 진동이나, 풍우 진동, 후류에 의한 갤로핑, 지점 가진에 의한 진동 등과 같이 다양한 종류의 진동 현상이 사장교의 케이블에서 발견되어져 왔으며, 이와 같은 케이블의 과도한 진동을 감소시키기 위하여, 다양한 제진 대책이 개발되어져 왔다. 제진 대책으로 케이블 표면의 형상을

* 정회원 • 삼성물산(주) 건설부문 수석 연구원 saangkim@gmail.com
** 삼성물산(주) 건설부문 수석 연구원 dk.im@samsung.com
*** 삼성물산(주) 건설부문 대리 ch44.kim@samsung.com
**** 삼성물산(주) 건설부문 연구원

변화시킴으로써 빗줄기가 케이블 표면에 만들어지지 않도록 하는 풍우 진동을 포함하여, 많은 진동 현상의 경우에 있어서, 가장 중요한 요소는 감쇠비이다. 케이블 진동의 과도한 진동을 감소시키기 위하여, 케이블의 감쇠비를 증가시키는 방법이 널리 사용되고 있으며, 이를 위해, 고감쇠 고무 댐퍼, 오일 댐퍼, 점성 댐퍼, 마찰 댐퍼 등이 사용되고 있다. 사장교 케이블의 다양한 진동 현상에 대한 발생 여부를 판단하고, 케이블 댐퍼와 같은 여러 제진 대책을 설계하고, 설치된 케이블 제진 대책의 성능을 검증하기 위해서는, 케이블의 감쇠비를 추정하는 것이 매우 중요하다.

2. 사장교 케이블의 풍진동 계측

계측이 수행된 사장교의 동특성을 포함한 구조적 특성을 그림에 나타내었으며, 사장교 케이블의 길이와 장력과 같은 구조적 특성 및 고유 진동수를 포함한 동특성을 그림에 나타내었다. 여러 케이블에 대한 계측을 수행하였으며, 계측시의 환경도 함께 측정하였다. 국내외 다른 케이블 교량에서 계측된 결과와 비교하였다.

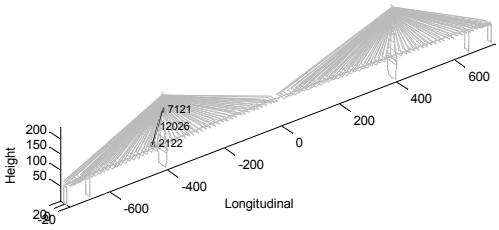


그림 1 Cable Stayed Bridge and the Objective Stay Cable

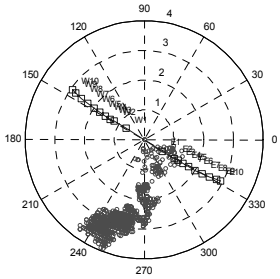


그림 2 Wind Rose

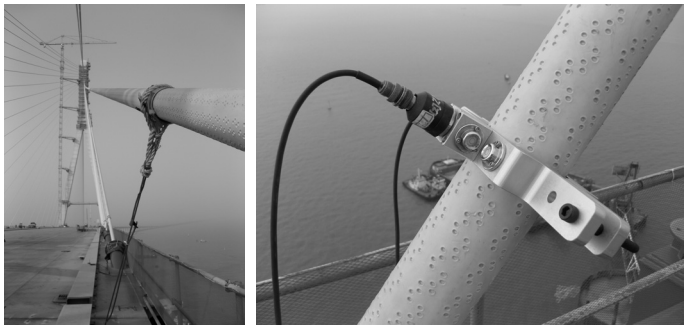
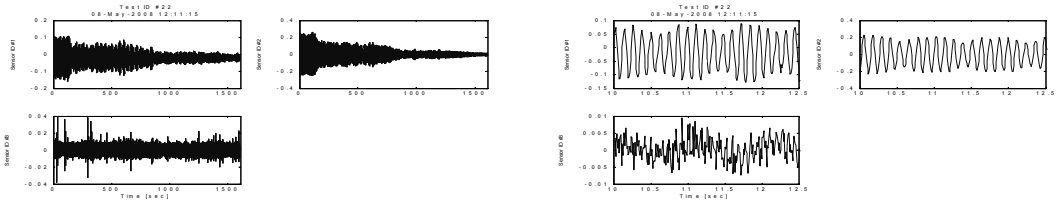


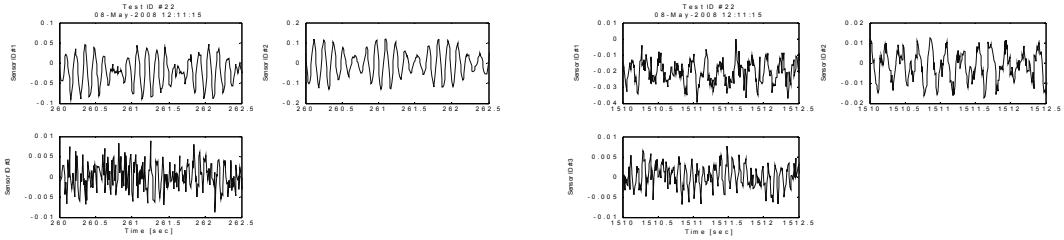
그림 4 Acceleration Measurement of a Stay Cable

3. 상시 진동에 의한 감쇠비 추정

사장교 케이블의 풍진동 계측 결과를 다음 그림에 나타내었다.

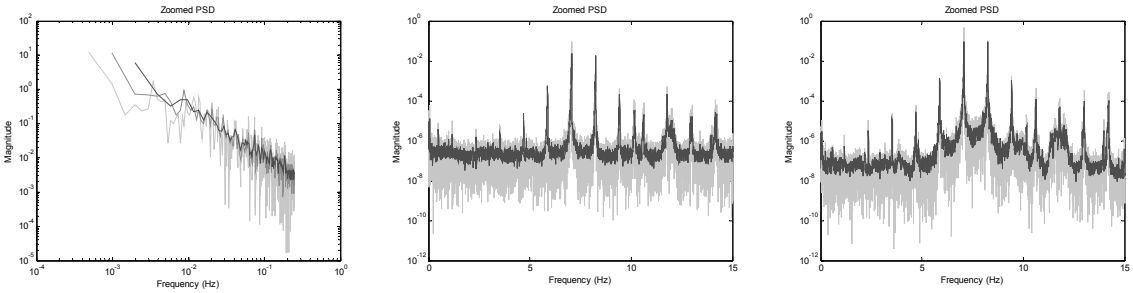


(a) Full Range (b) 10 sec



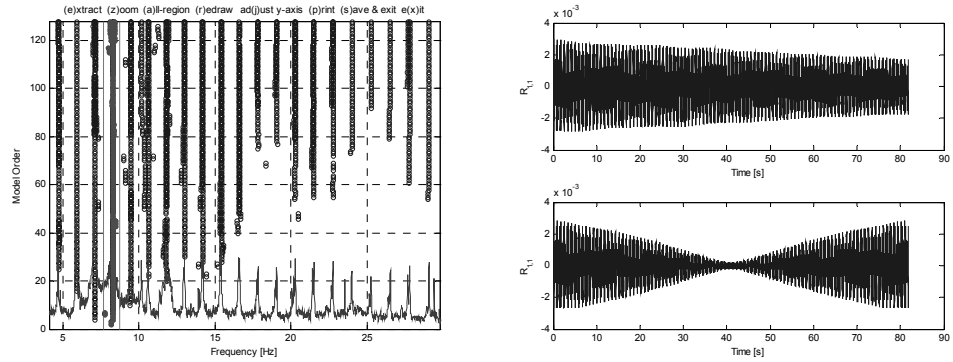
(c) 260 sec (d) 1560 sec

그림 5 계측된 풍진동 시간 이력

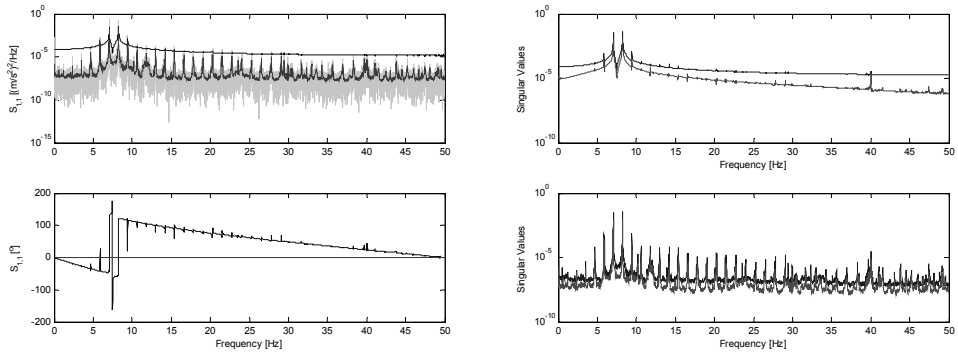


(a) Wind Magnitude (b) In-Plane (c) Out-Plane

그림 6 Power Spectral Density



(a) Stability Chart (b) Correlation Function



(c) Power Spectral Density (b) Singular Value

그림 7 Stochastic Subspace Identification

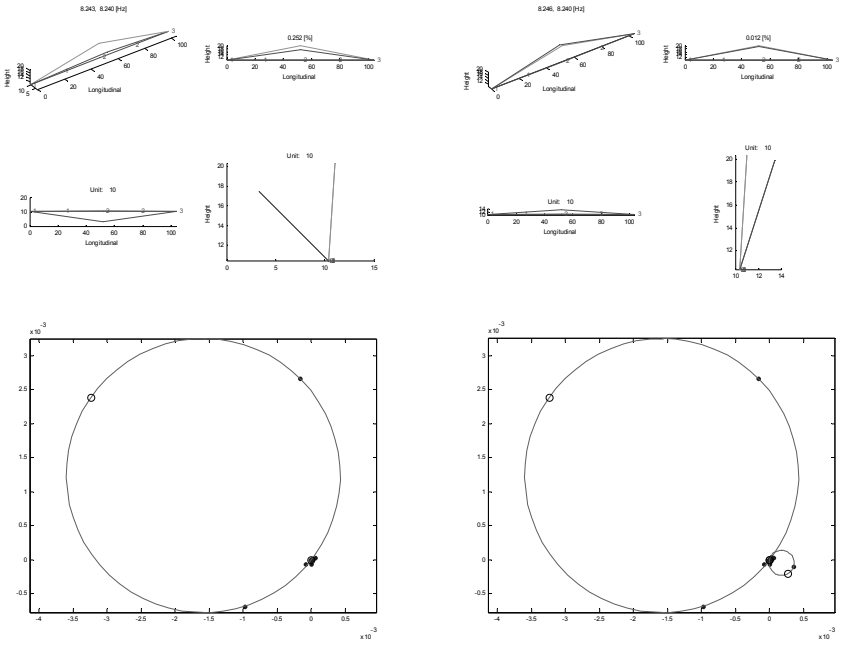


그림 8 Estimated Modal Parameters w.r.t. Vibration Types (Buffeting and Vortex)

4. 결론

상시진동 계측을 통하여 사장교 케이블의 감쇠비를 추정하였다. 감쇠비 추정기법의 신뢰도를 높이기 위하여, 풍하중에 의한 영향을 고려하였다. Buffeting 진동과 와류 진동 계측 결과를 바탕으로 진동 현상 별로 주된 모드들에 대한 감쇠비를 분석하였으며, 진동이 발생되어 진폭이 증가되고 소멸되는 과정에 따라 감쇠비를 분석하였다. 국내 다른 두 사장교에서 계측된 결과와 시험용 케이블에서 계측된 결과와 비교하였으며, 일본의 타타라 교를 포함한 여러 사장교 및 현수교에서 계측된 감쇠비와 비교 분석하였다.

참고문헌

안상섭 (2002) 사장교 케이블의 진동 검토 및 대책, 대한토목학회 논문집, 22(3a), pp.663-678.

장승필 외 (2006) 케이블 강교량 설계지침

한국유지관리㈜ (2006) Anylogger.

Kumarasena, S., Jones, N.P., Irwin, P. and Taylor P. (2005) Wind Induced Vibration of Stay Cables.

Main, J.A. and Jones, N.P. (2002) Free Vibrations of Taut Cable with Attached Damper II: Nonlinear Damper, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 128(10), pp.1072-1081.

Peters, B., Roeck, G. (1999) Reference Based Stochastic Subspace Identification in Civil Engineering.

Samsung Research Institute of Technology (2007) Design of Cable Dampers for Cable Stayed Bridge.

Samsung Research Institute of Technology (2008) Wind Vibration Measurement and Analysis on the InCheon Bridge.

Simiu, Emil, and Scanlan, Robert H. (1996) Wind Effects on Structures, John Wiley & Sons, Inc., New York.