

상시진동 계측자료로부터 교량의 정적변위 추정을 위한 2단계 모델개선방법

Two-Step Model Updating Method for Static Deflection Estimation of Bridges Based on Ambient Acceleration Measurements

조수진*·이진학†·윤정방**

Soojin Cho, Jin-Hak Yi and Chung-Bang Yun

1. 서 론

교량의 변위측정에 있어 기존의 접촉식 측정방법의 경우 기준점이 필요하며, 이러한 기준점을 설정하기 어려운 고교각 교량이나 하천 및 바다를 지나는 교량에 대해서는 센서 설치에 어려움이 비용 및 시간을 과도하게 요구하게 된다. 따라서 이러한 교량에 대한 변위를 간접적으로 측정할 수 있도록 하기 위하여 상시진동 계측자료를 활용한 모델개선방법을 제안하였다. 또한 보다 안정적인 모델개선을 위하여 2단계 모델개선기법을 도입하였다. 기존의 동특성을 이용한 모델개선에서 이슈가 되고 있는 여러 동적 모드의 조합 경우와 각 모드에 대한 가중치의 영향을 검토하기 위하여 사용한 모드 및 가중치를 변화시켜가며 모델개선을 수행하였다. 즉 고유진동수만 사용한 경우, 모드형상만 사용한 경우, 그리고 두 가지를 모두 사용한 경우에 대하여 그 결과를 실제 차량에 대한 변위측정값과 비교하여 검토하였다.

2. 2단계 모델개선방법

2.1 심플렉스 방법을 이용한 모델개선

교량의 정적처짐은 교량의 내하력을 평가하거나 혹은 여러 가지 목적에 의하여 교량의 성능을 평가하고자 하는 경우 가장 중요하게 사용될 수 있는 자료라 할 수 있으나, 이러한 정적처짐을 계측하기 위해서는 많은 제한이 따른다. 이 연구에서는 유한요소해석모델을 개선하여 기준이 되는 차량에 대한 정적처짐을 간접적으로 추정하는 방법을 제안하였다. 초기 도면을 바탕으로 작성한 유한요소해석모델의 경우 사용에 따른 노후화 및 시공상의 오차 등을 고려하지 못함

으로써 실제 구조물의 거동을 정확하게 반영하지 못한다. 따라서 이러한 초기 해석모델을 구조물의 동특성을 이용하여 개선하고, 개선된 유한요소모델에 차량 하중을 재하함으로써 정적처짐을 간접적으로 구할 수 있게 된다. 이를 위하여 구조물의 추정된 동특성과 유한요소모델로부터 계산한 동특성의 차이를 줄여주기 위하여 최적화를 이용한 모델개선을 수행하게 되며, 여러 최적화 방법이 이용될 수 있다. 이 연구에서는 다운힐 심플렉스 방법(Downhill simplex method)을 이용하여 모델개선을 수행하였다. 심플렉스 방법은 유전자 알고리즘 등과 같이 함수의 미분을 사용하지 않고 함수값만을 이용하여 최적화를 수행하기 때문에 SAP2000 등과 같은 상용프로그램과 연동하여 역해석 문제를 해결하는 경우 좋은 방법이 될 수 있다.

2.2 2단계 모델개선방법

교량의 고유진동수 및 모드형상 등의 동특성을 이용하여 교량의 유한요소해석모델을 개선하는 경우 어떠한 동특성을 이용하는가에 따라 다른 개선 결과를 얻을 수 있으며, 또한 각 요소에 어떠한 가중치를 고려하는가에 따라서도 서로 다른 개선결과를 얻을 수 있다. 한편 추정하고자 하는 변수가 주어진 정보보다 많은 경우 여러 해가 존재하는 문제가 발생할 수 있기 때문에 이 연구에서는 횡거동에 관련된 구조변수를 먼저 추정하고, 이후 비틀림 거동에 관련된 구조변수를 추정함으로써 역해석 상에 있어서의 악조건(ill-posedness)을 해소하고자 하였다.

3. 예제해석

3.1 대상교량

이 연구에서는 다음 그림 1과 같이 고속도로 상의 교량에 대하여 상시진동을 계측하고 그 결과를 이용하여 그림 2와 같은 모드형상을 구한 후 그 결과를 이용하여 유한요소해석 모델을 개선하였다.

† 교신저자; 한국해양연구원
E-mail : yjih@kordi.re.kr
Tel : (031) 400-7811, Fax : (031) 408-5823

* 한국과학기술원

** 한국과학기술원



그림 1. 대상교량

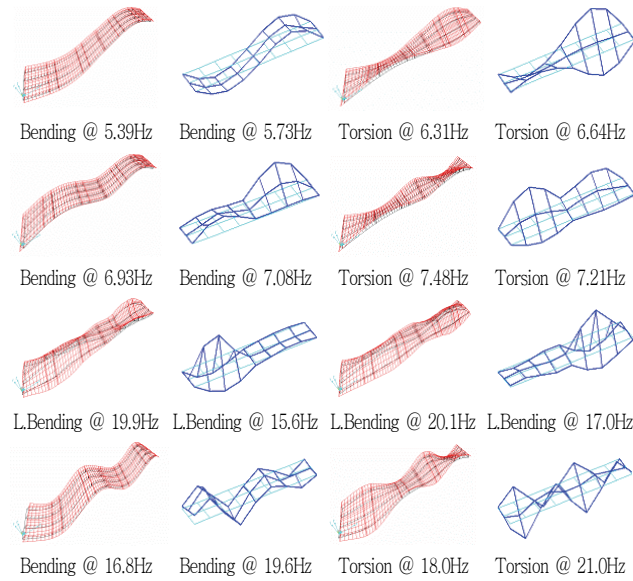
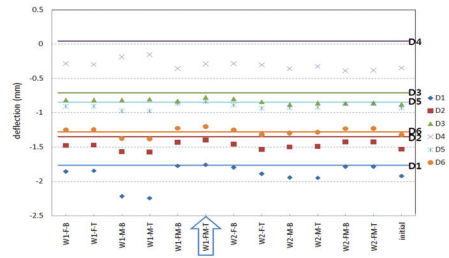
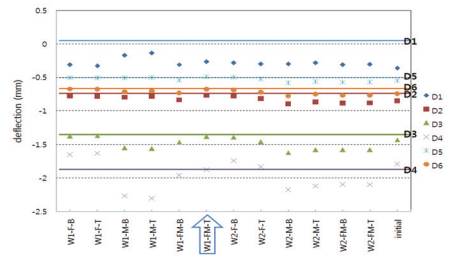


그림 2. 추정된 모드형상 및 고유진동수

모델개선은 (1)고유주파수만을 이용한 경우(W1-F & W2-F), (2) 모드형상만을 사용한 경우(W1-M & W2-M), (3) 두 자료를 모두 사용한 경우 (W1-FM & W2-FM)를 고려하였으며, 이때 W1은 저차모드에 가중치를 더 고려한 경우, W2는 가중치를 균일하게 고려한 경우에 대하여 모델 개선을 수행하였다. 1차 모델 개선을 위하여 휨거동에 지배적인 구조변수로는 각 거더의 휨강성(8개), 교대 및 교각에서의 축방향 평균 스프링강성(4개), 각 상판에서의 탄성계수(2개), 각 상판에서의 횡방향 보의 휨강성(2개), 두 상판 사이의 연결부의 휨강성(1개)로 총 17개 변수를 사용하였고, 2차 모델개선을 위해서는 각 지점에서의 스프링강성(16개), 각 거더의 비틀림 계수(8개), 그리고 연결부에서의 비틀림계수(1개) 등 총 25개의 구조변수를 사용하였다. 다음 그림은 교량에 차량 재하 경우에 따라서 각각 모델개선 결과를 이용하여 처짐을 추정한 결과와 실제 계측에 의하여 구한 처짐을 비교한 그림이다. 결과에서 알 수 있듯이 W1-FM이 모든 재하 경우에 대하여 가장 좋은 결과를 보여주고 있는 것을 알 수 있다.



(a) 재하경우 1에 대한 처짐



(b) 재하경우 2에 대한 처짐

그림 3. 계측된 처짐 및 계산된 처짐의 비교

위에서 언급한 바와 같이 W1-FM이 가장 좋은 결과를 보여주고 있으며, 결국 모드형상과 함께 고유진동수 정보를 함께 사용하는 것이 합리적인 모델개선에 있어 중요한 것임을 알 수 있었다. 또한 모든 모드에 대하여 같은 정도의 가중치를 고려하는 것보다 저차모드에 더 큰 가중치를 고려함으로써 더 좋은 결과를 얻을 수 있음을 보였는데, 이는 구조물의 거동에 있어 1차 모드의 영향이 크게 반영되기 때문으로 판단할 수 있다.

4. 결 론

이 연구에서는 많은 구조변수를 개선함으로써 구조물의 실제 정적거동에 가까운 거동을 보이는 유한요소모델을 2단계 모델개선방법을 이용하여 구하는 절차 및 대상교량에 대한 적용을 통한 적용성 검증 결과를 제시하였다. 이 제안 방법은 직접적인 변위계측이 어려운 해상교량이나 고교각 교량에 대하여 비교적 계측이 용이한 가속도계측을 통하여 간접적으로 변위를 추정할 수 있도록 함으로써 교량의 내하력 등 성능평가 시 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

이 연구는 한국과학기술원 사회기반시설연구센터의 연구비 지원으로 수행되었으며, 저자들은 이에 감사드립니다.