

교량 상시계측시스템을 이용한 실시간
안전성평가시스템 구축 방안
A Safety Evaluation Strategy Employing
Bridge Health Monitoring System by Traffic Loads

이우상* · 주봉철** · 박기태***

Lee, Woo Sang · Joo, Bong Chul · Park, Ki Tae

Abstract

The research was carried out to suggest the bridge health monitoring systems that have been composed damage detection algorithm and a system for evaluation load carrying capacity of bridge by traffic loads for the purpose of safety management of bridge structure in efficient and economic.

key words : Health monitoring system, Damage detection, Load carrying capacity

1. 서 론

현재, 대부분 국내 교량의 유지관리는 “시설물의 안전관리에 관한 특별법”에 의거하여 정기적인 안전점검이나 정밀안전진단으로 이루어지고 있다. 그러나 근래에는 중요교량을 중심으로 교량에 장기계측시스템을 설치하여 상시로 교량의 상태를 감시하는 상시모니터링시스템(Health Monitoring System)이 도입되고 있다. 현재 국내에는 사장교와 현수교와 같은 장대교량 대부분에 장기계측시스템이 설치되어 운영 중에 있으며, 특히, 2007년도에 서울시는 “한강교량 On Line 안전감시망 구축용역”을 수행하여 상용 인터넷 망을 이용한 한강 상 5개 교량 장기계측시스템을 통합 관리하는 시스템을 구축하였다[1]. 또한, 건교부에서는 2007년부터 국가 주요 도로시설물에 첨단 센서를 설치하여 통합 관리하는 “도로시설물 안전관리 네트워크 시범 구축” 연구용역을 추진하고 있다[2]. 장기계측시스템에 의한 상시모니터링시스템이 효과적으로 적용되기 위해서는 단순히 외력에 의한 교량 응답 신호만을 획득, 저장만 해서는 한계가 있다. 장기계측시스템에 의한 효과적인 교량 상시모니터링시스템이 구현되기 위해서는 획득한 응답데이터를 바탕으로 구조물의 상태를 실시간으로 파악할 수 있는 분석시스템이 구축되어야 한다. 그러나 현재의 교량 상시모니터링시스템은 원시데이터(Raw data)의 크기를 관리기준치와 단순 비교하여 교량 상태를 평가하는 추세관리 모니터링 방법이 대부분이다. 그러나 이와 같은 방법으로는 교량의 상태를 정량적으로 평가하기가 불가능하며 계측데이터의 활용 범위에 제한이 있어 효과적이고 경제적인 계측시스템 구축이 어렵다.

본 연구에서는 장기계측시스템의 효용가치를 높이기 위한 방안으로 실시간으로 상시가진에 의한 응답만을 측정하여 교량의 정량적인 안정성 상태를 분석할 수 있는 교량 상시모니터링시스템을 제시하였다. 제시된 시스템은 기존 발표된 상시진동에 의한 손상평가 알고리즘과 상시 내하력 평가 시스템을 적용하였다.

* 한국건설기술연구원 복합구조연구실 Post-Doc과정

** 한국건설기술연구원 복합구조연구실 연구원

*** 한국건설기술연구원 복합구조연구실 선임연구원

2. 상시모니터링시스템의 개요

교량의 상태나 손상평가를 위한 방법으로는 구조물의 동적응답을 분석하여 특성을 파악함으로써 가능하며 교량의 동적 특성 변수인 고유 주파수나 감쇠비와 모드 형상(Mode shape) 변화를 이용하는 것이 일반적이다. 이러한 모달(Modal) 변수는 주파수 응답 함수를 이용한 모드 해석에 의해 획득하는 것이 일반적이지만, 교량과 같은 구조물은 실 구조물에 유입되는 입력 신호나 공용 중에 발생하는 가진 신호의 측정이 불가능하거나 매우 어렵고, 입력 신호의 측정이 가능한 경우라고 할지라도 교량의 형태나 주변 여건에 의해서 가진 위치나 가진기의 설치 방법, 가진 방법 등에 제약이 따른다.

그리고 가진을 위해 발생시키는 외부 하중에 의해 교량의 손상을 유발할 수 있는 문제가 추가로 발생할 수도 있다. 교량은 공용 중에 발생하는 차량 하중이나 바람과 지진 등의 외부 상시 진동에 의해 진동을 일으키며 발생하는 응답신호의 측정은 비교적 용이한 편이다. 그림 1은 계측시스템에 의한 교량 상시 상태평가 시스템 개요를 나타낸 것이다..

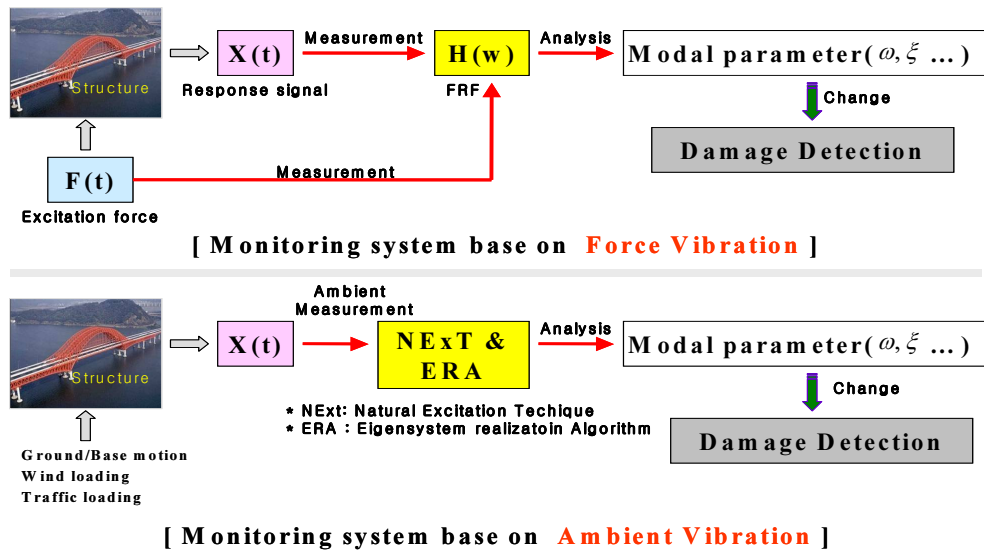


그림 1 교량계측시스템에 의한 교량 상시 상태평가 시스템 개요

출력 신호만을 이용한 구조물의 동적 특성을 분석할 수 있는 기법을 활용하면 장시간 교량의 건전도 모니터링 시스템의 구성에 이점을 가지며 이와 같은 관점에서 많은 연구자들에 의해 상시 진동을 이용한 구조물의 특성 분석 기법에 대한 많은 연구가 있었다[3~5].

3. 교량의 상시손상평가지스템

실 교량의 상시모니터링시스템은 구조물을 장시간 모니터링 할 수 있는 계측 시스템과 신뢰성 있는 데이터 분석 알고리즘과 손상 평가 시스템이 기본적으로 필요하다. 본 연구에서 제안된 상시 손상평가지스템은 실질적으로 모니터링 시스템에 적합한 구조물의 상시진동에 대한 응답을 자동화 알고리즘에 의하여 획득, 분석하여 구조물의 건전성 상태를 장시간 감시가 가능하도록 구성하였다. 본 시스템의 구성은 크게 5가지 단계로 요약될 수 있다. 먼저, 구조물의 감시정보의 질을 최대화 하면서 센서의 수량을 최소화하기 위한 최적계측시스템의 구축을 위한 계측 위치의 선정, 그리고 두 번째로는 일반 차량하중과 같은 상시 가진에 의해 발생하는 응답을 무선 계측 시스템을 이용하여 획득하여 저장하는 단계이고, 세 번째는 외부 가진이 불특정(Random) 가진이라고 가정하고 자연가진기법(NExT)에 의해 시간영역에서의 자유 응답을 얻어내는 과정이다. 그 다음 단계는 시간영역으로 변환된 자유 응답

신호에서 구조물의 특성치를 분석하기 위한 알고리즘으로 본 시스템의 구성에서는 다중 입출력을 갖는 경감쇠 구조물에 적합한 고유계 구현법(ERA)을 채택하였다. 이와 같이 산출된 동적 변수들은 최종적으로 실 구조물이 갖는 원형(Integrity)과의 다양한 손상평가 알고리즘을 통하여 장시간 구조물의 노후화 진행 및 성능 저하 상태를 모니터할 수 있도록 하였다. 그림 2는 상시진동을 이용한 교량 안전성 평가시스템을 위한 개념도이다.

교량의 손상은 동적특성치의 변화를 가져옴으로 장기간 교량의 동적특성치의 변화의 동향을 분석하면 교량의 성능저하나 노후화 진행과정을 모니터 할 수 있다. 교량의 건전도 모니터링을 위해 적용되는 손상검출법은 교량이 갖는 특성과 기하학적 형상에 따라 여러 가지 기법이 활용된다. 이러한 방법들은 대부분 무손상상태의 교량의 동적특성치와 비교를 통하여 손상의 양을 정량적으로 평가하고, 손상의 위치를 추정할 수 있는 알고리즘으로 구성된다. 본 시스템에서는 교량의 손상 검출을 위해 그동안의 연구를 통하여 성능이 검증된 방법들 중에서 실질적으로 현장에 적용할 수 있는 간편한 알고리즘을 사용하여 검출한 결과들을 종합적으로 분석 하여 최종적으로 교량 안전성평가에 활용된다.

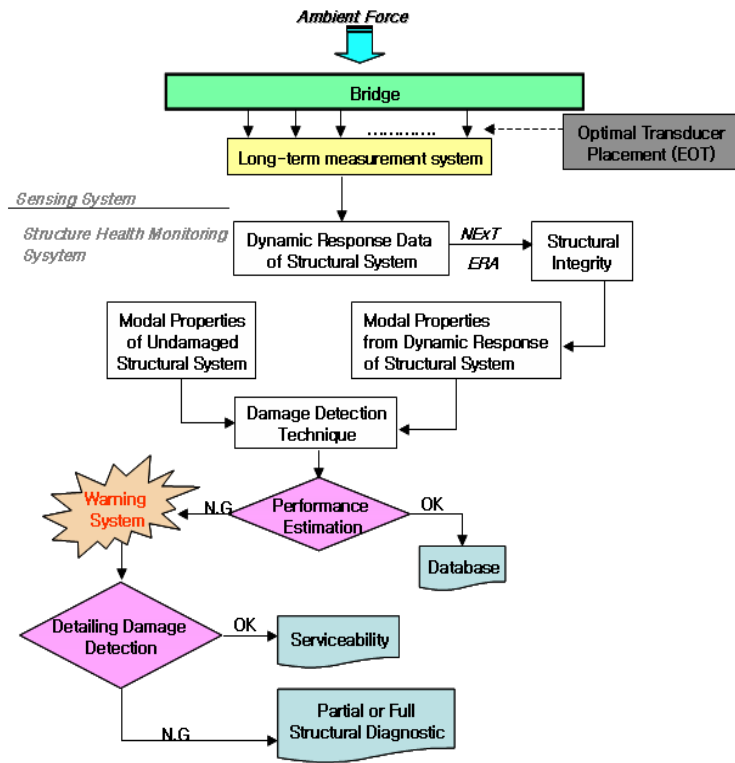


그림 2. 교량 상시 안전성평가 시스템 흐름도

4. 상시내하력평가시스템

현재 국내의 교량 정밀 안전진단은 외관조사, 비파괴실험과 표준차량 재하실험을 수행하여 공용내하력을 산정한 후, 안전성을 평가하여 보수, 보강 여부 및 방법을 결정한다. 안전점검에 추가적으로 안전성 평가를 포함하는 정밀안전진단은 안전성평가를 위한 내하력을 평가할 시 필요할 경우 재하실험을 실시하도록 되어있다. 그러나 교량의 내하력을 평가하기 위해 수행하는 기존의 재하실험은 많은 문제점을 가지고 있다. 재하실험을 통해서 얻을 수 있는 것은 구조물에 설치된 센서를 통해 얻어낸 교량의 변형율과 처짐과 같은 단순한 응력들뿐이다. 추가적으로 설치된 센서가 있다고 하더라도, 이러한 센서들을 이용하여 교량의 모든 거동을 표현할 수는 없다. 재하실험을 위하여 설치되는 변형율계나 처짐계와 같은 센서들은 교량의 외부환경을 고려하였을 때 설치가 어려우며, 케이블 길이에 따른 잡음, 부착 부위의 상태 및 여타 환경적 요인에 의하여 매우 큰 결과의 편차를 보인다. 일반적인 재하실험은 계측과 관련된 문제뿐만이 아니라 사회적인 단점 역시 내포하고 있으며 재하실험을 위하여 교량 상부의 통행을 제한해야 한다.

그러므로 본 논문에서는 교량 장기 계측시스템으로 획득한 계측 데이터를 이용하여 교량의 내하력을 실시간 분석함으로써 현재 수행되고 있는 재하실험의 문제점을 해결하고 상시모니터링시스템의 효율성을 높일 수 있는 상시내하력평가시스템 적용이 합리적이라 판단한다. 본 논문에서 소개하는 교량 상

상시내하력평가시스템은 한국도로공사 도로교통연구원에서 발표한 “상시교통하중에 의한 교량 내하력 평가시스템 개발”보고서의 내용을 참고한 것이다[6].

상시내하력평가시스템은 재하실험의 수행에 있어 발생하는 문제점들을 극복하기 위하여 상시진동 데이터를 이용하여 교량의 진동특성을 추정하고, 이를 이용하여 초기 유한요소 모델을 개선하는 과정을 통해 교량의 내하력을 산정하는 방법을 제안하였다. 재하실험 대신 상시진동실험을 이용할 경우 계측장치의 설치에 소모되는 시간 및 비용을 크게 절감할 수 있고, 차량의 통행을 제한할 필요가 없으며, 장기간의 계측을 통해 신뢰성 있는 데이터를 획득할 수 있다.

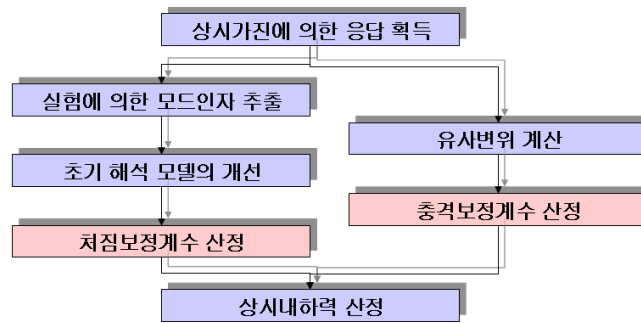


그림 3. 상시내하력 산정 절차

5. 결 론

본 논문에서는 교량 장기계측시스템의 실질적인 효용 가치를 높이기 위한 방안으로 상시손상평가시스템과 상시내하력평가시스템이 적용된 교량 상시모니터링시스템을 제안하였다. 상시모니터링에 적용되는 다양한 알고리즘은 현재 개발과 검증이 완료되었거나 진행 중에 있다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행 한 2006년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호:06건설핵심B05)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 서울특별시 건설안전본부(2007). “한강교량 On Line 안전감시망 구축용역” 종합보고서.
2. 한국건설기술연구원(2007). “도로시설물 안전관리 네트워크 시범 구축” 기획보고서.
3. Caicedo, J. M., Clayton, E., Dyke, S. J. and Abe, M., “Structural Health Monitoring for Large Structures Using Ambient Vibrations”, Proceedings of the ICANCEER Conference, Hong Kong, pp. 15-20, 2002.
4. Beck, J. L., Valik, M. W., Katafygiotis, L. S., “Determination of Modal Parameters from Ambient Vibration Data for Structural Health Monitoring”, Proceedings of the First World Conference on Structural Control, Pasadena CA, pp. TA3 3-12, 1994.
5. Caicedo, J. M., Dyke, S. J., Johnson, E. A., “NExT and ERA for Phase I of the IASC-ASCE Benchmark Problem: Simulated Data”, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, submitted, 2002.
6. 한국도로공사 도로교통연구원(2005). “상시교통하중에 의한 교량 내하력 평가시스템 개발” 연구보고서.