

GPS를 이용한 장대교량 실시간 거동 모니터링에 관한 연구

A Study on the Real Time Monitoring of Long Span Bridge Behavior Using GPS

최병길¹⁾ · 손덕재²⁾ · 나영우³⁾

Choi, Byoung Gil · Sohn, Duk Jae · Na, Young Woo

Abstract

This study aims to develop the system which is able to monitor long span bridge behavior in real time using GPS. Through measuring displacement of long span bridge by GPS in real time, over all 3D behavior of bridge could be analyzed and managed. Monitoring system of long span bridge which is developed in this study is able to manage in real time the safety of bridge by transmitting horizontal and vertical displacement of bridge, and danger signals to an integrated operations center. Also it is able to monitor the absolute behavior of long span bridge by GPS, and to construct a national bridge safety management networks.

Keywords : GPS, long span bridge behavior, real time monitoring, safety management

초 록

본 연구의 목적은 GPS를 이용하여 장대교량의 거동을 실시간으로 모니터링 할 수 있는 시스템을 구축하는데 있다. GPS 센서를 이용하여 장대교량의 실시간 변위를 측정함으로써 장대교량의 3차원적인 거동이 분석되어지고 관리될 수 있다. 본 연구에서 개발한 장대교량의 실시간 거동 모니터링 시스템은 통합운영센터로 교량의 수평 및 수직 방향 변위와 위험신호를 실시간으로 전송함으로써 장대교량의 안전관리를 가능하게 한다. 또한 GPS를 이용한 장대교량의 절대적 거동을 모니터링하고 전국적인 교량 안전관리네트워크를 구축하는데 활용할 수 있을 것이다.

핵심어 : GPS, 장대교량거동, 실시간 모니터링, 안전관리

1. 서 론

본 연구의 목적은 장대교량의 주탑, 중앙경간 등 주요 지점에 GPS 센서를 설치하여 실시간으로 거동을 모니터링 함으로써 장대교량의 순간적인 변위와 안전을 신속하고 체계적으로 관리 할 수 있는 실시간 거동 모니터링 시스템을 구축하는데 있다. 장대교량의 거동 모니터링을 위한 기존의 계측시스템은 변형울계, 경사계, 레이저 처짐계, 광섬유센서 등이 이용되고 있으나, 이 방법은

교량의 순간적인 미세변위를 정밀하게 관측할 수 있었지만 교량의 전체적인 거동을 지속적으로 모니터링하기 위해서는 복잡한 시스템 구축 및 분석 과정이 이루어져야 한다.

기존 연구사례들을 살펴보면 이호철 등의 'GPS와 인터넷을 이용한 장대교량 모니터링시스템 개발에 관한 연구(2001)'와 박운용 등의 '실시간 동적 GPS 측위기법에 의한 교량 거동의 모니터링(1998)' 연구에서는 장대교량인 남해대교에 GPS 센서를 설치하여 교량의 거동

1) 정회원 · 인천대학교 도시과학대학 건설환경공학과 교수(E-mail: bgchoi@incheon.ac.kr)

2) 정회원 · 대진대학교 공과대학 건설시스템공학과 교수(E-mail: djsohn@daejin.ac.kr)

3) 교신저자 · 정회원 · 인천대학교 공과대학 공학기술연구소 학술연구교수(E-mail: survey@incheon.ac.kr)

모니터링에 관한 연구를 수행 하였다. 이러한 연구들은 GPS 센서 1대를 현수교 상판의 중앙부에 설치하고 하중에 의한 교량의 변위를 측정하는데 한정되었다. 배인환 등의 'GPS를 이용한 장대교량의 거동 측정에 관한 연구'에서는 GPS 센서가 레이저 처짐계, 광파기에 의한 처짐측정을 비교 분석하였을 때 cm수준으로 거의 일치되고 있는 것으로 나타나고 있다. 배인환 등의 '건전도 모니터링시스템을 이용한 3차원 자정식 현수교의 구조 거동(2008)'에서는 GPS와 다양한 센서를 이용한 계측모니터링 시스템을 이용한 교량의 구조적 거동을 분석하였다. 최병길 등의 '멀티GPS센서를 이용한 장대교량의 형상관리시스템 개발에 관한 연구(2009)'에서는 멀티GPS센서를 이용한 장대교량의 형상관리시스템의 개발방안에 대하여 연구하였다. 그러나 이러한 연구들을 통해 GPS 센서를 이용하여 교량을 실시간으로 모니터링 및 형상관리가 가능하다는 것을 기술적으로 입증하고 있다고 할 수 있으나 실시간 계측 데이터 및 위험신호를 통합운영센터로 전송하여 교량의 안전관리를 위한 연구들이 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 GPS를 이용하여 장대교량의 거동을 실시간으로 모니터링하고 위험신호를 통합운영시스템으로 전송할 수 있는 장대교량의 실시간 거동 모니터링시스템 구축에 대하여 연구하고자 한다.

2. 실시간 거동 모니터링 시스템 개발

2.1 실시간 거동 모니터링 시스템 설계

GPS를 이용한 장대교량의 실시간 거동 모니터링 시스템은 GPS 수신기와 통신장비로 구성된 현장계측부분과 GPS 데이터 수집서버와 데이터 수집 프로그램으로 구성된 데이터수집시스템, 모니터링 프로그램, 데이터전송 프로그램, 위험신호 전송프로그램으로 구성된 단위시스템, 시설안전네트워크 상황실의 통합운영시스템으로 구성된다. 다음 그림 1은 본 연구에서 개발하고자 하는 장대교량 실시간 거동 모니터링시스템의 전체 구성도를 나타내고 있다.

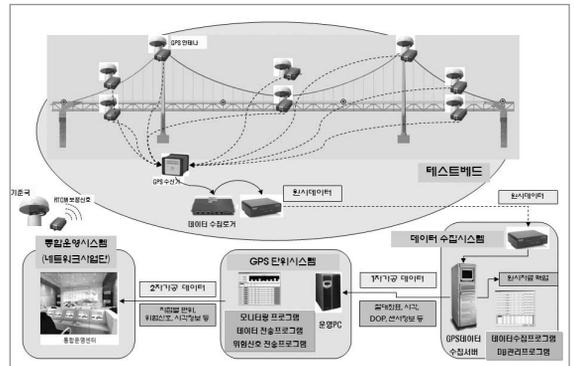


그림 1. 장대교량의 실시간 거동 모니터링 시스템 구성도

다음 표 1은 본 연구에서 개발된 장대교량의 실시간 거동 모니터링시스템의 기능 구성을 나타내고 있다.

표 1. 장대교량의 실시간 거동 모니터링시스템의 기능 구성

	세부기능	기능 설명
교량 거동 모니터링 및 형상관리	지점별 3차원(X,Y,Z)변위 표현	GPS 변위를 3D로 표현하고 각축의 허용오차 구간 표현
	지점별 변위의 시간별 변화 표현	지점별 변위량의시계열 자료 표현
	교량상판의 비틀림 표현	GPS 2대를 한 셋으로 상판의 비틀림 표현
	교량관리정보 및 허용오차 설정	시스템에 관리정보, 허용오차 설정 및 저장
	기타정보(위성수, GDOP등) 표현	기타 NMEA 정보 표현
	교량 형상관리 기능	단위시간변화에 따른 교량의 형상변화 표현
	화면에 계측값 표현	화면상에 계측값(절대좌표) 표현
DB관리 및 데이터 전송	기준값과의 비교값 표현	특정시간을 기준으로 상대적 변위량 표현
	데이터 수집 기능	지점들에서 취득된 개별 GPS 센서의 관측값을 수집
	데이터 저장 기능	지점별 데이터를 시간순으로 DB에 저장
	과대오차 소거 기능	계측데이터의 오류를 검사하여 과대오차를 소거
	관리 기준값 입력 기능	지점별 관리기준치를 입력
	데이터 변환 기능	통합시스템 전송을 위해 Binary file 로 변환
	데이터 전송 기능	5분 단위(기본 설정)로 통합시스템으로 데이터를 전송
위험신호 전송	데이터 통계 분석 기능	저장된 데이터의 시간별, 지점별 통계정보 생성
	위험발생시 이벤트 발생 기능	관리기준치 초과 변위 발생시 이벤트 발생
	위험발생시 지점별 데이터 확인 기능	위험발생시 지점별 계측 데이터를 화면에 표시
	상황전파 기능	위험발생 상황을 통합운영시스템으로 전파(전송)

2.2 GPS 데이터 수집 및 전송 프로그램 개발

본 연구에서 현장교량의 GPS 센서로부터 측정된 변위정보를 계속 지점별로 분리하고 단위시스템 및 통합시스템으로 전송하기 위한 GPS 데이터 수집 및 전송 프로그램을 개발하였다. 데이터 수집프로그램에서는 데이터 분리, 공유정보 추출, 좌표변환, 계측데이터의 DB화 기능을 수행하도록 개발하였으며, 전송 프로그램에서는 통합시스템으로 공유정보와 위험신호를 전송할 수 있도록 통합시스템 표준에 맞추어 프로그램을 개발하였다.

GPS데이터 수집 프로그램은 각 측정지점에서 수신되는 GPS 데이터를 실시간으로 수집하고 DB화하기 위한 프로그램으로 다수의 GPS 센서로부터 원시데이터를 수집, 분리하고 DB로 구축하기 위한 시스템이다.

데이터 전송 프로그램은 수집된 GPS 계측데이터와 위험신호 발생시, 통합운영시스템에 발생 시각정보, 발생 변위값 정보, 발생지점 정보 등을 통합시스템으로 전송하기 위한 시스템으로 다음 그림 2와 같이 전송 표준의 메시지 규격에 맞춰 바이너리 파일(binary file)로 변환하고 FTP 프로토콜을 이용하여 통합시스템으로 주기적으로 전송하도록 하였다.

Version (1bytes)	System ID (3bytes)	MT (2bytes)	Session ID (4bytes)	Length (4bytes)	Parameter
Message Header(14bytes)					Message Body (N bytes)

그림 2. 공유정보 전송 메시지 규격

그림 3은 통합시스템으로 전송하기 위한 전송용 데이터 생성과정을 나타내고 있다.

통합시스템으로의 전송은 기본적으로는 프로그램 가동시 바로 전송되거나 'Passive Mode' 기능 선택 시 관리자 가 수동으로 데이터를 확인하고, 선택하여 전송 할 수

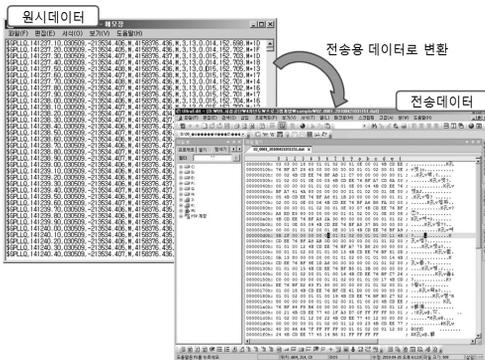


그림 3. 전송용 데이터 생성

있도록 개발하였다. 다음 그림 4는 통합시스템으로 전송하기 위한 FTP 접속화면이며, 그림 5는 계측데이터의 전송이 완료된 화면을 나타내고 있다.

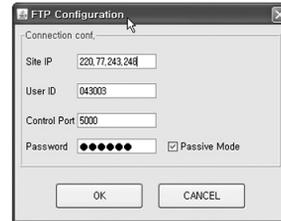


그림 4. FTP 프로토콜 접속화면 그림

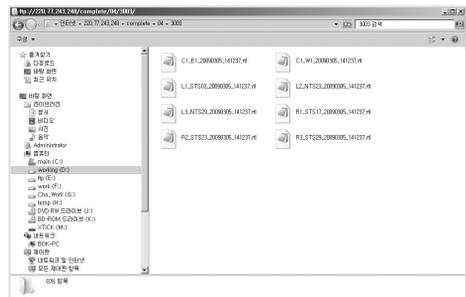


그림 5. 전송 결과 화면

위험신호 전송 프로그램에서는 장대교량의 지점별 허용차 범위 초과시 다음 그림 6과 같이 이벤트를 발생하고, 발생시간, 센서정보, 계측값, 이벤트 분류, 경보등급, 경보의 긴급도, 경보의 신뢰성 등을 통합시스템으로 전송할 수 있도록 개발하였다.



그림 6. 위험신호 전송 발생 화면

위험신호는 경보등급, 경보 긴급도, 경보 신뢰성에 따라 각각5단계로 구성되며, 통합운영시스템에서는 각 등급에 따라 관리자 및 시민들에게 위험상황을 전파하게 된다. 다음 표 2는 위험신호 등급에 대한 설명을 나타내고 있다.

표 2. 위험신호 등급 구분

구분	설명
정보등급	01 Minor :관심, 작은위험
	02 Moderate :주의, 관리기준1
	03 Severe :경계, 관리기준2
	04 Extreme :심각, 관리기준3
	05 Unknown :알 수 없음
정보 긴급도	01 Immediate :즉시 대응
	02 Expected :한시간안에 대응
	03 Future :가까운 미래에 대응
	04 Past :대응 필요 없음
	05 Unknown :알 수 없음
정보 신뢰성	01 Observed :신뢰성 대단히 높음
	02 Likely :신뢰성 높음
	03 Possible :신뢰성 중간
	04 Unlikely :신뢰성 낮음
	05 Unknown :알 수 없음

장대교량의 특성상 중앙경간 사이에서 최대변위가 발생하지만 교량형식, 노후도, 하중 등에 의해 지점별로 관리기준이 상이하게 되므로 일률적인 관리기준을 정하기보다는 GPS설치 초기 또는 야간의 차량의 교통이 없는 시점인 교량 거동 안정 상태를 기준으로 설정하고 그 값과 비교하여 교량안전의 정보등급을 설정 할 수 있도록 하였다.

2.3 교량거동 모니터링 데이터베이스 구축

각 측정지점에서 수신되는 GPS 데이터의 실시간 저장, 과대오차 소거를 위한 측정 한계값 저장, 이상 상황 발생 시 위험신호 전송을 위한 관리 기준값 저장 등의 데이터 관리 및 통합시스템으로의 실시간 전송이 가능한 교량거동 DB 관리 프로그램을 개발하였다. 다음 그림 7은 장대교량 모니터링 및 안전관리를 위해 구축된 데이터베이스를 나타내고 있다.

장대교량 모니터링 및 안전관리를 위한 교량거동 모니터링 데이터베이스 각 측정지점에서 수신된 GPS 데이터를 요소별로 구분하여, 측정시간을 기준으로 데이터베이스를 구축하였으며, 장대교량 거동 모니터링 및 안전관리 프로그램의 개발 환경과 타 시스템과의 호환성을 고려하여 교량거동 모니터링 DB를 구축하였다.

GPS 센서로부터 수신된 원시데이터로 분리된 데이터를 장대교량 거동 모니터링 및 안전관리를 위한 응용프

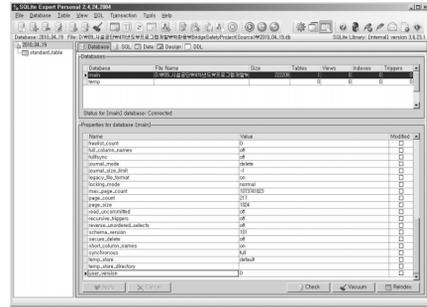


그림 7. 교량거동 모니터링 DB 구축

로그램 개발과 통합시스템으로 전송하고 관리하기 위한 DB 관리프로그램을 개발하였다. 상위시스템과의 연계를 위해 원시데이터를 분리하고 지역좌표계로 변환하는 등의 분석 및 처리 과정을 거쳐 장대교량의 거동을 실시간으로 모니터링을 위한 시각 및 위치정보를 포함하고 있는 1차 가공 데이터를 생성하고 장대교량 거동 모니터링 DB 구축 및 관리, 안전관리를 위한 관리정보 구축 및 관리, 상위시스템 연계를 위한 공유 DB 구축 및 관리하기 위한 DB 관리프로그램을 개발하였다.

2.4 장대교량의 거동 모니터링 프로그램 개발

장대교량의 거동 모니터링 프로그램은 장대교량의 평면거동 및 3차원 거동을 모니터링하기 위한 프로그램으로 교축 수직방향의 처짐 변위 분석을 위한 측면분석 모듈(Side viewer), 교축방향의 비틀림(Rolling)과 주탑 양측 상단부의 상관관계 분석을 위한 균형분석 모듈(Balance viewer)을 개발하였다. 다음 그림 8과 그림 9는 측면분석 모듈과 균형분석 모듈의 화면을 나타내고 있다.

지점별 GPS 측측데이터를 이용하여 지점별 절대좌표(X, Y, Z)를 수치화하고 시각화할 수 있는 측정지점별 실시간 모니터링 모듈을 개발하였다. 다음 그림 10

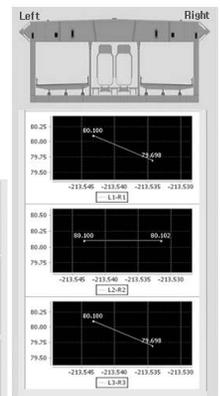
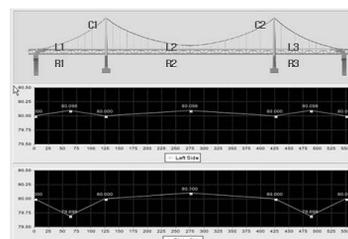


그림 8. 측면분석 모듈 화면 그림 9. 균형분석 모듈 화면

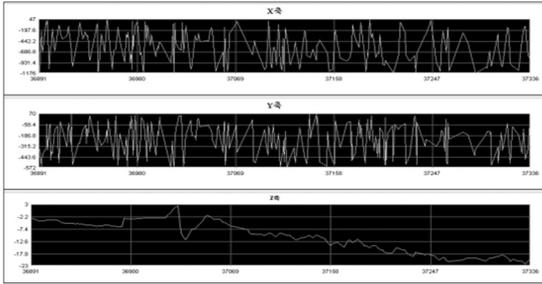
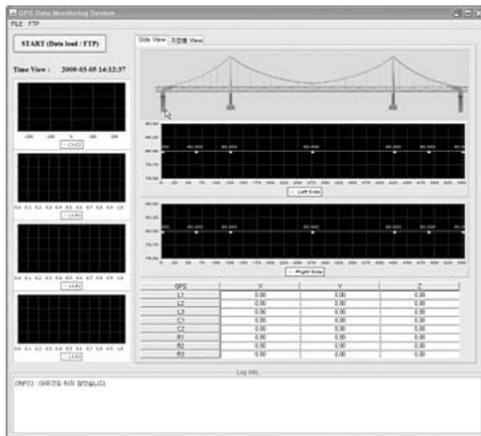


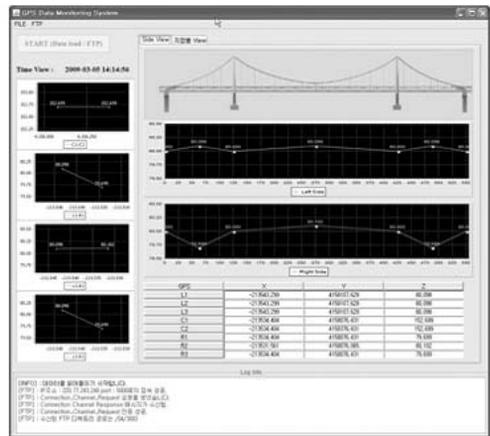
그림 10. 지점별 실시간 모니터링

은 L2 지점의 실시간 계측데이터가 모니터링 되고 있는 화면을 나타내고 있다.

장대교량의 실시간 거동 모니터링 프로그램을 이용하여 3차원 형상 변화를 분석할 수 있는 3차원 형상관리프로그램을 개발하였다. 3차원 형상관리프로그램은 측점점별 초기 설정값과 실시간 계측데이터 간의 3차원적 상대변위를 그래프로 표현하고, 각 측정점간의 상대적 변위를 이용한 안전도를 평가할 수 있도록 개발 하였다. 다음 그림 11은 3차원 교량거동 형상관리 프로그램 모듈을 나타내고 있다.



(a) 설치 초기 교량



(b) 현재 상태의 교량

그림 11. 3차원 교량거동 형상관리 프로그램 모듈

3. 장대교량 거동 모니터링 프로그램의 적용 및 분석

3.1 장대교량의 GPS 계측 데이터의 평가

장대교량 거동 모니터링 프로그램의 현장적용을 위해 현장 GPS 센서의 실시간 계측 백업 데이터의 품질평가

및 변위를 분석하였다. 다음 그림 12는 GPS 데이터의 품질평가 결과를 나타내고 있다.

현장 GPS의 오차를 분석한 결과 평면위치 오차 보다는 수직변위의 오차가 큰 것을 알 수 있다. 다음 표 3은 현장 GPS 데이터의 오차 분석 결과를 나타내고 있다.

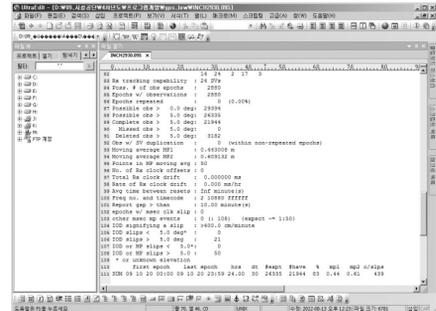
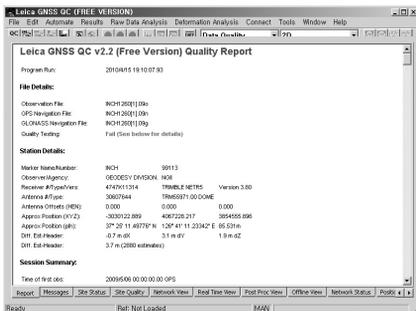
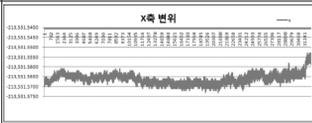
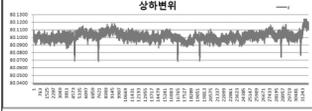


그림 12. GPS 계측데이터 품질평가 결과

표 3. 현장 GPS 데이터 오차 분석 결과

구분	오차 분석 결과	
X 좌 표		표준편차 : 0.27cm 최대변위 : -0.72cm ~+1.28cm
Y 좌 표		표준편차 : 0.28cm 최대변위 : -0.97cm ~+1.13cm
Z 좌 표		표준편차 : 0.65cm 최대변위 : -3.25cm ~+2.35cm

3.2 장대교량의 실시간 거동 모니터링 시스템의 적용

장대교량의 실시간 거동 모니터링 시스템은 테스트베드의 실시간 GPS 데이터를 이용하여 다음 그림 13과 같이 시범적용을 실시하였다. 지점별 데이터가 수신되고 교량 수평 및 수직 방향으로 데이터가 표출 되고 상관관계 분석을 통해 교량의 형상을 모니터링 할 수 있음을 알 수 있다.

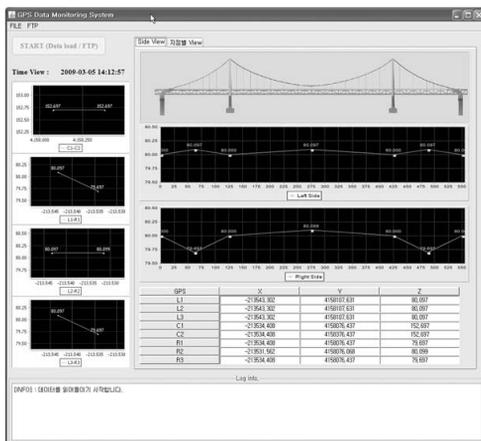


그림 13. 실시간 거동 모니터링 프로그램 적용

장대교량의 실시간 거동 모니터링 시스템은 시설물 안전관리 네트워크 통합운영시스템과의 연계를 통한 장대교량의 위험신호를 실시간으로 감지하는데 활용 할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 GPS를 이용하여 장대교량의 거동을 실시간으로 모니터링 및 안전관리가 가능 한 시스템을 구축하였다. GPS 센서를 이용하여 장대교량의 실시간 변위를 측정함으로써 장대교량의 3차원적인 거동이 분석되어지고 관리될 수 있다. 본 연구에서 개발한 장대교량의 실시간 거동 모니터링 시스템은 통합운영센터로 교량의 수평 및 수직 방향 변위와 위험신호를 실시간으로 전송함으로써 장대교량의 안전관리를 가능하게 한다. 또한 GPS를 이용한 장대교량의 절대적 거동을 모니터링 하고 전국적인 교량 안전관리네트워크를 구축하는데 활용 할 수 있을 것이다. 또한 GPS를 이용한 장대교량의 절대 위치정보 분석을 통하여 교량의 절대적 거동을 모니터링하고 전국적인 안전관리네트워크를 구축하는데 활용 할 수 있을 것으로 판단되며, 변형율계, 경사계, 레이저 처짐계, 광섬유센서 등과 같은 기존센서와의 상호보완을 통해서 신뢰성 있는 장대교량의 안전관리에 적용 될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 개발된 시스템은 장대교량의 거동 모니터링 및 안전관리뿐만 아니라 댐, 고층 빌딩 등과 같은 대형 구조물의 3차원 변위 측정 및 안전관리 모니터링 시스템에 효과적으로 확대 적용될 수 있을 것으로 판단된다. 향후 본 논문에서 개발된 시스템은 현장 적용을 통하여 기존 계측기와의 연동 및 정확도 분석 등에 대한 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 건설기술혁신사업인 “GPS 센서를 이용한 시설물거동 모니터링 및 분석 기술 개발 연구” 과제의 성과 중 일부로서 연구를 지원해주신 국토해양부에 감사드립니다.

참고문헌

박운용, 이흥규, 정성모, 장상규 (1998), 실시간 동적 GPS 측위 기법에 의한 교량 거동의 모니터링, 대한토목학회 1998년도 학술발표회 논문집(IV), 대한토목학회, pp. 377-380.
 배인환, 하강희 (2008), 건전도모니터링시스템을 이용한 3차원 자정식 현수교의 구조거동, 대한토목학회 학술

- 발표회 논문집, 대한토목학회, pp. 513-516.
- 윤석구 (2000), 교량모니터링 시스템의 적용성 분석, 대한토목학회 2000년도 학술발표회 논문집(I), 대한토목학회, pp. 507-510.
- 이영균 (2005), GPS 멀티안테나 스위치를 활용한 실시간 구조물 변위 측정 시스템, 석사학위논문, 성균관대학교.
- 이호철, 윤희식 (2001), GPS와 인터넷을 이용한 장대교량 모니터링시스템 개발에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제 21권 제 6호, pp. 875-883.
- 최병길, 나영우 (2009), 멀티 GPS 센서를 이용한 장대교량의 형상관리시스템 개발에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 27권 제 3호, pp. 385-392.
- Brownjohn, J. M. W., Magalhaes, F., Caetano, E. and Cunha, A. (2010), Ambient vibration re-testing and operational modal analysis of the Humber Bridge, *Engineering Structures*, Articles in Press. pp. 1-16.
- Celebi, M. (2000), GPS in dynamic monitoring of long-period structures, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol.20, pp. 477-483.

(접수일 2010. 06. 09, 심사일 2010. 06. 17, 심사완료일 2010. 06. 22)