

멀티 GPS 센서를 이용한 장대교량의 형상관리시스템 개발에 관한 연구

A Study on the Configuration Management System of Long Span Bridge Using Multi GPS Sensor

최병길¹⁾ · 나영우²⁾

Choi, Byoung Gil · Na, Young Woo

Abstract

This study aims to methodology a system which is able to monitor and configuration management of long span bridge in real time using multi GPS. Through setting up many GPS at the important points of long span bridge and measuring displacement in real time, over all 3D configuration of bridge could be analyzed. Behavior analyzing system developed in this study is able to digitize and visualize the overall and points displacement of bridge and deal with events actively. Also it is able to calculate statistical data related to analyze behavior through the constricting database of measuring data.

Keywords : multiGPS, long span bridge, configuration management

초 록

본 연구의 목적은 멀티 GPS 센서를 이용하여 장대교량의 형상을 실시간으로 모니터링 하고 관리 할 수 있는 방안에 대하여 연구하는데 있다. 멀티 GPS 센서를 장대교량의 주요 지점에 설치하고 변위를 실시간으로 측정함으로써 장대교량의 3차원적인 형상거동을 관리 할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서 개발한 형상관리시스템은 교량의 전체적, 지점별 변위정보를 수치화, 시각화하고 위험발생에 따라 능동적으로 대응이 가능하며 측정데이터의 DB화를 통해서 계측정보를 실시간으로 관리하고 제공 할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 GPS센서를 이용한 형상관리시스템은 GPS 센서를 이용한 장대교량의 3차원 절대변위 및 거대변위의 효과적인 측정에 의한 교량의 전체적인 형상관리에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심어 : 멀티GPS, 장대교량, 형상관리

1. 서 론

본 연구에서는 멀티 GPS 센서를 장대교량의 주요 지점에 설치하여 실시간으로 거동을 측정함으로써 장대교량의 순간적인 변위와 형상을 관리 할 수 있는 형상관리시스템을 개발하고자 한다. 장대교량의 형상관리를 위한 기존의 계측시스템은 변형율계, 경사계, 레이저저집

계, 광섬유센서 등이 이용되고 있으나, 이 방법은 교량의 순간적인 미세변위를 정밀하게 관측할 수 있었지만 교량의 전체적인 거동을 파악하기 위해서는 복잡한 분석과정을 거쳐야 했다.

멀티 GPS 센서를 이용한 교량의 형상관리시스템은 기존 센서와 같은 미세한 측정은 어려우나 3차원 절대변위 및 거대변위의 효과적인 측정에 의한 교량의 전체적인

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

2) 교신저자 · 인천대학교 공과대학 공학기술연구소 연구교수(E-mail: survey@incheon.ac.kr)

형상관리가 가능하며, 야간관측, 안개, 강우, 폭설 등 시간적, 환경적 제한을 거의 받지 않고 관측이 가능하다. 또한 기존 센서와의 상호 보완을 통하여 신뢰성 있는 안전관리가 가능 하다. 국내외의 학계 및 업계에서 다수의 실험을 통해 장대교량과 같이 변위가 큰 시설물의 경우 허용되는 범위 내에서 변위를 관측할 수 있음을 입증한 바 있다.

이호철과 윤홍식의 “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 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 센서와 레이저 처짐계, 광파기에 의한 처짐측정을 통하여 cm 수준의 일치하고 있음을 나타내고 있다. 배인환과 하강희의 “건전도모니터링시스템을 이용한 3차원 자정식 현수교의 구조거동(2008)”에서는 GPS와 다양한 센서를 이용한 계측모니터링 시스템을 이용한 교량의 구조적 거동을 분석하였다. 이러한 연구들을 통해 GPS 센서를 이용하여 교량을 실시간으로 모니터링 및 형상관리가 가능하다는 것을 기술적으로 입증하고 있다고 할 수 있다.

멀티 GPS는 두 가지 방식으로 구분할 수 있다. GPS 수신기 1대에 여러 개의 GPS 안테나를 연결하는 GPS 멀티-안테나 시스템(GPS Multi-Antenna System)과 여러 개의 GPS 수신기를 사용하여 하나의 스위치(switch)로 묶어주는 GPS 멀티-안테나 스위치 시스템(Multi-Antenna Switch System) 로 구분된다. GPS 멀티-안테나 시스템의 경우는 이동체의 자세결정에 활용되고 있으며, GPS 멀티-안테나 스위치 시스템의 경우에는 유선 및 무선을 통해 각 수신기를 연결시켜 대형구조물 등의 모니터링, 변위측정 등에 활용되고 있다. 멀티 GPS의 경우 현재까지 실험적인 연구가 대부분을 차지하고 있었으나 J사의 멀티GPS의 사양서를 살펴보면 멀티GPS를 이용한 RTK-GPS 측량의 수평 정확도는 $\pm 0.006m + 1 \text{ ppm}$, 수직정확도는 $\pm 0.009m + 1 \text{ ppm}$ 이내로, 단일 GPS의 수평정확도 $\pm 0.01 m + 1 \text{ ppm}$, 수직정확도 $\pm 0.015m + 1.5 \text{ ppm}$ 보다 약 60% 정확한 위치정보를 획득할 수 있는 것으로 나타나고 있다.

따라서 본 연구에서는 멀티 GPS 센서를 이용하여 장대교량의 거동을 실시간 모니터링하고 분석하는 시스템을 개발 하고자 한다.

2. 장대교량의 형상관리 시스템 구축 방안

2.1 형상관리시스템의 구성

GPS 센서를 이용한 장대교량의 형상관리시스템은 계측부분, 통신부분, 관제부분으로 나눌 수 있으며, 계측부분의 GPS 센서에 대한 기본 사양은 L1/L2 code/phase 를 모두 수신이 가능하여야 하며 20Hz로 관측이 가능한 고정밀의 RTK-GPS 센서를 사용하도록 설계 설계 설 GPS 센서가 설치될 위치는 변위측정의 안정성과 정확성을 극대화할 수 있으면서 설치가 용이하고 교량의 형상관리나 구조해석에 필요한 경계조건에 해당되는 지점에 설치할 수 있도록 설계 설계 설또한, 상시전원 공급 장치는 교류를 직류로 변환하는 장치능하12V 충전 시스템으로 설계 설계 설통신부분에서는 실효전송속도가 20Mbps, 통신반경이 30 ~ 40km 이상의 성능을 갖는 무선 통신 시스템으로 설계 설계 설관제부분은 통신시스템, 형상관리시스템으로 구성되며 다수의 GPS 센서로부터 전송되는 측정데이터를 분석하고 저장하기 위한 시스템으로 멀티 GPS 센서로부터 전송되는 다량의 정보를 처리할 수 있도록 설계하였다. 그림 1은 본 연구에서 개발하는 시스템의 전체 구성도를 나타내고 있다.

2.2 GPS 데이터수집 프로그램 개발

본 연구에서 개발한 GPS 데이터수집 프로그램은 데이터 로거(Logger) 및 포트설정, 변위측정데이터의 분리 저장, NMEA 데이터 분석 및 좌표변환, 변위측정데이터의 DB화 및 통합시스템으로 전송하기 위한 프로그램을 개발하였다. 다음 그림 2에서 그림 4까지는 각 측정 지점 별로 데이터를 분리하고 RAW DATA를 분석하여 상위 시스템으로 전송하기 위한 과정과 지역좌표로 변환하는 과정을 나타내고 있다.

측정 지점별 데이터 분리 모듈은 4개의 측정지점으로부터 수신된 데이터가 데이터 로거에 임시 저장되고 GPS 데이터 수집서버에서 전송받은 NMEA 데이터를 각 측정지점별 헤드값을 이용하여 분리하는 모듈이다. 다음 그림 2는 GPS로부터 수신된 측정데이터를 측정지점 별로 분리되고 있는 화면을 나타내고 있다.

멀티GPS로부터 측정된 데이터는 NMEA 0813 형식으

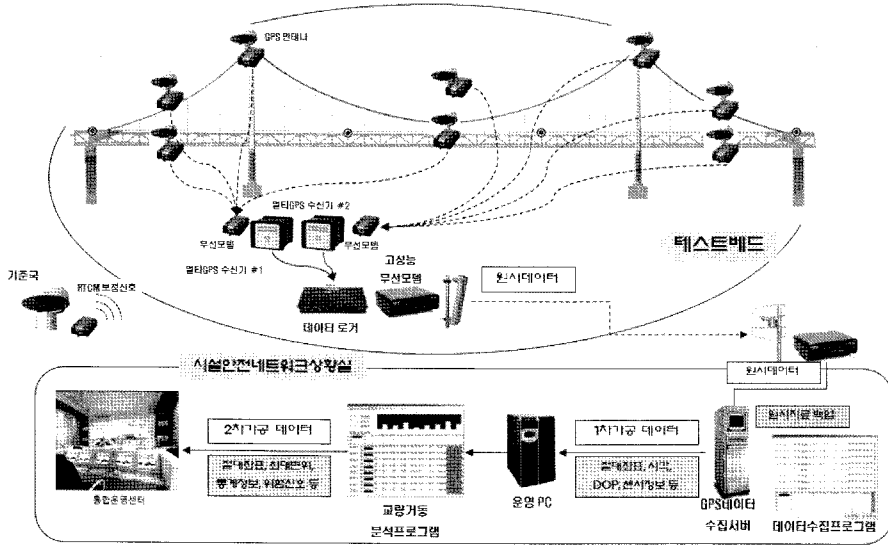


그림 1. 시스템 구성도

측정점 ID	NMEA 데이터	경도 (E)	위도 (N)	고도 (M)
1	\$GPRMC,1.00,A,0.00,S,0.00,W,0.00,D,0.00,M,0.00,A,0.00,P,0.00,Q,0.00,R,0.00,S,0.00,W,0.00	127.000000	33.000000	0.000000
2	\$GPRMC,1.00,A,0.00,S,0.00,W,0.00,D,0.00,M,0.00,A,0.00,P,0.00,Q,0.00,R,0.00,S,0.00,W,0.00	127.000000	33.000000	0.000000
3	\$GPRMC,1.00,A,0.00,S,0.00,W,0.00,D,0.00,M,0.00,A,0.00,P,0.00,Q,0.00,R,0.00,S,0.00,W,0.00	127.000000	33.000000	0.000000
4	\$GPRMC,1.00,A,0.00,S,0.00,W,0.00,D,0.00,M,0.00,A,0.00,P,0.00,Q,0.00,R,0.00,S,0.00,W,0.00	127.000000	33.000000	0.000000
5	\$GPRMC,1.00,A,0.00,S,0.00,W,0.00,D,0.00,M,0.00,A,0.00,P,0.00,Q,0.00,R,0.00,S,0.00,W,0.00	127.000000	33.000000	0.000000
6	\$GPRMC,1.00,A,0.00,S,0.00,W,0.00,D,0.00,M,0.00,A,0.00,P,0.00,Q,0.00,R,0.00,S,0.00,W,0.00	127.000000	33.000000	0.000000
7	\$GPRMC,1.00,A,0.00,S,0.00,W,0.00,D,0.00,M,0.00,A,0.00,P,0.00,Q,0.00,R,0.00,S,0.00,W,0.00	127.000000	33.000000	0.000000
8	\$GPRMC,1.00,A,0.00,S,0.00,W,0.00,D,0.00,M,0.00,A,0.00,P,0.00,Q,0.00,R,0.00,S,0.00,W,0.00	127.000000	33.000000	0.000000
9	\$GPRMC,1.00,A,0.00,S,0.00,W,0.00,D,0.00,M,0.00,A,0.00,P,0.00,Q,0.00,R,0.00,S,0.00,W,0.00	127.000000	33.000000	0.000000
10	\$GPRMC,1.00,A,0.00,S,0.00,W,0.00,D,0.00,M,0.00,A,0.00,P,0.00,Q,0.00,R,0.00,S,0.00,W,0.00	127.000000	33.000000	0.000000

그림 2. 측정 지점별 데이터 분리 화면

측정점 ID	NMEA 데이터	경도 (E)	위도 (N)	고도 (M)	GDOP	시각
1	\$GPRMC,1.00,A,0.00,S,0.00,W,0.00,D,0.00,M,0.00,A,0.00,P,0.00,Q,0.00,R,0.00,S,0.00,W,0.00	127.000000	33.000000	0.000000	1.00	1.00
2	\$GPRMC,1.00,A,0.00,S,0.00,W,0.00,D,0.00,M,0.00,A,0.00,P,0.00,Q,0.00,R,0.00,S,0.00,W,0.00	127.000000	33.000000	0.000000	1.00	1.00
3	\$GPRMC,1.00,A,0.00,S,0.00,W,0.00,D,0.00,M,0.00,A,0.00,P,0.00,Q,0.00,R,0.00,S,0.00,W,0.00	127.000000	33.000000	0.000000	1.00	1.00
4	\$GPRMC,1.00,A,0.00,S,0.00,W,0.00,D,0.00,M,0.00,A,0.00,P,0.00,Q,0.00,R,0.00,S,0.00,W,0.00	127.000000	33.000000	0.000000	1.00	1.00
5	\$GPRMC,1.00,A,0.00,S,0.00,W,0.00,D,0.00,M,0.00,A,0.00,P,0.00,Q,0.00,R,0.00,S,0.00,W,0.00	127.000000	33.000000	0.000000	1.00	1.00
6	\$GPRMC,1.00,A,0.00,S,0.00,W,0.00,D,0.00,M,0.00,A,0.00,P,0.00,Q,0.00,R,0.00,S,0.00,W,0.00	127.000000	33.000000	0.000000	1.00	1.00
7	\$GPRMC,1.00,A,0.00,S,0.00,W,0.00,D,0.00,M,0.00,A,0.00,P,0.00,Q,0.00,R,0.00,S,0.00,W,0.00	127.000000	33.000000	0.000000	1.00	1.00
8	\$GPRMC,1.00,A,0.00,S,0.00,W,0.00,D,0.00,M,0.00,A,0.00,P,0.00,Q,0.00,R,0.00,S,0.00,W,0.00	127.000000	33.000000	0.000000	1.00	1.00
9	\$GPRMC,1.00,A,0.00,S,0.00,W,0.00,D,0.00,M,0.00,A,0.00,P,0.00,Q,0.00,R,0.00,S,0.00,W,0.00	127.000000	33.000000	0.000000	1.00	1.00
10	\$GPRMC,1.00,A,0.00,S,0.00,W,0.00,D,0.00,M,0.00,A,0.00,P,0.00,Q,0.00,R,0.00,S,0.00,W,0.00	127.000000	33.000000	0.000000	1.00	1.00

그림 3. 측정데이터 분석 화면

로 이를 장대교량의 형상관리시스템의 계측데이터로 활용하기 위해서는 위도, 경도, 고도, 위성수, GDOP, 시각 등의 정보로 분리 하게 된다. 다음 그림 3은 측정 지점별로 분리된 데이터를 분석하여 시각 및 위치정보 등을 추출하고 있는 과정을 나타내고 있다.

측정데이터의 분석과정을 통하여 각 측정점의 위치정보를 추출할 수 있는데 여기서의 위치정보는 멀티GPS에 설정된 좌표체계에 따라 경위도 좌표 또는 지역좌표로 나타나게 되는 이를 다수의 시설물들에서 절대변위를 모니터링하기 위해서는 국가 절대좌표로 변환되어야 한

다. 다음 그림 4는 GPS로부터 수신된 경위도 좌표를 절대좌표를 변환하기 위한 모듈 화면을 나타내고 있다.

멀티 GPS로부터 측정된 장대교량의 주요지점에 대한 계측데이터는 장대교량의 통합안전관리 및 모니터링을 위해서 MSSQL 형식으로 통합운영센터로 전송된다. 통합운영센터에서는 각 시설물에서 수신된 계측데이터의 통합관리가 이루어지게 된다. 다음 그림 5는 상위시스템인 통합운영센터로 공유정보를 전송하는 화면을 나타내고 있다.

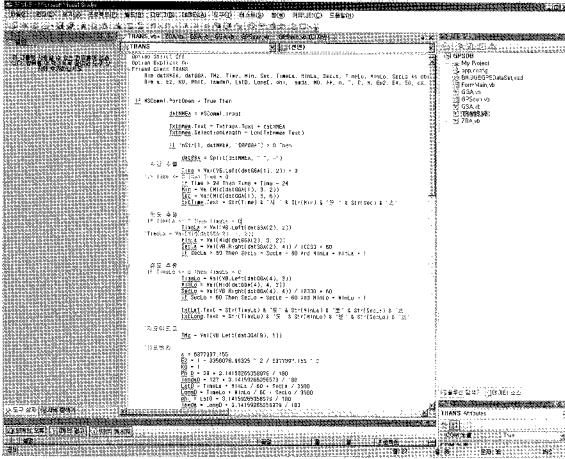


그림 4. 절대좌표로의 변환 과정

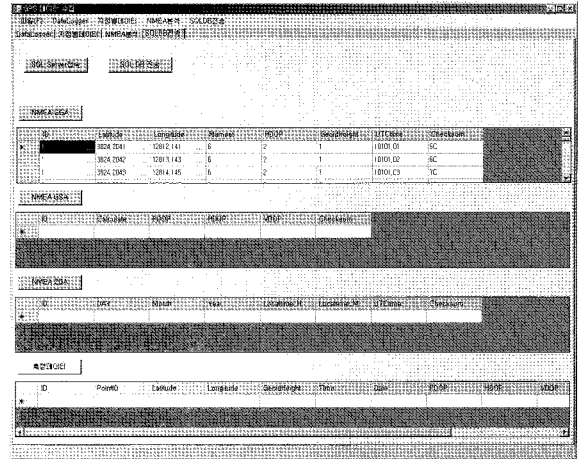


그림 5. 통합운영센터 DB 서버 전송 화면

3. GPS센서를 이용한 장대교량의 형상관리 시스템 개발

장대교량의 형상관리를 위한 GPS 모니터링 시스템은 교량의 평면거동 모니터링, 지점별 3차원 변위에 대한 모니터링, 지점별, 시간별 한계값 초과구간에 대한 모니터링, 지점별 최대변위 발생에 대한 모니터링 모듈로 구성된다. 각 모듈별 화면 및 시뮬레이션 결과를 살펴보면 다음과 같다.

3.1 평면 거동 모니터링 모듈 개발

교량의 평면거동 모니터링 모듈에서는 교량의 교축방향을 모니터링 하는 모듈로 화면출력, 구간출력, 지점출력이며 주요 모니터링정보는 상판왼쪽의 전체적인 거동과 오른쪽의 거동정보, 상판의 횡 방향으로 설치된 GPS 3쌍, 즉 MP_01/MP_02, MP_04/MP_05, MP_07/MP_08 간의 수직변위차 정보와 주탑의 수직변위차 정보 등이다.

- 화면출력 : 현재 교량의 2D(SIDE) 분석화면을 출력한다.
- 구간출력 : 사용자가 정의한 일정시간의 2D(SIDE) 분석화면을 출력한다.
- 지점출력 : 지점에 대한 상세정보를 제공한다.

다음 그림 6과 그림 7은 교량의 교축방향 및 교축직각 방향의 평면거동을 모니터링하기 위한 모듈의 화면을 나타내고 있다.

교량의 교축직각방향을 모니터링하는 모듈로 주요기능은 화면출력, 구간출력, 지점출력이며 주요 모니터링

정보는 상판왼쪽의 전체적인 거동과 오른쪽의 거동정보, 상판에 설치된 MP_01/MP_02, MP_03/MP_04, MP_03/MP_05, MP_06/MP_07, MP_07/MP_08간의 수직변위차 정보와 주탑의 수직변위차 정보 등이다.

- 화면출력 : 현재 교량의 2D(TOP) 분석화면을 출력한다.
- 구간출력 : 사용자가 정의한 일정시간의 2D(TOP) 분석화면을 출력한다.

3.2 측정 지점별 모니터링 모듈 개발

측정 지점별 모니터링 모듈은 각 측정점의 실시간 획득 데이터를 모니터링 하기 위한 모듈로 각 측정점의 시간변화에 따른 3축 방향별 데이터를 모니터링하게 된다. 또한 측정데이터의 과대오차 및 노이즈를 소거한 Curve Fitting이 자동으로 생성되게 된다. 위성수신정보를 기반으로 분류되고 산출된 좌표정보 및 관측당시에 위치오차를 발생시키는 위성수, GDOP 등의 정보도 함께 제공된다. 다음 그림 8은 측정 지점별 모니터링 모듈의 화면을 나타내고 있다.

3.3 3차원 변위 모니터링 모듈 개발

기존의 계측기 및 형상관리시스템에서는 측정지점에서 평면적 변위를 계측하고 있으나 시설물들의 부재 거동은 평면적이 아닌 3차원적인 거동특성이 나타나고 있다. 따라서 본 연구에서는 장대교량의 3차원적 거동을 모니터링 및 형상관리 하기 위해 측정지점별 3차원 변위 모니터링 모듈을 개발하였다. 다음 그림 9는 지점별 3차

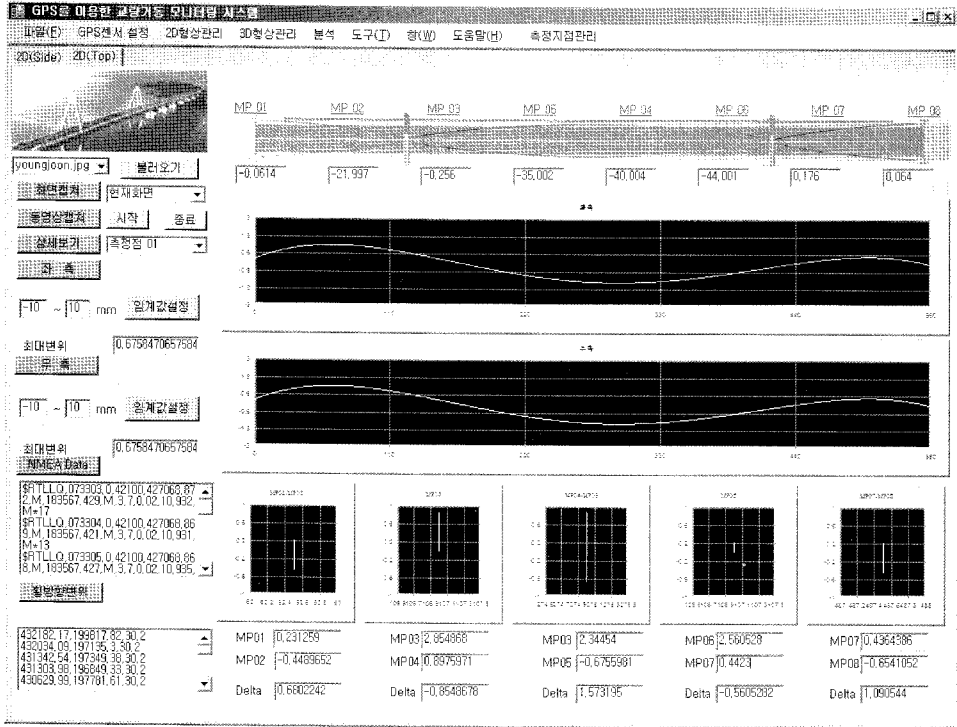


그림 6. 교량의 교축방향 평면거동 모니터링 모듈

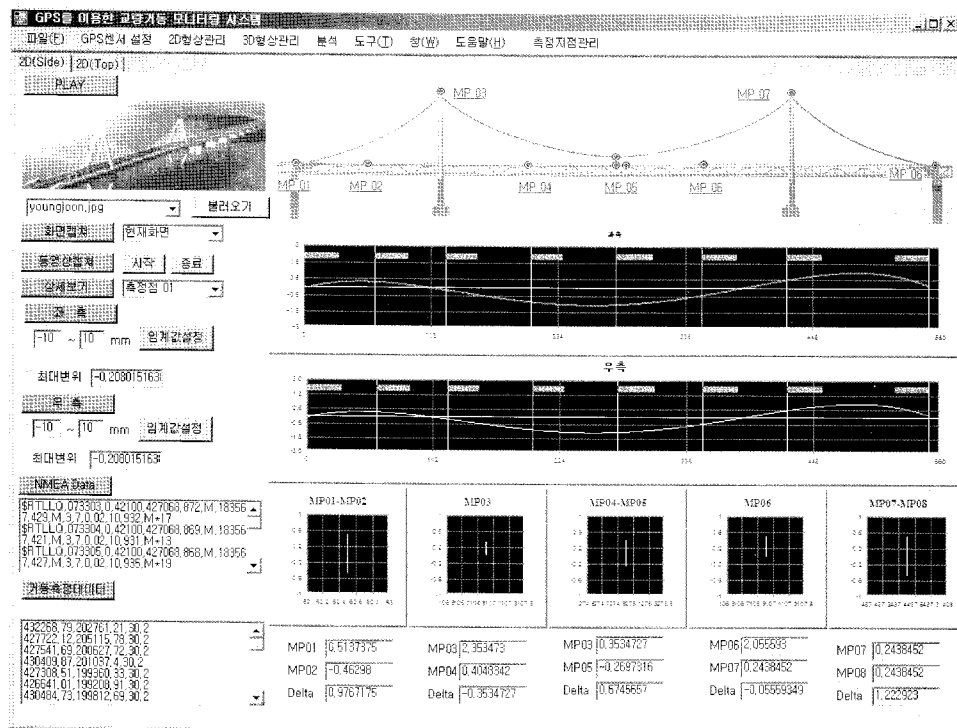


그림 7. 교량의 교축직각방향 평면거동 모니터링 모듈

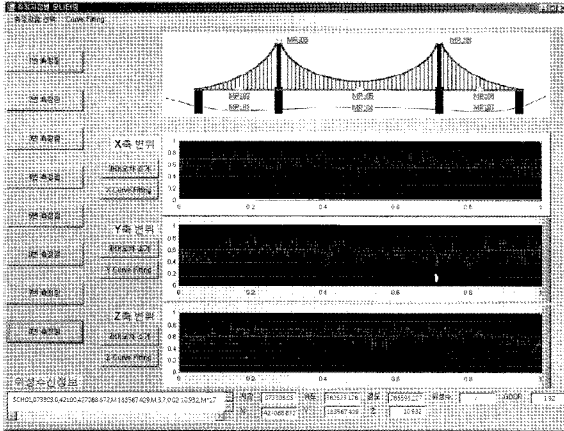


그림 8. 지점별 모니터링 모듈

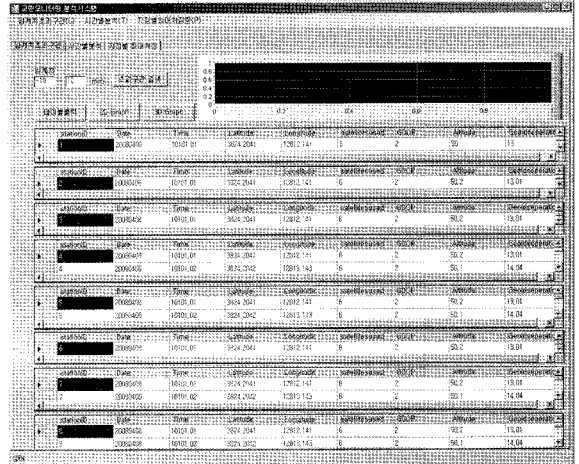


그림 10. 임계치 초과구간 분석 모듈

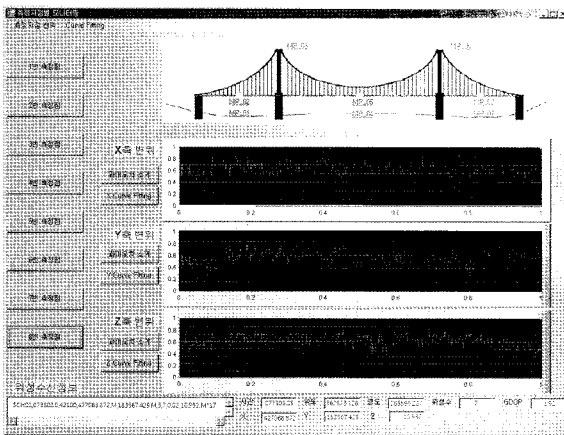


그림 9. 3차원 변위 모니터링 모듈

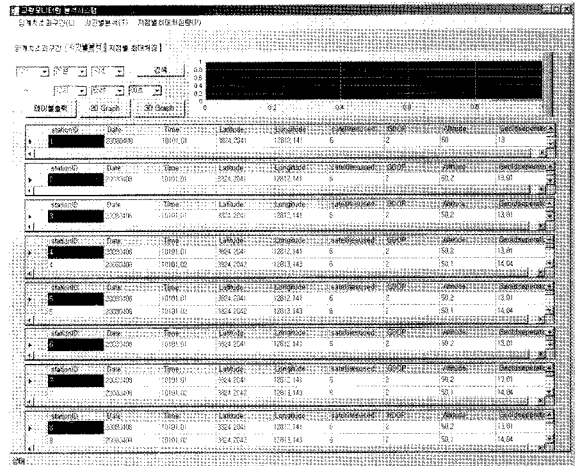


그림 11. 시간별 분석 모듈

원 거동 모니터링 모듈의 화면을 나타내고 있다.

3.4 임계치 초과구간 분석 모듈 개발

임계치(허용오차) 초과구간 분석화면은 지점별로 임계치를 초과한 데이터를 추출하여 데이터베이스화된 정보를 제공하게 된다. 주요기능으로는 부재의 임계치를 초과한 데이터가 측정되었을 경우 이를 출력하고 임계치 초과 발생 시각에 교량의 전체적인 형상을 평면거동 및 3차원 거동을 시각화하기 위한 모듈을 개발하였다. 다음 그림 10은 임계치 초과구간을 분석하기 위한 모듈의 화면을 나타내고 있다.

3.5 시간별 분석 모듈 개발

시간별 분석모듈은 사용자가 원하는 특정시간의 거동 측정데이터를 추출하여 특정시간의 교량의 형상을 분석

하는 화면이다. 시간별 거동측정데이터의 출력 및 교량의 전체적인 형상을 2D 및 3D로 시각화하는 것을 주요기능으로 한다. 다음 그림 11은 시간별 분석모듈의 화면을 나타내고 있다.

3.6 지점별 최대치점량 분석 모듈 개발

지점별 최대치점량 분석 모듈은 사용자가 설정한 시간동안 발생한 처짐량 중 지점별로 가장 큰 처짐이 발생한 시각의 교량형상을 분석하기 위한 모듈이다. 최대치점량 데이터 출력, 지점별로 최대치점이 발생한 시각에 교량의 전체적인 형상을 2D 및 3D로 시각화하는 것이 주요기능이며 최대치점 발생시점에 위상수, GDOP 등의 정보를 제공하여 사용자의 의사결정을 지원한다.

본 연구에서 개발한 형상관리 시스템은 교량의 전체적, 지점별 변위정보를 수치화, 시각화하며 이벤트에 대한 능동적인 대응이 가능하고 측정데이터의 DB화를 통해서 변위분석에 관계된 통계정보를 산출할 수 있다. 다음 그림 12는 지점별 최대 처짐량을 분석하기 위한 모듈의 화면을 나타내고 있다.

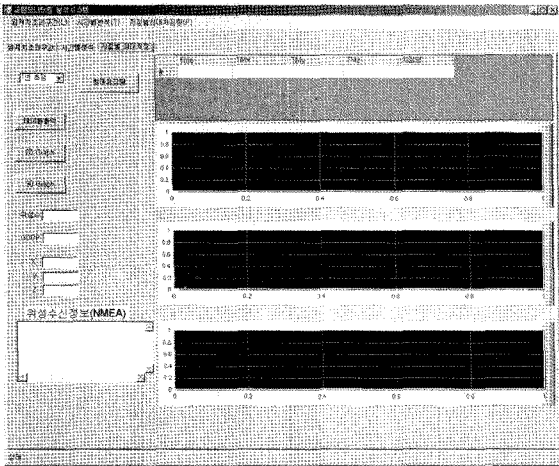


그림 12. 지점별 최대 처짐량 분석 모듈

3.7 교량거동 위험신호 알람 모듈 개발

교량거동 위험신호 알람 모듈은 각 측정점의 초기 설정값과 측정값을 비교하여 임계치 허용범위를 초과하였을 경우에는 이벤트를 발생시키고, 관리담당자에게 메시지를 전송할 수 있는 알람모듈을 개발하였다. 위험변위가 발생하면 원시자료를 3분간 저장하고 위험발생시 관리자에게 SMS로 상황실에 전달하고 VMS(전광판)로 사용자에게 상황을 전파하도록 개발한다. 다음 그림 13은 교

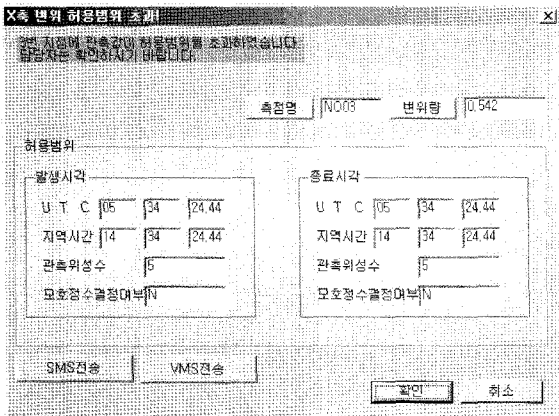


그림 13. 교량거동 위험 신호 알람 모듈

축방향에서 임계치 허용범위를 초과하였을 경우에 발생하는 이벤트 화면을 나타내고 있다.

4. GPS 센서를 이용한 장대교량의 형상관리시스템의 활용방안

GPS 센서를 이용한 형상관리시스템은 기존 센서를 이용한 시스템과 비교할 때 시간적, 환경적 문제를 해결하고 교량의 3차원적인 절대변위 및 장기거동과 거대변위를 분석하는데 활용 될 수 있을 것으로 판단된다. GPS 센서에 의한 측정정보는 교량 안전의 임계치 허용범위를 결정하고 재하시험, 형상관리 등 구조해석에서 부재의 변위를 측정하여 추정하는 값이 아닌 직접 측정한 값으로 사용 될 수 있어 좀 더 정확한 형상관리 및 구조해석에 활용 될 수 있을 것으로 판단된다.

멀티 GPS를 이용한 구조물의 변위측정 기술은 멀티패스 등 GPS의 오차를 소거할 수 있는 기술로 기존의 개별 GPS를 이용한 모니터링 기술에 비해 정확한 측값을 얻을 수 있을 것이며 이러한 기술을 시설물 모니터링뿐만 아니라 측지 및 측량, 지적, 도시개발, 해양개발 등 관련 산업의 위치정보 획득분야에 활용 될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 다수의 GPS 신호를 하나의 처리모듈에서 선택적으로 수신, 전송, 분석하는 기술을 개발함으로써 개별적 처리보다는 빠른 데이터 처리와 변위에 대한 좀 더 정확한 측측에 활용 될 수 있을 것으로 판단된다.

GPS를 이용한 교량거동 모니터링 및 분석시스템은 교량의 거동을 실시간 시스템으로 RTK-GPS 방식에 의해 비교적 정확한 위치정보를 획득 할 수 있으나 정밀한 안전진단을 위해서는 GPS 데이터의 후처리를 통하여 데이터를 보정하여 사용하여야 할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 논문에서는 멀티 GPS 센서를 이용하여 장대교량의 거동을 실시간 모니터링하고 형상을 관리 할 수 있는 시스템을 개발하였다. 데이터 수집 프로그램을 이용하여 멀티 GPS 센서가 획득한 측정데이터를 지점별로 분리하여 데이터베이스화할 수 있었고, 형상관리시스템을 이용한 교량의 3차원적인 형상을 시뮬레이션 함으로써 교량 전체적인 변위 및 지점별 변위를 수치화, 시각화하고 분석할 수 있었다.

GPS센서를 이용한 형상관리시스템은 GPS 센서를 이

용한 장대교량의 3차원 절대변위 및 거대변위의 효과적인 측정에 의한 교량의 전체적인 형상관리에 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 변형율계, 경사계, 레이저 처짐계, 광섬유센서 등과 같은 기존센서와의 상호보완을 통해서 신뢰성 있는 장대교량의 안전관리에 적용될 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서 개발된 신뢰성은 장대교량의 거동 모니터링 및 형상 관리 뿐만 아니라 댐, 고층 빌딩 등과 같은 대형 구조물의 3차원 변위 측정 및 안전관리 모니터링시스템에 효과적으로 확대 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

향후 본 논문에서 개발된 시스템은 현장 적용을 통하여 기존 계측기와의 연동 및 정확도 비교분석등에 대한 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

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

참고문헌

박민석, 김성곤, 장정환 (2000), 서해대교 교량계측 모니터링시스템 개발, 대한토목학회 2000년도 학술발표회 논문집(I), 대한토목학회, pp. 515-518.

박운용, 이흥규, 정성모, 장상규 (1998), 실시간 동적 GPS 측위 기법에 의한 교량 거동의 모니터링, 대한토목학회 1998년도 학술발표회 논문집 (IV), 대한토목학회, pp. 377-380.

박홍석 (2000), 교량구조물의 상시계측 시스템, 소음진동, 한국소음진동공학회 10권 6호, pp. 914-924.

배인환, 하강희 (2008), 건전도모니터링시스템을 이용한 3차원 자정식 현수교의 구조거동, 2008년 대한토목학회 학술발표회 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, 윤홍식 (2001), GPS와 인터넷을 이용한 장대교량 모니터링시스템 개발에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, Vol. 21, No. 6-D, pp. 875-883.

Frees, E.W. (1996), *Data Analysis Using Regression Models*, Prentice Hall, pp. 1-714

Hoffmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Collins, J. (2001), *Global Positioning System Theory and Practice 4th revised edition*, Springer Wein NewYork, pp 1-350.

JAVAD Homepage (2008), <http://www.javad.com> : JAVAD.

(접수일 2009. 6. 5, 심사일 2009. 6. 15, 심사완료일 2009. 6. 25)