

구조물 및 지반 거동 감시를 위한 GPS 상시 관측시스템 구축



박 기 정 | (주)지피에스코리아 선임연구원

1. 서론

구조물 및 지반의 불안정의 증거가 있을 때 “얼마나 움직이는가?” 또는 “왜 움직이는가?”를 알아야 적절한 대책을 수립할 수 있다. 일본의 아카시대교, 홍콩의 칭마대교 등에 설치된 GPS 관측 시스템은 교량의 거동을 판단하기 위한 정보를 제공하고 있고, 안정적으로 운영하고 있다. 국내 장대교량은 물론 대형 구조물 역시 GPS 관측을 이용하여 온도에 의한 거동을 포함하여 구조물 전체의 거동 관측에 활용해야 할 것이다. GPS 상시 관측 시스템은 주요 토목구조물의 거동을 상시 관측할 수 있는 변위 중심의 관측시스템이라 말할 수 있다.

대형 토목 구조물의 효율적인 관리를 위해 정기적인 전문가 점검 및 과학적이고 객관적인 구조물의 상태를 측정할 수 있는 상시 유지관리 관측시스템은 절실히 요구되고 있다.

그러나 기존의 광파기에 의한 측량방법은 지진, 홍수, 태풍, 우천 등의 상시관측에 취약하며 시스템 유지관리에 문제점들을 안고 있을 뿐더러 측량 및 센서의 신뢰도에 대해서도 문제가 있었다. 본 GPS 관측

모니터링 시스템은 절대좌표 관측으로 기존 측량 방법의 한계를 극복하고 지반침하, 지진, 홍수, 태풍, 우천 등의 상시관측을 가능하게 할 수 있을 것으로 기대된다.

GPS 구조물 상시관측모니터링 시스템 구축의 목적은 구조물의 거동 관측을 통한 구조물의 안전성 확보, 육안감지가 어려운 미세 거동 측정 등을 통한 유지관리 효율성 증대, 서서히 진행되는 손상에 대해 지속적 거동 특성 모니터링을 통한 위험 감시시스템 구축, 갑작스런 이상 사태를 감시하여 즉각 경보하는 경보시스템 구축을 통한 안정성 확보, 손상의 조기 발견 및 적절한 보수, 보강 시기의 선정을 위한 기초 자료 제공, 유사 시설물에 대하여 장기적인 데이터의 축적을 통한 유사설계 및 시공자료 제공, 관측 자료를 상시 인터넷으로 제공 등에 있다.

국내에는 인터넷과 모바일기반의 계측시스템 개발이 계속적으로 진행 중에 있다. 그러나 GPS를 이용한 구조물 관측 정보의 제공 사례가 없으며 (주)지피에스코리아에서 국내 상시관측이 가능한 GPS 관측 시스템을 A사의 OO현장에 시범 구축하였다. 이어지는 2, 3절을 통하여 GPS 상시 관측 시스템의 장, 단

점 및 시스템 구축, 활용 등에 대해서 논하고자 한다.

2. GPS 구조물 거동 관측 시스템

2.1 시스템 특징

GPS 구조물 거동 관측 시스템의 특징은 정밀도는 1cm이하이고 mm단위의 해상도를 갖고 있으며 온도와 습도, 강우 등에 큰 영향이 없어 365일 24시간 상시관측이 가능하다. 또한, (주)지피에스코리아에서 국산화되고 있는 고정밀 L1 single-frequency GPS를 사용함으로써 수입대체효과를 거둬는 물론 광학처짐계와 경사계, 가속도계, 신축계 등의 단점을 보완할 것으로 기대된다.

GPS는 WGS84좌표를 사용하게 되는데 이는 절대좌표를 취득가능하게 한다. 또한 절대좌표를 통해 구조물에서의 상대변위를 관측함으로써 구조물의 안전성을 평가 가능케 할 수 있다. 미국정부에서 운영하는 24+3개의 GPS 위성은 위성사용료는 없고, GPS 안테나와 수신 장비만 보유하면, 국내는 물론 전세계 어디에서든 고정밀 측위를 가능하게 한다.

2.2 국내·외 사례

기존의 계측시스템은 여러 종류의 센서를 다량으로 투입하여 운영되었고 광파기, 레이저 변위계 등을 이용하여 계측할 경우 우천시 계측을 하지 못하는 등 계측의 한계가 있었다. 이런 단점들을 극복하기 위해 환경의 영향을 거의 받지 않는 GPS 도입에 대한 필요성이 대두되었고 국내의 연구된 논문들은 GPS를 이용한 관측의 장점에 대해 기술하고 있으며 적용 방안에 대해서도 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 그러나 실구조물에 GPS를 도입한 계측시스템 사례는 아직 없다.

국내의 기존 연구 사례를 보면 교량의 유지관리 및 재해 예방 차원에서의 교량 경보시스템을 실시간 동적 GPS 측량을 이용하여 비교적 경제적이고 신속한 Data를 얻을 수 있으며, 8.3mm이내의 오차를 보여 교량의 변위량 측정에도 실용성이 있음을 기술하였고, '교량의 계측과 유지관리시스템 개발 및 운영'에서 동적 계측을 위해 GPS 도입의 필요성을 강조하였다. 댐의 경우 국내논문에서는 'GPS를 이용한 불안정 댐의 모니터링'에서 GPS를 이용한 댐의 거동 모니터링에 대해 4.5mm의 표준오차로 계측 가능함을 기술하였고, 'GPS와 TS에 의한 흙댐의 변위검출'에서 정적GPS 관측한 최대 변형량과 TS와 DLS 결합에 의한 최대 변형량의 차이는 1cm정도였으며 변형 추이를 연속적으로 모니터링 할 필요성이 있음을 결론으로 내렸다. '댐 형식별 합리적인 계측항목의 선정'에서 관심있는 댐마루부 또는 기타장치들에 대해 GPS로 계측 할 수 있음을 기술하였다

위와 같이 국내에는 GPS를 통한 구조물의 정적, 동적 계측 부분에 대한 연구는 활발하게 이루어지고 있으나 GPS를 이용한 상시 관측 시스템은 상용화 단계에 이르지는 않았다. 국내에는 구조물 관측을 위한 고정밀 GPS 수신기를 제작 할 수 있는 기업은 전무하다.

GPS 구조물 관측 시스템을 통해 기존 계측기의 문제점들을 해결함은 물론, 3차원적인 구조물의 변위관측으로 합리적인 교량, 댐, 해안구조물 등의 GPS 상시 계측 시스템을 구축할 수 있을 것으로 판단된다.

GPS 구조물 거동 감시 시스템은 홍콩, 일본, 미국 등에서는 수년전부터 시행하여 왔다. 특히, 홍콩의 칭마대교는 주탑과 주형에 각각 설치하여 교량 동적 거동을 감시하고 있다. 물론, 기존의 레벨센서와 기타 계측기를 동시에 사용하고 있다. 칭마대교의 경우 GPS와 레벨센서의 관측 값을 비교함으로써 GPS 적용 타당성에 대해 이미 검증한 바 있다.

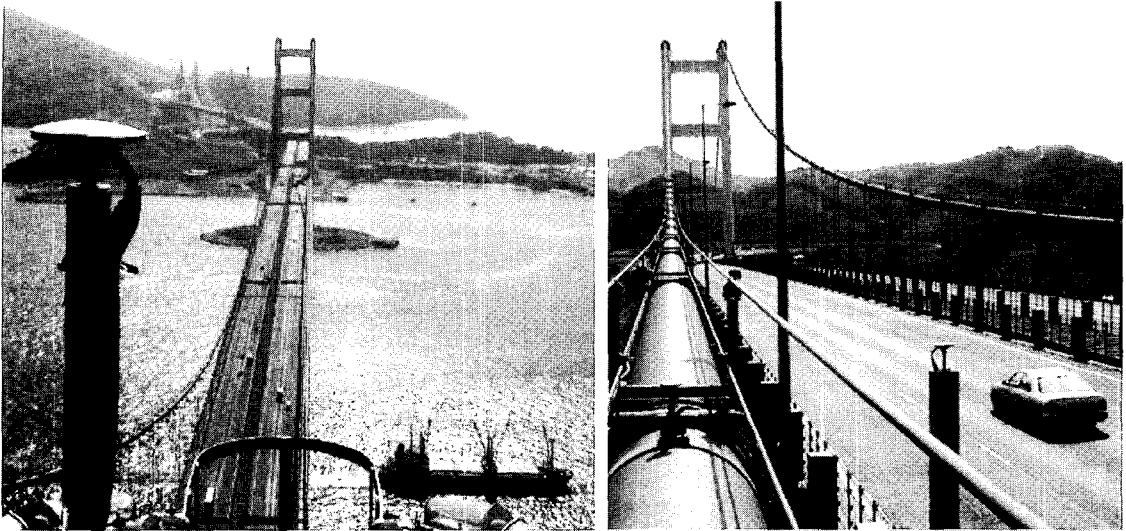


그림 1. 홍콩 칭마대교의 GPS 관측 시스템, 주탑설치(좌), 주형설치(우)

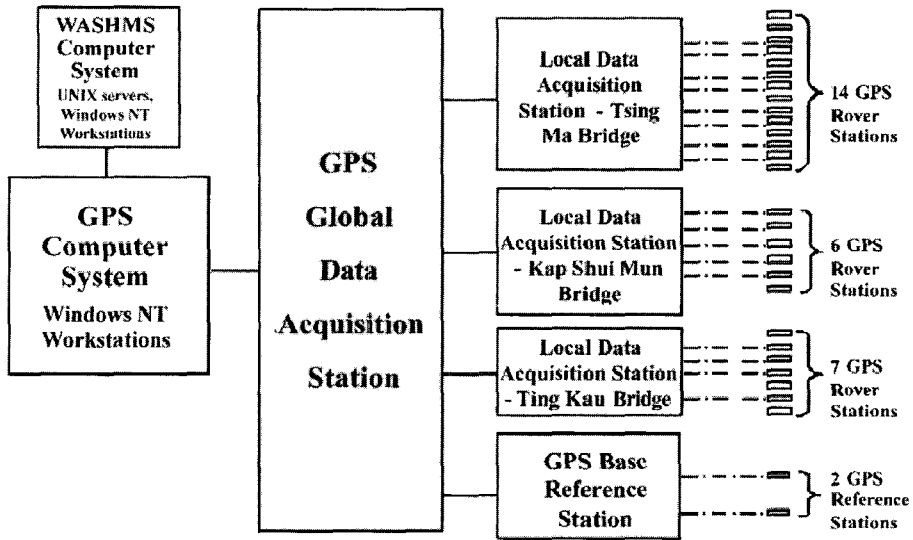


그림 2. 홍콩 칭마대교의 GPS 관측 시스템 구성도

이외에도 미국 캘리포니아에 위치한 다이아몬드벨리 댐과 파코이마 댐에도 설치되어 있다. 특히, 파코이마 댐의 경우, 노스리지 지진이 있는 후 파코이마 댐 내부에 설치해놓은 계측장비 들이 망실됨에 따라 댐 거동 모니터링이 불가능하게 되었고, 수위 및 온도에 따른 영향을 분석하기 위해 GPS 상시 관측을

실시한 예가 있다. 싱가포르의 경우 강풍이 있는 Republic plaza 빌딩에도 설치되어 구조물의 풍하중에 따른 영향을 모니터링 하고 있다. 일본의 경우도 아카시대교는 물론 대형 사면 등에 GPS 관측 시스템을 설치하여 운영중인 사례들이 있다. 영국의 경우 해수면 관측을 위하여 Tide 게이지와 GPS, 레벨

을 통합한 시스템 운영 중에 있다. 이처럼, 전 세계적으로 GPS 구조물 거동 관측 시스템은 다양하게 응용되고 있다. 일본의 경우, 아카시대교와 사면의 GPS 상시 관측 시스템을 1990년대 중·후반부터 도입하여 운영하고 있다.

앞서 언급한 국내·외 사례를 통해 GPS 상시 관측 시스템 도입의 타당성은 비용문제를 남겨 놓게 되었는데 이 역시도 GPS 국산화 기업들로 인하여 해결될 것으로 기대되며, 미국의 GPS 현대화 계획 및 유럽의 갈릴레오 시스템 도입 등에 따라 GPS 기술의 비약적인 발전을 통하여 구조물 거동 관측을 위한 GPS 고정밀 측위 기술은 더욱 발전될 것으로 기대된다.

3. 인터넷 기반 GPS 상시 관측 시스템 구축

(주)지피에스코리아에서는 인터넷을 기반으로 하는 GPS 상시 관측 시스템을 구축하였다. 이에 대한 검증은 위하여 A사의 OO현장에 시범 구축하였다. GPS 상시 관측 시스템의 운영은 GPS 원시데이터를

수집하여 유/무선 통신 방식으로 Data center(관측 서버)로 전송하고 저장/분석하여 인터넷으로 자료를 전송함으로써 관리자가 모니터링을 하고 이상 시 현장 조치가 가능토록 운영한다.

3.1 관측 시스템 설치

기본계획 및 시스템 설계에서 시험 운영의 기간은 전체 일정 120일이었다. 이는 시험 설치 및 운영의 가능성을 판단하기 위함이었으며 2004년 8월 31일 현재까지 운영 중에 있다.

관측항목 및 설치위치는 송전탑 주각재 하단 4개소(주각재 A, B, C, D의 침하/변위), 현장 송전탑에서 3Km이내 고정국 1개소(서버실 옥상)를 <그림 4, 5>와 같이 설치하였다.

시스템의 구성은 인터넷 망을 통하여 데이터를 수집하고 수집한 데이터를 인터넷을 통하여 사무실에서 데이터를 분석 가능할 수 있도록 <그림 7>과 같이 구성되었다.

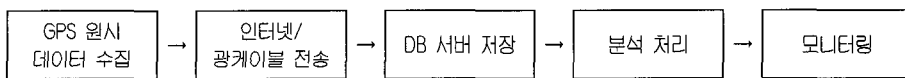


그림 3. 시스템 운영도

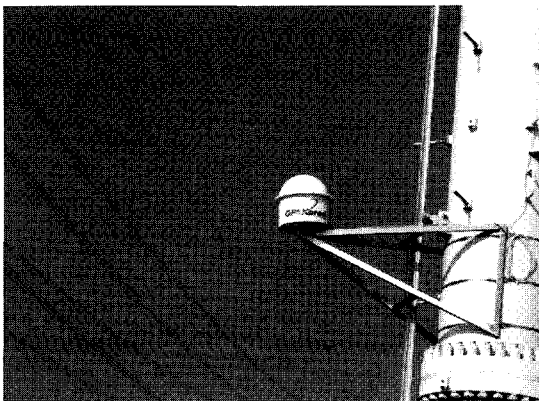


그림 4. 이동국

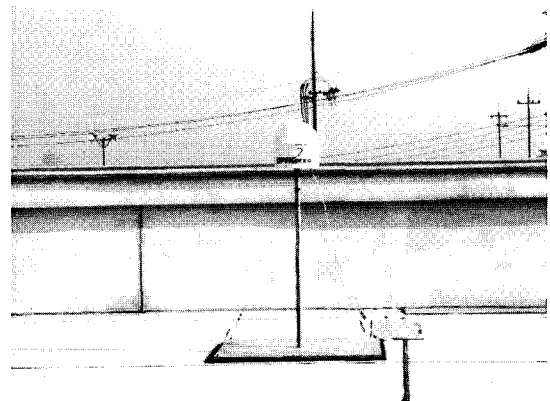


그림 5. 고정국

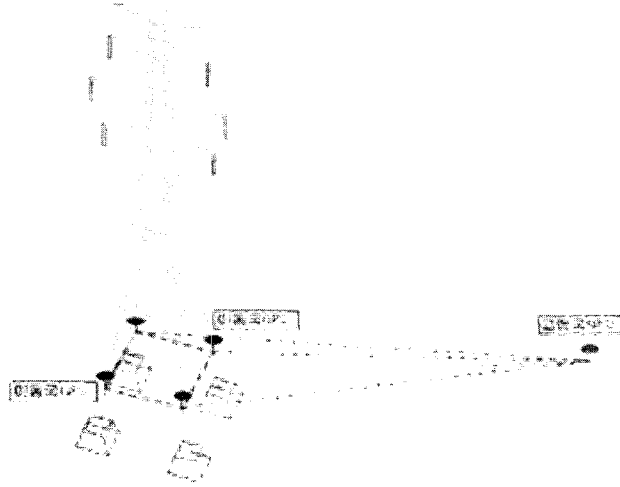


그림 6. GPS 배치 계략도

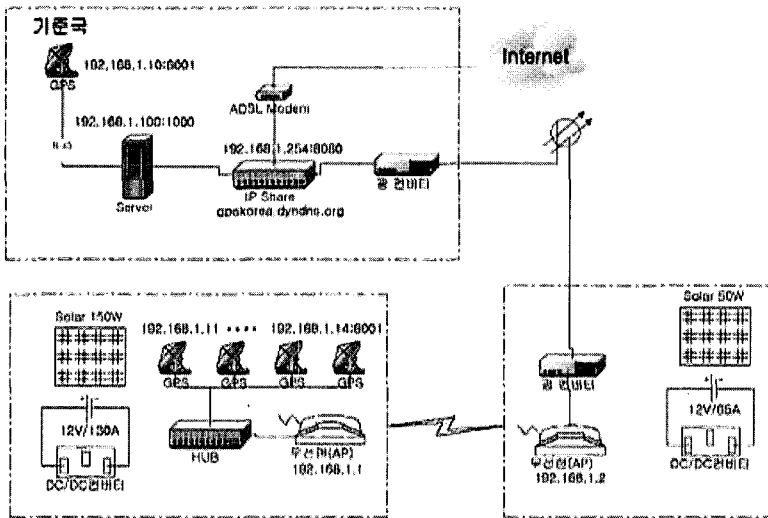


그림 7. 구축된 GPS 상시관측시스템 구성도

3.2 관측 시스템 운영

시스템의 설치가 완료한 후 관측 관리가 수행되어야 하는데 <표 1>과 같은 방법으로 관측관리를 수행할 수 있도록 프로그램 하였다. <그림 8>은 인터넷을 통하여 모니터링이 가능토록 한 모니터링 프로그램이며, 승인된 계정을 통하여 관측 데이터를 모니터링할 수 있다. 기존의 계측시스템의 경우 서버-클라이언트

방식으로 되어 있었으나, 인터넷 기반 GPS 상시 관측 시스템의 경우 승인된 계정만 있으면 웹 브라우저를 통하여 전 세계 어디에서든 모니터링이 가능하다. 특히 할만한 점은 고정국의 좌표를 다른 현장의 고정국과 국가 기준점으로부터 주기적으로 재측정하게 되는데, 이러한 고정국 관리를 통하여 고정국의 변위 또한 관측되게 된다.

표 1. 관측관리방법

구 분	내 용
일일관측관리	1) 일2회 이상 관측프로그램 접속 정상 작동여부확인 2) 이상 발생시 원인 파악 및 조치 3) 일간보고서작성 - 상대거리 그래프 및 표 - 일일 절대 좌표 데이터
주간관측관리	1) 주간보고서작성 - 일주일간의 관측 데이터 정리 및 도식화 2) 이상 발생시 원인파악 및 조치
월간관측관리	1) 월간보고서 작성 - 1개월간의 관측데이터 정리 및 도식화 - 관측시스템 일상유지관리 내용 2) 고정국 관리 - 국가기준국과 정밀 CDGPS Post-processing
연간관측관리	1) 종합보고서 작성 - 관리기준치의 타당성 분석 및 재설정 - 효율적인 관측관리를 위한 개선사항 제시
특별관측관리	1) 구조물에 이상이 있다고 판단되는 경우 수행

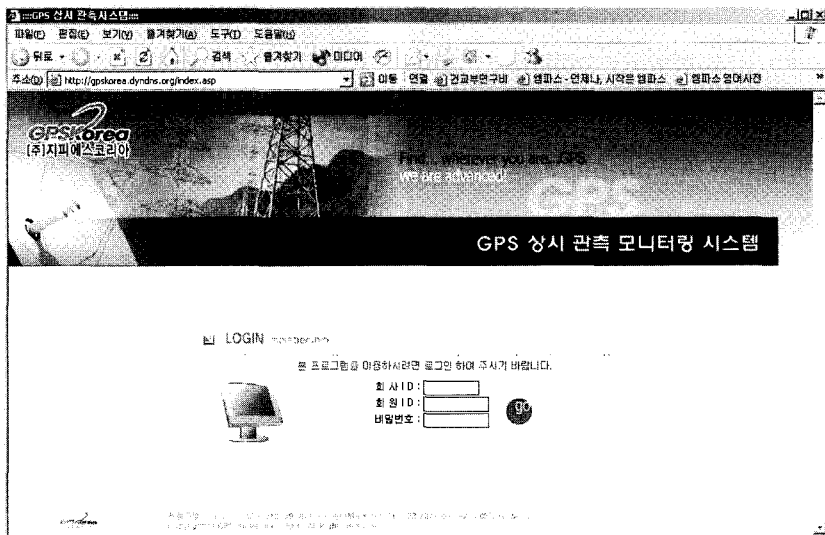


그림 8. Web 모니터링 초기화면

관측데이터는 각 항목별 설정된 관리기준치 및 관리방안 적용하여 <표 2>에 따라 수행하게 된다. 구축된 시스템의 경우 송전철탑의 주각재 간의 면·대각거리, 높이 값의 변화 그리고 각 주각재에 설치된 GPS의 3차원 절대좌표의 추세관리를 통하여 안전성을 평

가하게 된다.

GPS 상시 관측 시스템의 운영을 통하여 기존의 광파기와 지중경사계에 의한 측량 관리 방법의 문제점으로 지적되던 상시관측의 문제와 측방변위 관측이 용이하게 되었다.

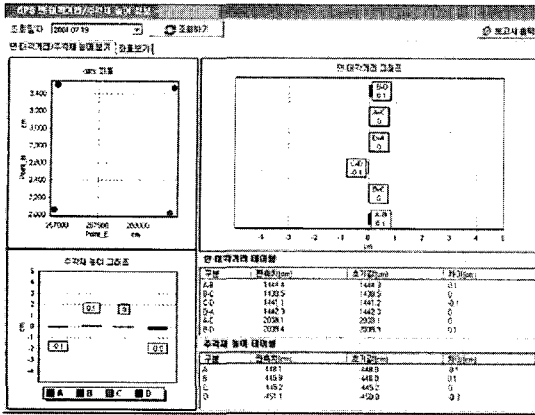


그림 9. 상대 거리 보기

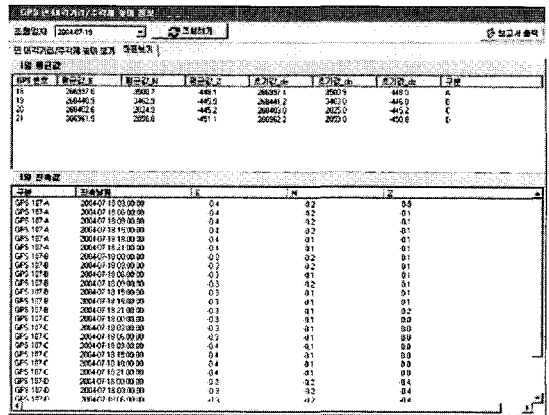


그림 10. 절대 좌표보기

표 2. 관측관리항목

관측관리방안	수평변위	침하	추세관리
관측항목	주각재 연·대각거리 주각재 높이		주각재 A, B, C, D의 3차원 절대 좌표

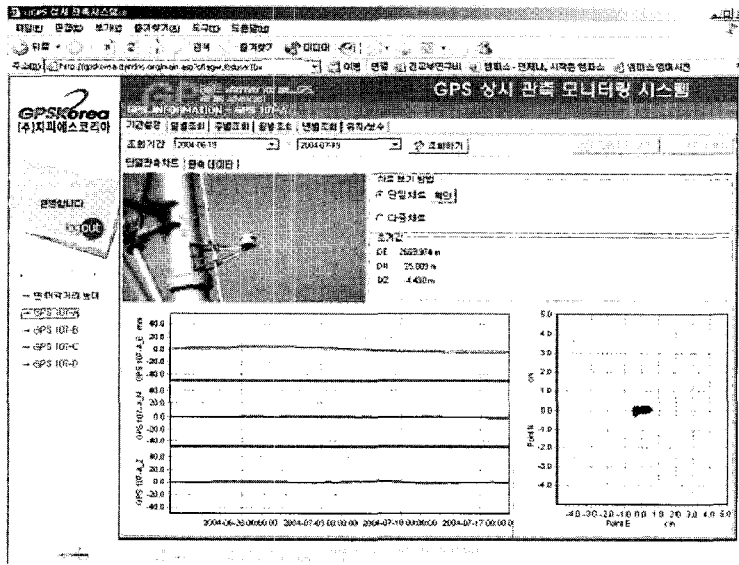


그림 11. 변위/침하 및 추세관리

4. 결론

인터넷을 기반으로 하는 GPS 상시 관측 시스템을 구축하였다. 구축된 시스템을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다. 첫 번째, 토목 구조물의 시공 중 계

측 및 유지관리 계측을 인터넷 기반으로 구축된 시스템을 통하여 전 세계 어디에서든 구조물의 거동을 모니터링 할 수 있게 되었다. 두 번째, 구조물의 거동을 GPS로 상시 관측이 가능하게 되어 기존 계측 시스템의 단점을 보완할 수 있게 되었다. 세 번째, 시설

물의 3차원 거동을 절대좌표 1cm 이하 오차로 구해 낼 수 있어 기존에 계측하기 힘들었던 사면지반 등의 측방 변위를 포함하여 시간에 따른 3차원 변위를 정확하게 계측할 수 있다. 네 번째, 시설물의 변형에 대해 실시간으로 데이터가 모니터링 되기 때문에 신속한 대응을 할 수 있으므로 시공관리 및 유지관리를 경제적으로 수행할 수 있다. 다섯 번째, 지진, 태풍, 홍수 등의 영향에 대한 예방과 이를 고려한 설계 요소 추출을 위해서는 절대좌표를 취득할 수 있는 GPS의 도입이 반드시 이루어져야 한다.

위와 같이 GPS 구조물 거동 관측 시스템의 장점을 많은 사람들이 동감하고 있으리라 생각된다. 그러나 국내 여러 연구원과 시공사에 방문하여 GPS 상시 관측 시스템을 소개할 때 다음과 같은 질문들을 받게

된다. “GPS 상시 관측 시스템 구축하는 비용이 얼마입니까?”, “GPS 비용이 많이 들지 않습니까?”, “GPS 정밀도는 어떻게 보장 됩니까?” 등 GPS 상시 관측 시스템의 경제성과 기술력에 대한 질문들이다. 당연히, 수입된 외국의 완제품 GPS를 사용하려면 그 비용의 부담은 클 수밖에 없으며, GPS 원천기술이 없는 장비 수입업체에 기술 지원을 기대하기는 어렵다. 이런 경제적, 기술적 문제를 해결하기 위해서는 GPS 원천기술 개발이 지속되어야 하고, 구조물 안전을 위한 GPS 상시 관측 시스템 확대를 통하여 국내 고정밀 GPS 개발과 적용기술을 확립 한다면 국내 토목, 방재기술의 발전과 외국으로부터의 기술종속에서 벗어남은 물론 국가 발전을 위한 한 축이 될 것임을 확신한다.

참고문헌

1. Monitoring Structural Deformation at Pacoima Dam, California Using Continuous GPS, Jeffrey A. Behr, Southern California Earthquake Center, SCIGN-USGS Kenneth W. Hudnut and Nancy E. King, United States Geological Survey. ION GPS 1998.
2. LAMOS-BOHSAI TM : LAndslide Monitoring System Based On High-speed Sequential Analysis for Inclination. I. Petrovski, S. Kawaguchi, H. Torimoto, M. Asako, T. Chachin, K. Okano, DX Antenna Co., Ltd. ION GPS 2000.
3. GPS Monitoring of Vertical Land Movements in the UK Vidal Ashkenazi, Richard Bingley, Alan Dodson and Nigel Penna, IESSG, University of Nottingham, UK Trevor Baker, Proudman Oceanographic Laboratory, UK. ION GPS 1998.
4. An Automated and Integrated Monitoring Program for Diamond Valley Lake Michael A. Duffy, Chris Hill, Cecilia Whitaker USA, Adam Chrzanowski, James Lutes, and Geoffrey Bastin CANADA. FIG 10th International Symposium on Deformation measurement March, 2001
5. Monitoring Hong Kong's Bridges Real-time Kinematic Spans the Cap, Leica Geosystems.2000
6. 실시간 동적GPS를 이용한 교량 경보시스템 개발. 이종출. 토목학회지. 2002.
7. GPS의 OTF 측위기법에 의한 교량의 거동 측정에 관한 연구. 최병길, 측량학회지. 2000.
8. '장대교량의 설계, 시공 및 유지관리' 대한토목학회 편. 기문당. 2001.
9. 'GPS와 TS에 의한 흙댐의 변위 검출' 박운용, 차성렬, 김진수. 토목학회지.2002.
10. '댐 형식별 합리적인 계측항목의 선정' 정우성, 감완영. 한국수자원공사
11. 'GPS측량을 이용한 해안구조물의 정적 변위 측정에 관한 연구'이창경, 김창우. 측량학회지. 2000.