RTK GPS를 이용한 거대구조물 변위 분석

Displacement Analysis of Enormous Structure using RTK GPS

박운용[1] · 홍순헌[2] · 차성렬[3] · 김정동[4]

Park, Woon Yong · Hong, Soon Heon · Cha, Sung Yeoul · Kim Jung Dong

1) 정회원 • 동아대학교 공과대학 토목해양공학부 교수
2) 정회원 • 밀양대학교 토목공학과 교수
3) 정회원 • 양산대학 건설교통정보과 조교수
4) 정회원 • (주) 동원개발 토목부장

요 지

Among GPS methods, first of all, we used RTK GPS to analyze the precision of monitoring and then on the basis of it, we developed a monitoring system using RTK GPS when we measured the behavior of main tower of a suspension bridge by using RTK GPS method and IMU, which was an inertia navigation system. Comparing a deviation between observation value using IMU and RTK GPS, X axis was 1mm, Y axis 1mm and Z axis 2.2mm. It turned out that it was possible to monitor and measure structures by using RTK GPS method. Besides, in order to manage the structures and prevent their disaster, the transformed monitoring, which used dynamic RTK GPS measurement method, was applied in real time. It was verified that it could be used as transformed monitoring measurement method for massive structures.

1. 서 론

정밀위치결정에 있어서 인공위성을 이용한 범지구위치결정시스템인 GPS는 초기 군사목적을 벗어나 자동차, 선박, 비행기 등의 항법은 물론 측량분야, 지각 및 구조물의 변위 감시, 우주, 통신, 국방 분야 등 매우 광범위한 분야에서 활용되고 있으며, 그 이용도가 급속히 증가하는 추세에 있다. 특히 SA(Selective Availability)의 해제 이후, GPS를 이용하여 수 mm의 정도로 위치 및 변위 관측이 가능하므로 지각, 단층 등의 자연물은 물론 가스시설, 교량, 건축물, 댐 등 각종 구조물의 미세 변위 관측 및 모니터링에 의해 재해를 사전에 예방하고자 하는 방재분야에서의 응용이 국내외적으로 큰 주목을 받고 있다.

따라서, 본 연구에서는 GPS를 이용하여 교량 주탑의 거동상태를 확인할 목적으로 거동해석을 하기 위하여 연구대상 교량의 주탑에 GPS, 가속도계, 풍향계, 풍속계를 설치하였다. 이들 관측기계에 대해 주기적인 관측을 실시하여 풍향 · 풍속과 변위와의 관계를 분석하였고, 실시간 관측을 하기 위해서 Visual C++로 실시간 동적 RTK 모니터링을 할 수 있는 시스템을 개발함으로서 구조물의 안정성 해석 및 유지 관리에 본 연구가 크게 기여를 할 수 있을 것으로 생각된다.

2. RTK GPS을 이용한 모니터링

모니터링 시스템을 설계할 때에는 검사된 구조물의 거동과 환경이 예상된 형태를 따르는지 검사하기 위해서 불규칙적인 거동이나 변형을 가능한 쉽게 발견할 수 있어야 한다. 불규칙적인 거동의 경우에는 가능한 실제 변형 상태와 동일한 모니터링 시스템이 갖추어져야하기 때문에 시스템 설계는 최대 변형량이 기대되는 점들에 정적으로 설치해야하고, 필요하다면 불규칙적인 거동을 일으키는 점들에 설치할 수 있다. GPS 시스템은 지연 없이 정보를 획득할 수 있을 뿐만 아니라 다른 초기 변위 또는 변화하는 동적 특성에 따라 평가할 수 있으며, 실시간 모니터링은 불규칙적인 구조물 활동에 대해 경보 시스템으로 사용할 수도 있다.

대부분 GPS 방법들에 의해 제공된 정확도들이 가장 정밀한 지상기법보다 더 낮을지라도, RTK GPS 기법은 장기간의 연속적 모니터링 적용에 충분한 정확도를 제공한다. 그러나 GPS 측량 시스템은 고품질, 고비용의 2주파 수신기를 사용해야 하며, 기준국과 한점 또는 그 이상의 이동국으로 구성된다. 기준국은 신호 차단과 반사에 의해 야기되는 측점 독립오차를 최소화하기 위해서 시야가 좋은 장소에 설치한다. GPS 위성에 대한 원시 의사거리와 반송파 자료 또는 그들의 보정값들은 기준국에 저장되고, 알맞은 메시지 형식 또는 표준 형식(RTCM)을 이용하여 통신링크를 통해 이동국에 전송된다. 표준 RTK 배치에서 이동국은 실시간으로 이동국 위치를 해석하기 위해서 자체 측정값과 전송된 자료를 조합하여 위성 시계오차, 위성궤도 오차, 전리층 및 대류권 오차 등을 감소시키지만 오차의 공간적 상관성이 수신기 거리에서 많이 좌우된다.

3. 연구대상

본 연구에서는 시설물 안전관리법에 의해 모니터링이 가능한 대형구조물인 현수교를 대상으로 RTK GPS와 계측 센서들을 결합한 구조물 모니터링 목적에 적합한 그림 1과 같은 실험대상을 선택하였고, 실험 대상 구조물은 현재 시공이 완료되어 차량이 운행중인 광안대로의 주탑을 선택하였다. 연구 대상 구조물의 거동 모니터링을 해석하기 위해서 하나의 주탑을 대상으로 주탑 최상부에 GPS, 가속도계, 풍향 및 풍속계를 설치하였다. 광안대로는 1994년 12월에 착공하여 2003년 1월에 개통하였으며, 전체 총연장은 7.42km로서 현수교 길이는 0.9km, 폭은 18~25m로서 2층 구조로 되어있다. 최대 풍속은 45m/sec로 설계되었으며, 주탑의 높이는 부산 앞바다 평균해수면을 기준으로 116.5m이다. 실시간 동적측위의 기지국 사용과 모니터링 측량 결과를 분석 목적으로 사용할 측점의 좌표를 구하기 위해서 2002년 12월 28일에 4시간 동안 Trimble 5700과 Ashtech 수신기 4대를 이용해서 그림 2와 같이 두 개의 삼각점과 두 개의 기지국 그리고 연구대상인 두 주탑으로 관측망을 구성하였다.

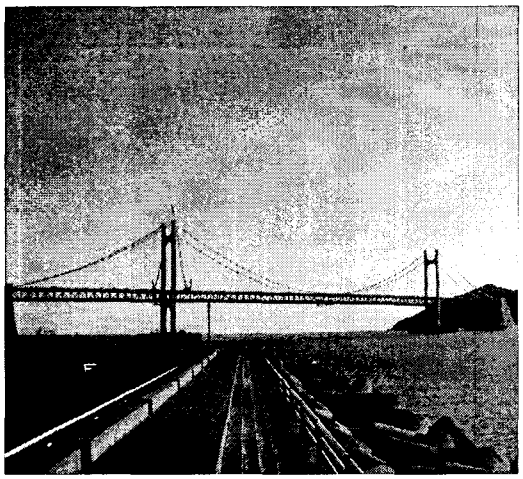

그림 1. 실험대상

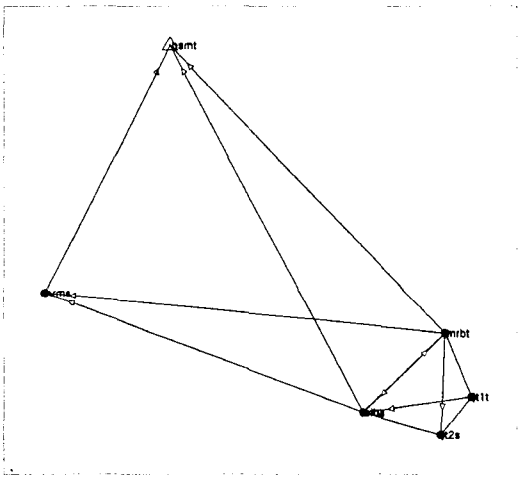

그림 2. GPS 망

4. 개발된 모니터링 시스템과 변위 분석

4.1 개발된 RTK GPS 모니터링 시스템

RTK GPS 시스템에서 획득되는 자료를 컴퓨터에 실시간으로 입력하기 위해서는 먼저 획득된 자료를 컴퓨터에 전송하고, 이후 획득된 자료를 일정한 주기로 컴퓨터로 전송하는 프로그램이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 자료 획득과 전송 프로그램으로 Hyper Terminal을 이용하였다. Hyper Terminal에서 일정시간 획득된 자료를 컴퓨터로 전송하고, 이들 자료를 처리하는 동안 획득된 자료를 다시 컴퓨터로 전송하는 일련의 과정이 이루어진다. 본 연구에서 개발된 소프트웨어 시스템의 일반적인 흐름도는 그림 3에서 보여지는 것과 같다. 이 프로그램의 주요 금속판은 모니터링 시스템의 거동에 대한 모니터링 값

을 추출하기 위해서 연속적 자료들을 분석하고, 특별한 기준값과 결과를 비교하는 것이다.

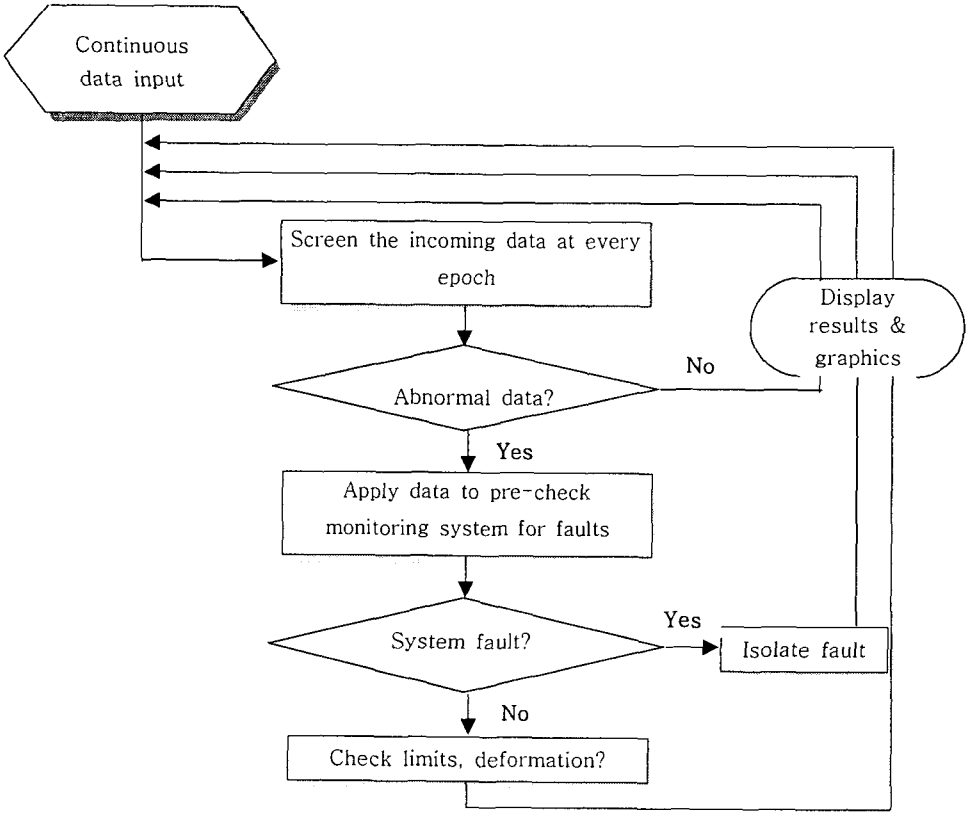

그림 3. 개발된 시스템의 흐름도

4.2 모니터링 분석

각각의 방법에 의해 관측된 모니터링 측정값을 분석하기 위해서 회귀곡선을 이용하여 각각의 축에 대한 정확한 변위를 분석하고자 한다. 먼저 RTK GPS로 측정된 N축의 모니터링 값과 회귀곡선은 그림 4에 나타내었고, IMU의 가속도계로 측정된 N축의 모니터링 값과 회귀곡선은 그림 5에 나타내었다. 회귀곡선은 한 변수로부터 다른 변수의 값을 예측함으로써 관련변수들 간의 상호 연관성을 규명할 수 있고, 변수들 간의 연관관계를 적절한 함수식으로 표현하여 자료 분석을 쉽게하는 통계적 기법이다. 본 연구에서는 matlab 프로그램을 이용하여 관측된 자료에 대해 분석하였다.

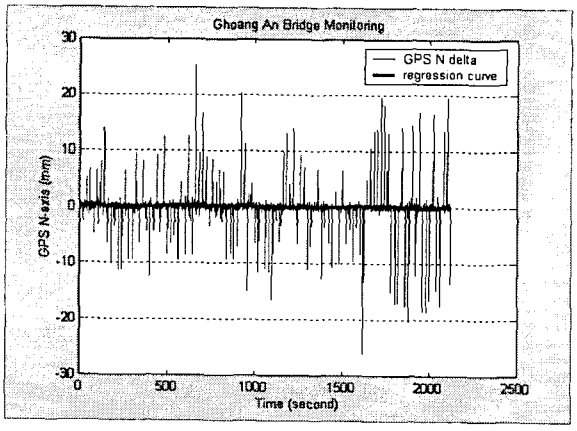

그림 5. N축 거동(RTK GPS)

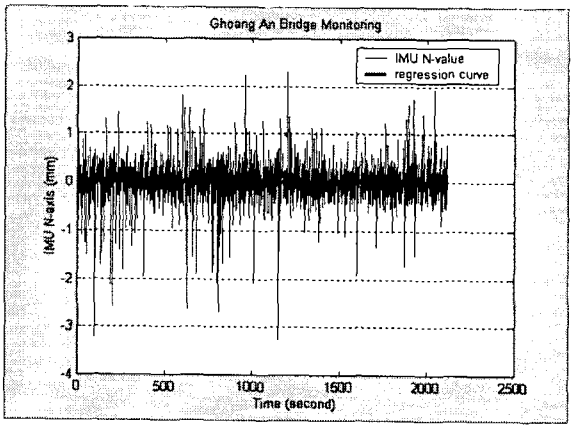

그림 6. N축 거동(IMU)

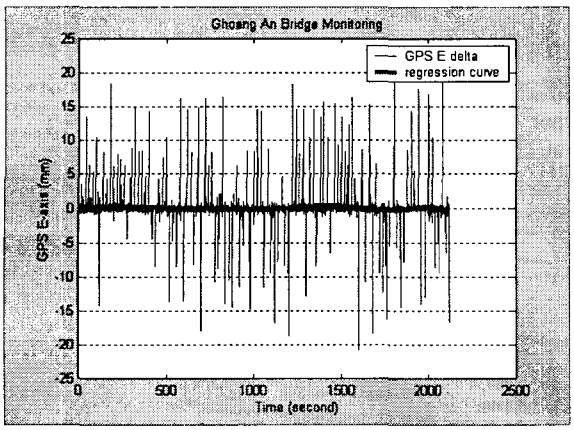

그림 7. E축 거동(RTK GPS)

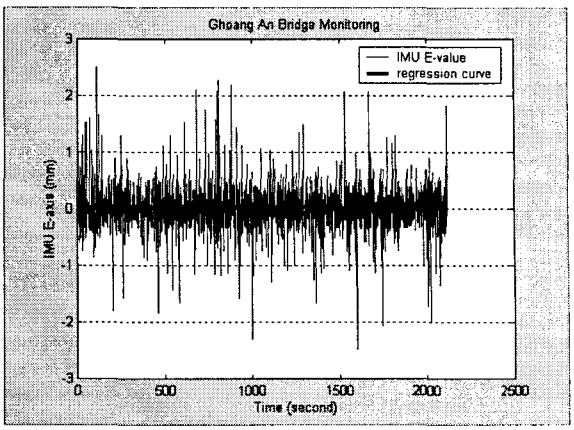

그림 8. E축 거동(IMU)

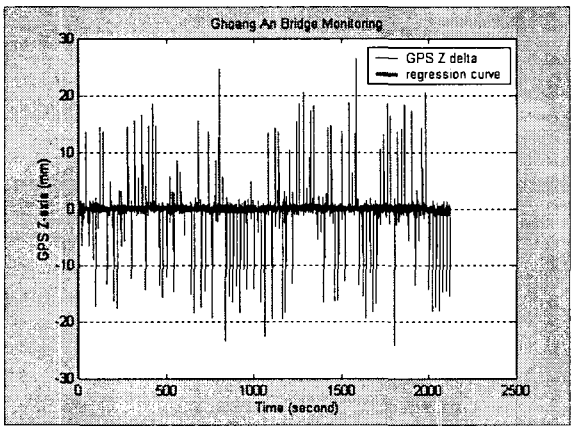

그림 9. Z축 거동(RTK GPS)

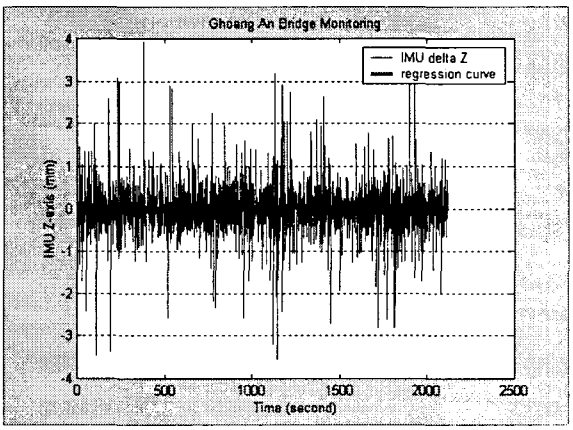

그림 10. Z축 거동(IMU)

그림 5는 RTK GPS로 관측된 실험대상에 대한 N축 모니터링값으로서 오차를 소거하지 않고 관측값의 편차를 나타내었으며, 최대 모니터링 값은 ±25mm이다. 그림 6은 IMU로 관측된 실험대상에 대한 N축 모니터링값으로서, 자체적으로 오차를 소거한 관측값의 편차를 나타내었으며, 최대 모니터링 값은 +2.5mm~-3.2mm을 나타내고 있다. 그림 7은 RTK GPS로 관측된 실험대상에 대한 E축 모니터링값으로서 오차를 소거하지 않고 관측값의 편차를 나타내었으며, 최대 모니터링 값은 ±20mm이다. 그림 8은 IMU로 관측된 실험대상에 대한 N축 모니터링값으로서, 자체적으로 오차를 소거한 관측값의 편차를 나타내었으며, 최대 모니터링 값은 ±2.5mm을 나타내고 있다.

그림 9는 RTK GPS로 관측된 실험대상에 대한 Z축 모니터링값으로서 오차를 소거하지 않고 관측값의 편차를 나타내었으며, 최대 모니터링 값은 ±25mm이다. 그림 10은 IMU로 관측된 실험대상에 대한 Z축 모니터링값으로서, 자체적으로 오차를 소거한 관측값의 편차를 나타내었으며, 최대 모니터링 값은 ±3.5mm을 나타내고 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 RTK GPS 방법과 관성항법장치인 IMU를 이용하여 현수교 주탑의 거동을 측량하였다. 먼저 RTK GPS 방법의 모니터링 정확도를 분석하였고, 이를 바탕으로 RTK GPS를 이용한 모니터링 시스템을 개발하고 IMU를 이용한 모니터링 결과와 비교하였다. 본 논문의 연구결과는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. RTK GPS기법을 적용하여 동일 안테나에 연결된 이동국에서 좌표값을 연속적으로 관측 결과에 대해 수신기 잡음과 다중경로 오차를 제거하여 IMU 가속도값과 비교한 결과, 각 축방향 변위차가 1mm정도로서 RTK GPS기법을 이용한 구조물 모니터링 측량이 가능함을 알 수 있었다.

2. RTK GPS의 정확한 모니터링 결과를 산출하기 위해서 수신기 잡음과 다중경로 오차에 대해 분석한 결과, 수신기 잡음은 미소하였으나 다중경로 오차는 높게 발생함으로, 모니터링 관측에서 다중경로 차단 수신기 사용이 바람직하다고 판단된다.

3. 풍향 및 풍속에 대해 RTK GPS, IMU 관측값을 분석한 결과, 최대 풍속인 7.35m/sec에서 N축 방향에서는 거의 일치는 2.0mm 정도의 변위를 나타내었고, E축 방향에서는 2.2mm 정도의 변위를 나타내지만, 변위의 방향은 정확하게 일치하지 않음을 알 수 있었다.

4. 본 연구에서 개발한 RTK GPS 모니터링 시스템은 고유진동수가 낮은 대형구조물의 실시간 모니터링 측량에 이용 가능한 것으로 판단한다.

따라서 RTK GPS에 의한 구조물 모니터링의 정확도를 향상시키기 위해서는 무선통신의 출력범위, 빠르고 정확한 미지정수 결정, GPS를 비롯한 관성센서 오차에 대한 정확한 분석이 가능하다면 향후 더욱 효율적인 원격 모니터링 시스템의 구축이 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Hubiao Lan, "Development of a Real-Time Kinematic GPS System; Design, Performance and Results", *Ph. D. Thesis, Dept. of Geomatics Engineering, the University of Calgary*, Canada, 1996, pp.14-16.
2. C. Ogaza, "A Framework in Support of Structural Monitoring by Real Time Kinematic GPS and Multisensor Data", *Ph. D. Thesis, the New South Wales University*, 2002, pp. 10-19.
3. G. Even-Tzur, "GPS Vector Configuration Design for Monitoring Deformation Networks", *Journal of Geodesy*, 2002, pp. 455-461.
4. Wei M. and K. P. Schwarz, "A Strapdown Inertial Algorithm using an Earth-Fixed Cartesian Frame", *Journal of the Institute of Navigation*, Vol. 37, No. 2, 1999, pp. 153-167.
5. Ogaja. C., C. Rizos, J. Wang & J. Brownjohn, "Towards the implementation of on-line struture monitoring using RTK GPS and analysis of results using the wavelet transform", *10th FIG Int. Symp. on Deformation Measurement*, Orange, California, March 19~22, 2001, pp. 284~293.