

GPS에 의한 변위 모니터링시스템 개발

A Development of Displacement Monitoring System by GPS

최병길*, 문일용**, 이수영***, 김성표****

Choi, Byoung-Gil · Moon, Il-Yong · Rhee, Soo-Young · Kim, Sung-Fyo

요 지

인공위성을 이용한 범 지구 위치결정시스템인 GPS(Global Positioning System)는 수 밀리의 정밀도로 정적, 동적 위치측정이 가능한 시스템으로 교량, 건축물, 댐 등 각종 구조물의 미세한 변위를 측정하는데 이용되고 있다. 최근 국내에서도 대형구조물의 변위 측정에 GPS를 활용하려는 시도가 부분적으로 이루어지고 있으나 초보적인 단계이며 체계적인 연구가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 RTK(Real Time Kinematic) GPS로 구조물의 변위를 실시간 측정하고 모니터링 할 수 있는 시스템을 개발하였다. 먼저 예비실험으로 반송파의 차분에 의해서 증폭되는 수신기의 측정잡음 오차, 다중경로 오차, GDOP(Geometric Dilution of Precision)가 RTK GPS의 위치정확도에 미치는 영향을 분석하였다. 그리고, RTK GPS를 이용하여 마포대교를 관측한 결과, 수 센티미터 정도 발생하는 구조물의 변위를 3차원으로 정밀 관측할 수 있었으며, 본 연구에서 개발한 모니터링프로그램을 이용하여 구조물의 거동을 실시간으로 모니터링 할 수 있었다.

1. 서론

RTK GPS(Real Time Kinematic Global Positioning System)는 광범위한 관측점의 정밀 위치를 빠른 시간내에 획득하기 위해서 동적 이동측위를 수행하는 동시에 후처리 자료처리 기법이 갖는 정밀도에 근접한 결과를 산출할 수 있는 측위기법이다. 이 측위기법은 OTF(On the Fly) 초기화 기법을 이용하여 이동중에 모호정수를 해결하며 별도의 통신장비를 이용하여 기준국의 보정데이터를 이동국에 전송하고 이동국의 위치를 실시간으로 사용자에게 제공한다. RTK GPS 측량시 수신기의 측정잡음 오차와 다중경로 오차는 반송파의 차분으로 인하여 증폭되는 오차이며 위성의 기하학적 배치에 의하여 결정되는 GDOP(Geometric Dilution of Precision)는 측정된 의사거리의 측정오차를 위치측정오차로 증폭시키는 작용을 한다.

본 연구에서는 구조물의 변위측정에 이용될 RTK GPS가 갖는 오차 중 측정된 반송파의 차분에 의해서 증폭되는 수신기의 측정잡음 오차, 다중경로 오차가 위치정확도에 미치는 영향과 GDOP에 따른 위치정확도를 분석하였다. 또한 마포대교의 교각사이의 취약지점에 이동국을 설치하여 실시간 취득된 데이터를 이용, 본 연구에서 개발한 모니터링프로그램으로 구조물의 거동을 모니터링하

* 인천대학교 토목환경시스템공학과 부교수

** (주)청호종합기술단 대표이사

*** 엔에이씨정보시스템(주) 대표이사

**** 제일항업 편집팀 주임

였다.

2. GPS를 이용한 구조물의 변위 측정방법

2.1 반송파 위상 측정에 의한 동적 상대위치 결정

반송파를 이용한 상대위치결정에서는 공통오차를 제거하기 위하여 차분된 측정치를 이용하며 일반적으로 수신기간 차분과 위성간의 차분을 결합한 이중차분 기법을 이용한다. 식(2.1)은 기준국(A)와 이동국(B) 두 수신기간의 거리가 멀지 않을 경우 이중차분에 의하여 다중경로 오차와 수신기의 측정잡음 오차이외의 오차가 소거된 반송파의 이중차분식이다.

$$\phi_{AB}^{\ddot{}}(t) = ((\phi_B^{\dot{}}(t) - \phi_B^{\dot{}}(t)) - ((\phi_A^{\dot{}}(t) - \phi_A^{\dot{}}(t))) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{\ddot{}}(t) + N_{AB}^{\ddot{}}(t) + m_{AB}^{\ddot{}}(t) + w_{AB}^{\ddot{}}(t) \quad (2.1)$$

여기서 N : 모호정수(Integer Ambiguity)

m : 다중경로 오차

w : 수신기의 측정잡음

ϕ : 임의의 특정시각에 수신기가 수신한 위성의 반송파 위상의 측정값

ρ : 위성과 수신기 사이의 실제거리

반송파의 이중차분을 이용한 정적 상대위치 결정시 두 지점 A, B는 동일한 에폭크에서 같은 위성을 관측할 수 있다고 가정하고 n_i 는 에폭크 수, n_j 는 위성 수로 정의하면 이중차분 측정식과 미지수와 관계는 식(2.2)와 같이 된다. 식(2.2)에서 좌변은 관측이 실시되는 동안 얻을 수 있는 이중차분 측정식의 개수이며 우변은 미지수의 개수이다.

$$\begin{aligned} \phi_{AB}^{\ddot{}}(t) &= \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{\ddot{}}(t) + N_{AB}^{\ddot{}} \\ (n_j - 1) n_i &\geq 3 + (n_j - 1) \end{aligned} \quad n_i \geq \frac{n_j + 3}{n_j - 1} \quad (2.2)$$

동적 상대위치결정의 경우는 위치변수가 매 에폭크마다 변하여 위치변수가 $3n_i$ 가 된다. 그리고 모호정수는 시간에 독립이다. 반송파의 위상을 이용한 RTK GPS는 OTF 기법에 의하여 모호정수를 이동중에 해결한다. 따라서 모호정수를 알고 있는 값으로 간주하면 이중차분 측정식과 미지수와 관계는 식(2.3)와 같게 되어 위성이 4개 이상이면 이동중인 수신기의 위치변수를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \phi_{AB}^{\ddot{}}(t) - N_{AB}^{\ddot{}} &= \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{\ddot{}}(t) \\ (n_j - 1) \cdot n_i &\geq 3n_i \quad n_j \geq 4 \end{aligned} \quad (2.3)$$

2.2 구조물의 거동 관측시스템

GPS를 이용한 구조물의 변위 측정을 국내외에서 활발한 연구 수행 중에 있다. GPS는 여러 가

지 오차를 포함하고 있으며 사이클 슬립이나 다중경로 등 오차를 유발시키는 요인을 잠재하고 있다. 그러나 GPS는 시간, 시야, 기후에 제약이 적으며 휴대가 편리하고 상대적인 위치측정이 상당히 정확하기 때문에 교량 및 각종구조물의 안전도 해석에 이용되고 있다.

GPS를 이용하여 교량과 같은 구조물의 변위를 측정할 경우 반송파의 위상을 이용한 정지측위 기법에 의하여 기초침하와 같이 장기간에 걸쳐 발생하는 구조물의 거동을 측정할 수 있으며 이동측위기법 중 RTK GPS에 의하여 풍하중, 교통하중으로 인해 발생하는 순간거동을 측정할 수 있다. 순간 거동의 경우 기존의 측정방법과 같이 교량의 가장 취약한 부분에 수신기를 설치하여 관측하게 된다. 표 2.1은 GPS를 이용한 구조물의 장기 거동과 순간 거동 관측 시스템을 비교, 설명하고 있다.

표 2.1 장기, 순간거동 관측시스템의 비교

	장기 거동 관측 시스템	순간 거동 관측 시스템
적 용	· 구조물의 긴시간의 거동관측	· 구조물의 순간적인 거동관측
관측분야	· 기초침하 · 크리프(Creep) · 스트레스 릴레세이션 (Stress relaxation)	· 풍하중 · 교통하중
정확도	· 밀리미터 정도	· 센티미터 정도
측량조건	· 충분한 평균시간과 양호한 수신기의 위성경로 추적상태	· 평균시간이 작거나 거의 없음 · 빠른 데이터 처리와 전달속도

3. 실험 및 분석

3.1 RTK GPS의 오차요인 분석 실험

본 실험이 실시된 지역은 인천대학교이며, 이공관 옥상 양쪽 끝에 점 P0, 점P3, 본관 옥상에 점 P1, 제 1공학관 옥상에 점P2를 설치하였다. 점 P0, P1, P2는Leica사에서 제안된 One Step 방법에 의한 좌표변환에 이용된 기준점이다. 모든 관측값은 P0와 P3의 측선이 X-축, P0가 (1000, 1000, 100)으로 정의된 좌표계의 값으로 전송되게 하였으며 이동국의 위치정보는 Leica사에서 제공하는 LLK와 LLQ 형식으로 전송되게 하였다. 실험에 사용된 장비는 Leica사에 제조한 AT302 안테나, SR9500 센서, CR344 콘트롤러와 SATEL사에서 제조한 SATELLINE-1AS 모뎀이다.

오차요인을 분석하기 위한 실험으로 수신기의 측정잡음 실험, 다중경로와 수신기의 측정잡음에 의한 위치정확도 실험, GDOP에 의한 위치정확도 실험 등 세 가지 실험을 수행하였다. 관측값은 세 가지 실험 모두 모호정수가 고정될 때 휴대용 PC를 통하여 1초마다 전송 받아 취득하였다.

수신기의 측정잡음은 다중경로와 같이 상쇄되지 않고 증폭되는 오차이다. 본 연구에서는 하나의 안테나에 두 개의 수신기를 연결하여 동일한 위치를 동시에 측정함으로써, 수신기들의 측정잡음에 의하여 발생할 수 있는 위치오차를 확인하였다. 본 실험은 본 연구에 사용된 수신기의 성능실험이기도 하다. 실험의 방법은 P0으로부터 약 80m지점에 측정장비를 구성하였으며 GPS 안테나 케이블에 맞는 BNC(Broadcast Network Connector) 커넥터를 제작하여 하나의 안테나에 두 수신기를

연결하였다.

다중경로와 수신기의 측정잡음에 의한 위치정확도 실험의 목적은 관측에 관계된 모든 요소들을 최대한 동일하게 하여 다중경로와 수신기의 측정잡음이 오차의 주된 요소가 되도록 함으로써 이들에 의한 위치정확도를 분석하는데 있다. 실험은 UTC(Universal Time Coordinated) 2000년 11월 11일과 12일 11시 40분부터 약 1200 에폭크(초) 동안 실시되었다.

GDOP는 측정된 의사거리 측정오차를 위치측정오차로 증폭시키는 작용을 한다. GDOP에 의한 위치정확도 실험은 안테나 구심의 불안요소가 없는 상태에서 위성의 기하학적 배치(GDOP)에 의한 위치정확도를 분석하는데 목적이 있다. 실험은 UTC 2000년 11월 29일 5시 50분부터 약 3000 에폭크(초) 동안 실시되었다.

3.2 RTK GPS를 이용한 구조물의 모니터링 실험

본 연구에서는 마포대교를 측정대상물로 선정하였는데 이는 마포대교가 다른 교량에 비하여 차량의 소통이 많으며 노후되었기 때문에 교통하중과 풍하중등에 영향을 많이 받을 것이라고 예상되었기 때문이다. 이동국이 설치될 교량의 측정지점은 교각 18번과 19번 사이의 중앙에 위치한 인도에 설치하였다.

3.2.1 기준점 측량 및 좌표변환

구조물의 변위를 지역 좌표계로 전환하여 실시간 좌표측정을 하기 위해서는 먼저 기준점 측량에 의한 좌표변환이 이루어져야 한다. 기준점 측량에 사용된 삼각점은 소사 404, 수봉산 412, 학미 405등 세 점이 사용되었다. 기준점 측량은 GPS의 정지측위기법을 이용하였으며, 좌표변환은 Leica사에서 제공하는 One Step 방법으로 실시하였다.

3.2.2 구조물변위 모니터링프로그램

본 실험에서는 구조물의 변위를 모니터링하기 위한 프로그램을 개발하였는데 모니터링 프로그램은 NMEA(LLQ) 메시지를 각 정보별로 분류한다. 모니터링 프로그램은 분류된 정보를 이용하여 각각의 허용범위에 따른 이벤트를 발생한다. 특히, 위치데이터를 이용하여 산출된 구조물의 거동 및 변위가 허용범위를 만족하지 못할 경우 UTC, 상황발생시간, 상황종료시간, 최대변위, 관측된 위성수, 모호정수의 결정여부를 제공함으로써 사용자가 보다 객관적인 판단을 할 수 있도록 하였다. 그림 3.1은 휴대용 PC의 COM PORT를 통해 들어오는 NMEA(LLQ) 메시지의 형태와 각 부분이 의미하는 정보를 나타낸 것이며 그림 3.2는 모니터링 프로그램을 처리하는 과정을 나타낸 것이다.

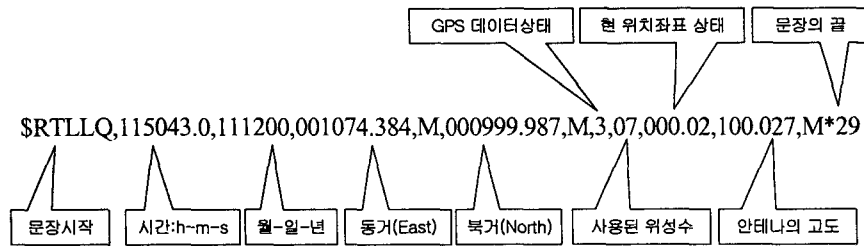


그림 3.1 NMEA(LLQ) 메시지의 부분별 정보

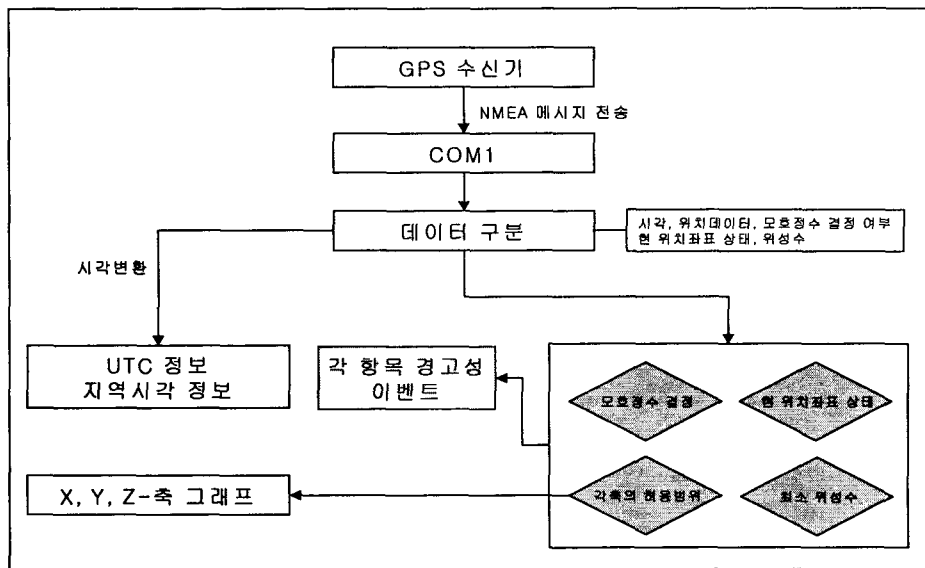


그림 3.2 모니터링 프로그램에 의한 NMEA(LLQ) 메시지의 정보처리 과정

그림 3.3은 모니터링프로그램의 실행화면을 나타내고 있으며 프로그램이 갖고 있는 주요기능은 다음과 같다. A 부분은 관측데이터 열기, COM PORT연결, 관측시작, 일시정지, 그래프초기화 등의 버튼이 있으며 B 부분은 입력된 초기좌표(X, Y, Z)를 기준으로 계산된 현재의 변위, 평균변위, (+)(-) 최대변위 등을 미터단위로 시각(UTC, 지역시각)과 함께 제공한다. C 부분은 각 축의 변위 그래프이며 E 부분은 관측당시의 GPS 데이터를 나타내고 있다. E 부분은 현재까지 관측된 전체 변위데이터와 허용범위를 초과한 구간의 변위데이터를 볼 수 있는 버튼으로 구성되어 있다. 이외도 그래프를 가로 또는 세로로 볼 수 있는 기능과 변위가 허용범위를 초과했을 경우, 최소위성수(4개)를 만족하지 못할 경우, 모호정수가 결정이 안된 경우에 이벤트를 발생시키는 기능이 있다. 그림3.4는 이벤트 발생시의 화면을 나타내며, 그림 3.5는 이벤트 화면에 대한 주요 정보를 나타낸 것이다.

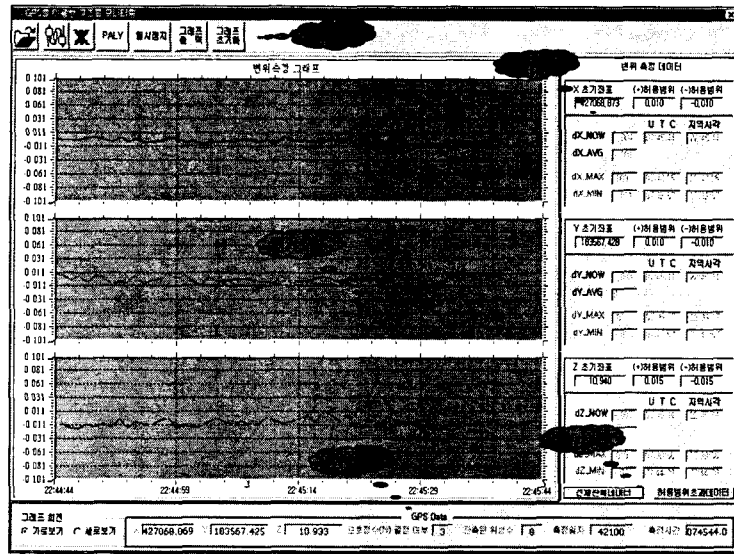


그림 3.3 모니터링프로그램의 실행화면

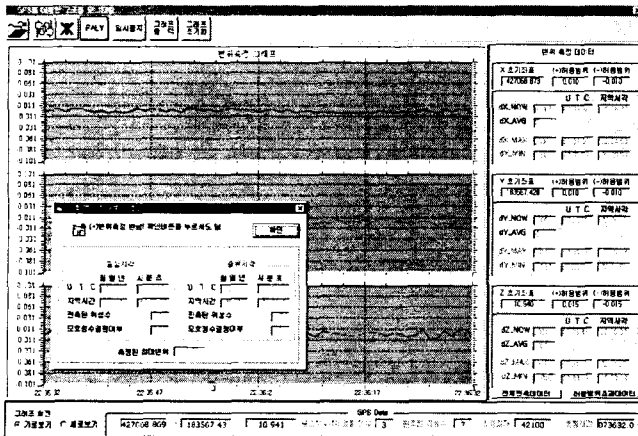


그림 3.4 이벤트 발생화면

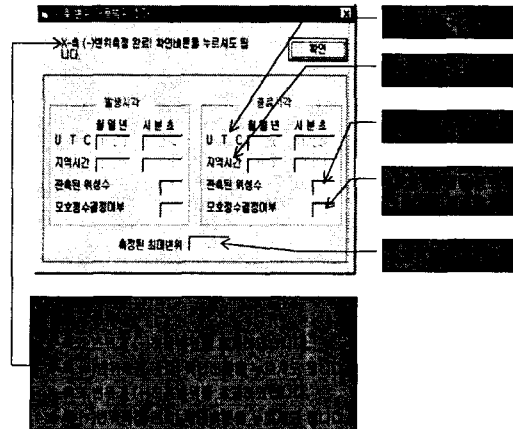


그림 3.5 이벤트 화면의 주요 정보

또한 허용범위를 초과할 경우에 상황이 발생한 시각과 종료시각의 위성수와 모호정수 결정여부를 함께 제공함으로써 보다 객관적인 판단이 이루어지도록 하였다. 본 프로그램에서는 변위를 산출하기 위해 측정지점의 초기좌표값을 요구되는데, 본 연구에서는 측정이 실시되는 동안 취득된 모든 좌표값의 평균값을 초기좌표값으로 가정하여 입력하였으며 각 축에 대한 변위의 허용범위는 Z-축은 ± 1.5 cm, X, Y-축은 ± 1 cm로 설정하였다.

3.3 RTK GPS의 오차요인 실험 결과 및 분석

3.3.1 수신기의 측정잡음 실험 결과 및 분석

표 3.1은 각 수신기에서 취득된 관측값의 평균과 표준편차를 나타낸 것이다. 표 3.1과 같이 두 수신기에서 취득된 관측값의 평균의 차이는 X-축은 0.0000m, Y-축은 0.0001m로 정밀한 반면에 Z-축은 0.0017m로 상대적으로 큰 값을 보였다. 그러나 표 3.2와 같이 표준편차에서는 동일하거나

0.0001m로 매우 정밀하였다. 실험결과로 볼 때 본 연구에 사용된 수신기는 측위오차를 분석하는데 충분한 정밀도를 가진 장비임을 알 수 있다. 그림 3.6 ~ 그림 3.8은 본 실험에서 취득된 두 관측값을 차분하여 Z-축(높이), 평면 및 공간의 거리편차로 나타낸 것이다.

표 3.1 각 수신기에 의한 관측값 [m]

		수신기_1	수신기_2	차이
X-축	평균	1078.4513	1078.4513	0.0000
	표준편차	±0.0030	±0.0029	0.0001
Y-축	평균	1009.6759	1009.6758	0.0001
	표준편차	±0.0031	±0.0031	0.0000
Z-축	평균	100.0559	100.0542	0.0017
	표준편차	±0.0064	±0.0065	-0.0001

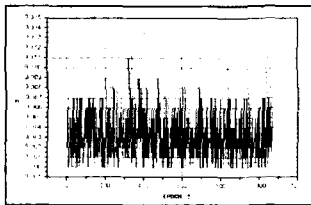


그림 3.6 두 수신기간의 Z-축(높이) 거리편차

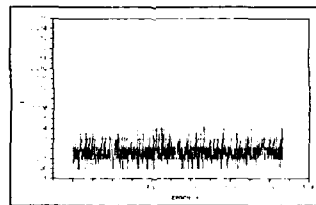


그림 3.7 두 수신기간의 평면거리편차

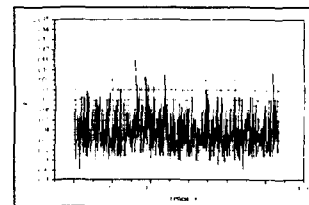


그림 3.8 두 수신기간의 공간거리편차

표 3.2 두 수신기간의 거리편차 [m]

	Z-축	평면	공간
평균거리편차	0.0031	0.0016	0.0038
최대거리편차	0.0120	0.0061	0.0124

본 실험은 수신기_1과 수신기_2가 기준국과 이동국으로 이용될 경우 수신기의 측정잡음이 위치 정확도에 미치는 영향을 분석하기 위한 실험이다. 이론적으로 수신기의 측정잡음에 의해서 발생하는 각 위성과 수신기와의 의사거리의 측정오차는 파장의 1%정도로 보고 있으며 본 실험의 결과는 이와 같은 측정오차가 위치측정오차로 증폭된 값들의 결과이다. 실험의 결과로 볼 때 일반적인 GPS 측량과 같이 높이는 평면보다 불안정한 모습을 나타냈으며 평면을 기준으로 높이가 평면의 약 2배정도로 부정확함을 알 수 있었다. 이는 각각의 거리편차에 대한 최대값에서도 보여지는데 높이가 평면의 약 2배인 0.0120m로 나타났다.

3.3.2 다중경로와 수신기의 측정잡음에 의한 위치정확도 실험 결과 및 분석

그림 3.9 ~ 그림 3.11는 전체 관측값의 평균을 기준으로 관측값들의 거리편차를 나타낸 것이다. 높이편차가 평면에 비하여 매우 큼을 쉽게 알 수 있으며 양일의 거리편차변화가 유사함을 알 수 있다. 수신기의 측정잡음 오차가 하드웨어적인 오차임을 감안 할 때 매 에폭크마다 불규칙적인 편차를 보이는 것은 수신기의 측정잡음 오차에 의한 영향으로 보여지며 변화의 경향은 주위의 환경이 일정한 관측지점에서 다중경로 오차의 주기적 변화에 의한 결과로 볼 수 있다. 또한 이러한 변

화의 경향이 양일에 걸쳐 이동되는 모습을 본 실험을 통하여 알 수 있었다. 표 3.3과 그림 3.12 ~ 그림 3.14는 에폭크 200 ~ 800까지 1분(60 에폭크)씩 구분하여 각각의 거리오차를 나타낸 것이다. 11월 11일 관측시간대의 평균 GDOP는 2.82, 11월 12일은 2.68로 변화가 작았다.

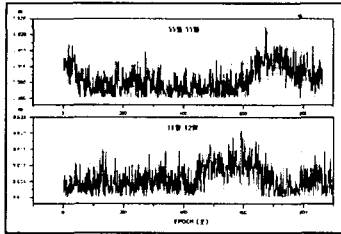


그림 3.9 양일의 높이편차

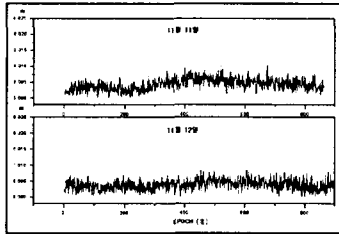


그림 3.10 양일의 평면거리편차

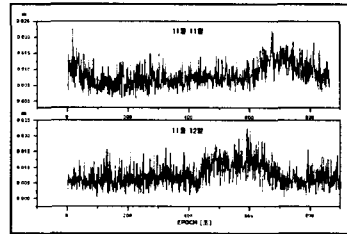


그림 3.11 양일의 공간거리편차

표 3.3 양일의 1분당 평균제곱오차

구 분	11월 11일			11월 12일		
	높이	평면	공간	높이	평면	공간
200_260	0.0067	0.0031	0.0074	0.0059	0.0038	0.0064
260_320	0.0061	0.0043	0.0075	0.0062	0.0037	0.0068
320_380	0.0042	0.0053	0.0068	0.0064	0.0045	0.0071
380_440	0.0046	0.0063	0.0078	0.0059	0.0041	0.0063
440_500	0.0048	0.0064	0.0080	0.0103	0.0055	0.0107
500_560	0.0057	0.0059	0.0082	0.0101	0.0051	0.0105
560_620	0.0060	0.0055	0.0081	0.0120	0.0049	0.0123
620_680	0.0118	0.0055	0.0130	0.0100	0.0048	0.0105
680_740	0.0131	0.0048	0.0140	0.0048	0.0046	0.0056
740_800	0.0100	0.0050	0.0112	0.0046	0.0043	0.0055

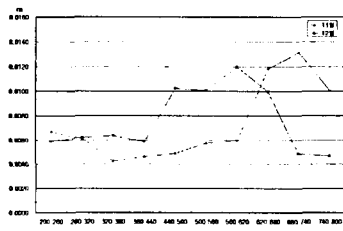


그림 3.12 1분당 높이의
평균제곱오차

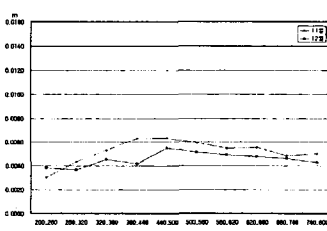


그림 3.13 1분당 평면의
평균제곱오차

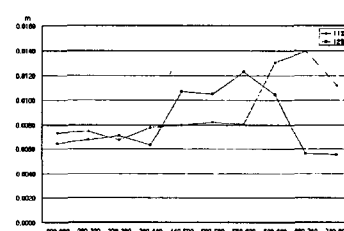


그림 3.14 1분당 공간의
평균제곱오차

실험의 결과를 보면 높이의 평균제곱오차의 변화가 평면에 비하여 매우 큼을 쉽게 알 수 있으며 높이의 평균제곱오차변화가 공간의 평균제곱오차의 변화에도 많은 영향을 미침을 쉽게 알 수 있다. 특히, 오차의 경향이 양일을 기준으로 약 3 ~ 4분 정도 뒤로 이동되는 모습을 볼 수 있는데 이는 위성의 주기와 관계가 있다고 판단된다. 위성의 주기가 11시간 58분임을 생각할 때 24시간 동안 4분의 차이를 갖는다. 따라서 위성들의 배치가 24시간 기준으로 동일시되는데 4분의 차이가 있음을 생각할 수 있다.

3.3.3 GDOP에 따른 위치정확도 실험 결과 및 분석

그림 3.15는 실험이 실시된 2000년 11월 29일 5시 50분(UTC)부터 약 3000 에폭크(초) 동안에 GDOP의 변화와 전체 관측값의 평균을 기준으로 관측값들의 공간거리편차가 변화하는 것을 보여

주는 것으로 GDOP가 감소함에 따라 공간거리편차의 정도가 감소함을 볼 수 있다. 그림 3.16 ~ 그림 3.18은 높이, 평면 및 공간상에서 전체 관측값의 평균과 관측값들의 거리편차를 GDOP에 따라 분류한 그림이다.

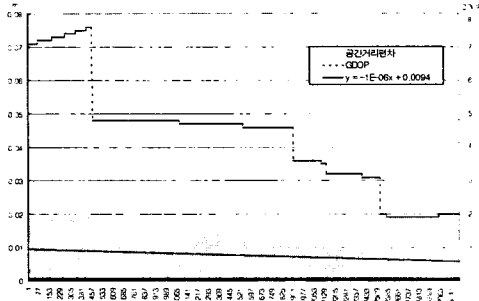


그림 3.15 관측시간 동안의 GDOP 및 공간거리편차 변화

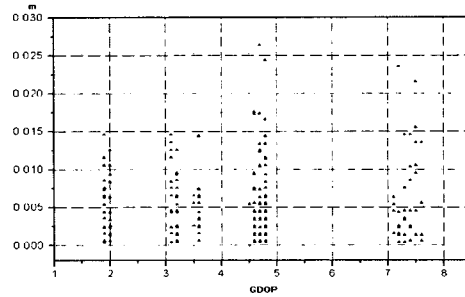


그림 3.16 GDOP에 따른 높이편차

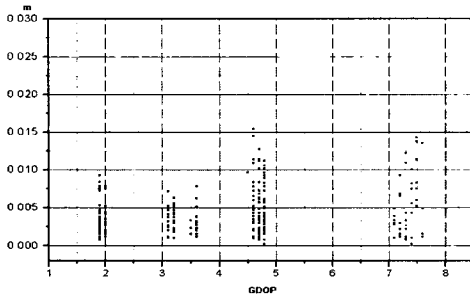


그림 3.17 GDOP에 따른 평면거리편차

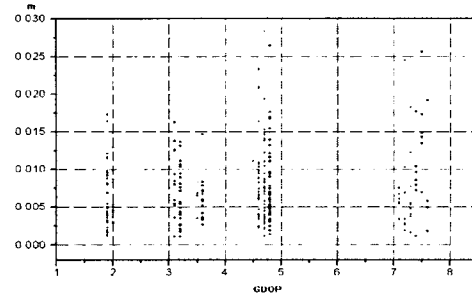


그림 3.18 GDOP에 따른 공간거리편차

그림 3.16 ~ 그림 3.18 에서 보듯이 높이에 대한 변화의 폭이 평면보다 큼을 쉽게 알 수 있다. 표 3.4는 그림 3.16 ~ 그림 3.18에서 보이는 군집된 부분들의 평균제곱오차와 최대거리편차를 나타낸 것인데 GDOP에 따른 평균제곱오차가 평면에서 작게 나타났으며 평면을 기준으로 높이가 평균적으로 약 1.4배 정도 큰 결과를 보였다.

GDOP는 측정된 의사거리 오차가 위치측정 오차로 증폭되는 정도를 의미한다. 실험의 결과에서 GDOP에 따른 평균제곱오차의 증가정도를 살펴보면 GDOP가 1.93에서 7.27로 증가함에 따라 높이는 0.0034m, 평면은 0.0032m로 평균제곱오차가 증가되었으며 공간은 0.0047m 증가하였다. 또한 최대거리편차에서도 평균제곱오차와 같이 높이가 평면보다 평균적으로 약 1.5배 정도 큰 결과를 보이면서 GDOP가 증가함에 따라 거리편차가 증가함을 알 수 있었다.

표 3.4 GDOP에 따른 평균제곱오차와 최대거리편차 [m]

평균 GDOP	높이		평면		공간	
	평균제곱오차	최대거리편차	평균제곱오차	최대거리편차	평균제곱오차	최대거리편차
1.93	0.0054	0.0146	0.0037	0.0094	0.0065	0.0175
3.19	0.0064	0.0186	0.0042	0.0106	0.0077	0.0197
3.60	0.0058	0.0156	0.0040	0.0114	0.0071	0.0165
4.72	0.0073	0.0274	0.0055	0.0222	0.0091	0.0306
7.27	0.0088	0.0336	0.0069	0.0223	0.0112	0.0366

3.4 RTK GPS를 이용한 구조물의 모니터링 실험 결과 및 분석

표 3.5는 관측이 완료된 후의 프로그램의 화면과 각 축의 (+)(-)최대변위, 평균최대변위와 발생시각을 나타내고 있다.

표 3.5 관측이 완료된 후의 각 축의 변위데이터 [m]

	평균변위	(+)최대변위	(+)최대변위 발생시각	(-)최대변위	(-)최대변위 발생시각
X-축	-0.001	0.009	07:42:25(UTC) 22:42:25(지역시각)	-0.011	07:45:37(UTC) 22:45:37(지역시각)
Y-축	0.000	0.011	07:35:17(UTC) 22:35:17(지역시각)	-0.013	07:41:57(UTC) 22:41:57(지역시각)
Z-축	0.000	0.019	07:39:36(UTC) 22:39:36(지역시각)	-0.022	07:44:20(UTC) 22:44:20(지역시각)

표 3.5에서 X-축의 평균변위가 0이 아닌 것을 볼 수 있는데 이는 X-축의 초기값을 전체관측값의 평균을 이용하면서 바운더리 에러(Boundary Error)에 의한 것으로 판단된다.

그림 3.19와 그림 3.20은 관측이 실시된 동안의 변위에 대한 전체 및 허용범위를 초과한 구간의 데이터를 나타내고 있다.

그림 3.19 관측이 실시된 동안의 변위데이터 그림 3.20 허용범위를 초과한 구간의 변위데이터

그림 3.19와 그림 3.20에서 보듯이 총 529번의 관측이 실시되었으며 표 3.6과 같이 각 축의 변위가 (+)(-) 허용범위를 초과하였다. Z-축에 대한 변위가 상대적으로 큰 것과 발생빈도가 많음을 알 수 있다.

표 3.6 각 축의 변위가 허용범위를 초과한 구간

구분	(+) 허용범위초과			(-) 허용범위초과		
	발생시각(UTC)	종료시각(UTC)	최대변위(m)	발생시각(UTC)	종료시각(UTC)	최대변위(m)
X-축	-	-	-	07:45:37	07:45:39	-0.011
Y-축	07:35:17	07:35:19	0.011	07:40:50	07:40:51	-0.011
				07:41:54	07:41:55	-0.011
				07:41:57	07:41:58	-0.013
Z-축	07:39:36	07:39:37	0.019	07:44:20	07:44:21	-0.022
	07:40:41	07:40:42	0.017	07:44:25	07:44:26	-0.017
	07:41:14	07:41:15	0.018	07:45:25	07:45:26	-0.018

4. 결론

본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

RTK GPS를 이용하여 마포대교를 관측한 결과, 수 센티미터 정도 발생하는 구조물의 변위를 3차원으로 관측할 수 있었으며, 본 연구에서 개발한 프로그램을 이용하여 관측한 데이터를 시각적으로 구현함으로써 구조물의 거동을 실시간으로 모니터링 할 수 있었다. GPS의 LLQ 메시지를 정보별로 분류, 출력함으로써 관측 상황을 한눈에 알 수 있었으며, 각종 측정조건을 만족하지 못했을 경우에 이벤트를 발생시킴으로써 관측상황 변화시 이를 쉽게 알 수 있었다.

반송파의 차분에 의하여 증폭된 수신기의 측정잡음 오차가 위치정확도에 미치는 영향은 평균적으로 밀리미터 수준이었으며, 높이가 평면의 약 2배정도 큰 결과를 보였다. 다중경로와 수신기의 측정잡음에 의한 양질의 위치정확도는 거의 유사한 경향을 가지며 변화하였는데, 이는 다중경로 오차의 주기적 변화에 의한 것으로 판단되어 진다. GDOP에 따른 위치정확도 실험 결과, 평균제곱 오차는 평균적으로 높이가 평면의 약 1.4배, 최대거리편차는 약 1.5배 정도의 큰 값을 보이면서 센티미터 수준의 위치정확도를 유지하는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 인천대학교 중소기업지원센터의 산·학·연 컨소시엄 사업을 바탕으로 작성되었습니다.

참고문헌

- 1) 김창우, “변위측정을 위한 GPS 측량 적용에 관한 연구”, 군산대학교 대학원 석사학위 논문, 2000.
- 2) 박운용, 장상규, 정성모, 이홍규, “실시간 동적 GPS 측위기법에 의한 교량 거동의 모니터

- 링” , 대한토목학회 논문집, 1998, pp.377-380.
- 3) 이용창, “정밀절대측위기법에 의한 GPS 기준점 좌표의 산정” , 한국측지학회, 제 17권 2호, 1999, pp.145~152.
 - 4) 이흥규, “GPS에 의한 동적 자세결정에 관한 연구” , 동아대학교 대학원 석사학위논문, 1999.
 - 5) 최병길, “이동차량에 탑재된 GPS의 동적위치측정에 관한 연구” , 한국측량학회지 제 17권 4호, 1999, pp.373~381.
 - 6) 최병길, 김영근, 정진우, “GPS의 OTF 측위기법을 이용한 구조물의 변위 측정에 관한 연구” , 대한토목학회 논문집, 2000, pp.621~624.
 - 7) Parkinson. B. W. and Spiker, J. J., “Global Positioning System: Theory and Applications Volume I, II” , Progress in Astronautics and Aeronautics, 1996.
 - 8) Braasch, M. and Graas, F. V., “Guidance Accuracy Considerations for Real-Time GPS Interferometry” , Proc. ION-92, Albuquerque, New Mexico, 1992.
 - 9) Gregory, T. F., “Understanding the GPS” , GEO-RESEARCH, 1996.
 - 10) Gilbert. S. and Borre, K., “Linear Algebra, Geodesy, and GPS” , WELLESLEY - CAMBRIDGE PRESS, 1997.
 - 11) Tom, L., “UNDERSTANDING the NAVSTAR” , ITP, 1995.
 - 12) Trimble., “Differential GPS Explained” ,Trimble, 1993.
 - 13) Lachapelle, G., “NAVSTAR GPS : Theory and Application” , ENGO 625 Lecture Notes, Dept. of Geomatics Engineering, The Univ. of Calgary, Calgary, Canada, 1993.