

저가형 L1 1주파 GPS 수신기를 이용한 계측 모니터링 시스템 개발

Development of a Structural Measurement System Using Low-Cost L1 Single Frequency GPS Receivers

박기정¹⁾ · 이상현²⁾ · 최준성³⁾

Park, Ki Jung · Lee, Sang Hyun · Choi, Jun Sung

¹⁾ 한국유지관리(주) 유지관리사업부 대리(E-mail:44park@kmctech.co.kr, Tel: 02-830-7071)

²⁾ (주)스마트케이블 연구소 연구원(E-mail:virus312@hotmail.com)

³⁾ 한국유지관리(주) 대표이사(E-mail:ceo@kmctech.co.kr, Tel: 02-830-7071)

Abstract

In recent years, there is a strong urge to introduce GPS systems which can role in reference points and measure global positions to the field of structural measurements. In this study, a new structural measurement system using low-cost L1 single frequency GPS receivers instead of conventional expensive RTK L1&L2 dual frequency GPS receiver. This system consists of GPS OEM board, GPS antenna, wireless access points, and monitoring program based on Lambda method and makes it possible to apply to monitor a static behavior of large scaled infra-structures, such as dams, tall buildings, road slops.

1. 서 론

과학적인 구조물의 유지관리 및 시공관리를 위하여 계측시스템의 도입은 강조되고 있다. 경사계, 가속도계, 신축변위계 등은 국부적인 거동을 측정할 때 사용되는데 계측점에 대한 기준의 역할을 하면서 절대적인 거동을 측정할 수 있는 GPS 계측 시스템 도입에 대한 요구는 계속되고 있다. 그러나 GPS를 이용한 계측 모니터링에 사용되는 장비들은 대부분이 고가이고, GPS 정밀 기선해석 처리 등을 GPS 비전문가가 사용하기에는 불편함이 많았다.

본 연구에서는 상용화된 저가형 L1 1주파 GPS OEM보드, 안테나, 무선AP와 연속적으로 Static 계측을 수행할 수 있는 모니터링 프로그램을 개발하여 GPS 시스템을 구성하였고, 특히 모니터링 프로그램 내부에는 LAMBDA 방법을 이용하여 기선해석처리를 할 수 있는 모듈을 내장시켰다. 마지막으로 영점 기선거리시험과 24시간동안 30분 단위의 연속 기선 해석시험을 수행하여 시스템 도입 가능성을 평가하였다. 개발된 저가형 L1 1주파 GPS 계측 모니터링 시스템은 도로사면, 대형빌딩, 댐 등 주로 정적거동을 하는 시설물에 적용 가능할 것으로 기대된다.

2. 사용장비 및 모니터링 프로그램

2.1 GPS 시스템

GPS 모니터링 시스템은 그림 1에서 보이는 바와 같이 크게 계측부와 현장 서버 컴퓨터로 구성된다. 계측부는 GPS 안테나와 GPS수신기를 포함하는 GPS 수신장치와 원격 현장 서버 컴퓨터와 데이터 송신을 위한 안테나를 포함하는 무선 통신 모듈과 각 하드웨어 장치에 전원을 제공하는 전원 장치로 구성된다. 현장 서버 컴퓨터에 설치되어 있는 실시간 GPS 모니터링 소프트웨어는 GPS 수신장치와 무선 통

신 모듈의 제어, GPS 데이터 처리, 처리 결과의 DB 및 파일 저장, 경보 및 알람의 한계치 설정 기능이 있으며, 처리 결과는 유선 혹은 무선의 인터넷 망을 통해 원거리 사용자에게 전달된다. 그리고 현장 서버 컴퓨터는 GPS 안테나와 수신기로 구성되는 기준국용 GPS 수신장치와 데이터 송수신을 위한 안테나를 포함하는 무선 통신 장치와 직접 연결되어 있다.

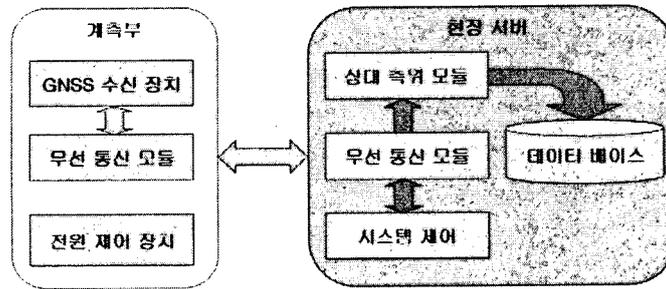


그림. 1 시스템 구성도

표 1. 개발에 사용된 GPS 시스템 사양

구분	내용
Static Precision	L1 carrier phase 10mm RMS
Data rate	1Hz
Velocity Accuracy	0.05m/s RMS
Size	46*71*13mm
Weight	22g
Port	RS-232C
안테나	L1 1575 ± 10 MHz
무선AP	2.4 GHz

2.2 모니터링 프로그램

GPS를 이용하여 정적거동 계측을 하기 위한 모니터링 프로그램(PreventionSD)은 크게 데이터 입·출력 부분, 입력 GPS 반송파 위상의 모호 정수 결정을 포함하는 정밀 기선 해석 루틴 부분으로 구성된다. 모니터링 프로그램(PreventionSD)의 초기화면은 그림 2.와 같다.

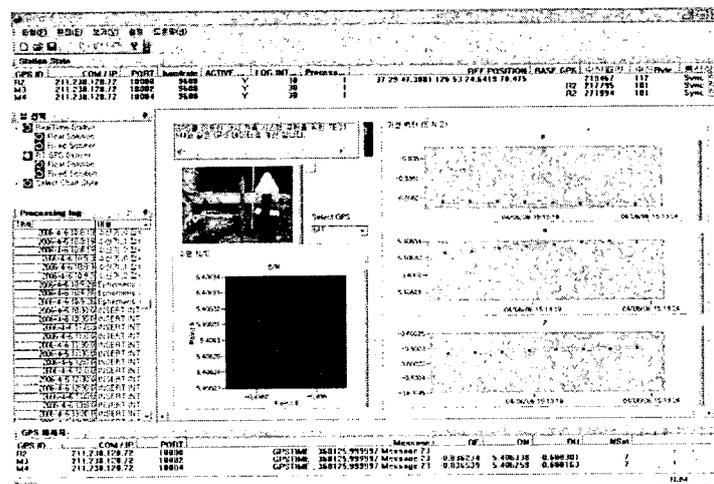


그림. 2 개발된 모니터링 프로그램

반송과 위상의 모호 정수의 결정은 정밀 위치 계산을 위해 요구되는 것으로 현재까지 다양한 방법들이 제안되었으며, 지속적인 연구가 진행되고 있다. PreventionSD에서는 모호정수 결정을 위해 가장 널리 사용되고 있는 LAMBDA(Least squares AMBiguity Decorrelation Adjustment) 기법을 적용하였다. 먼저 이중차분의 정밀 위치 계산을 위한 LAMBDA 기법의 원리에 대해서 기술하면 아래와 같다.

우선, 이중차분 관측 방정식을 선형화하여 개념적인 구조로 나타내면 수식 (1)과 같다.

$$y = A \cdot a + B \cdot b + e \quad (1)$$

여기서,

y : 측정된 이중차분 반송과 위상과 계산된 이중차분 위상차의 벡터; $y \in R^m$

a : 이중차분된 미지정수 n 개의 벡터

b : 위치보정 성분 p 개의 벡터

A, B : 미지정수와 위치벡터 관련 행렬 (A : $m \times n$ 행렬, B : $m \times p$ 행렬)

e : 모델화 되지 않은 오차

위식에서 최소제곱법을 적용함에 따라 이중차분 실수 미지정수 계산값 \hat{a} 위치해 \hat{b} 그리고 각각의 공분산 행렬 Q_a Q_b 을 구할 수 있다. LAMBDA 방법을 이용한 미지정수 결정에는 위 식에서 획득된 실수 미지정수 \hat{a} 와 공분산 행렬 Q_a 을 이용하며 식 (2)의 조건을 최소로 하는 미지정수 \tilde{a} 을 계산하게 된다.

$$\min(\hat{a} - a)^T Q_A^{-1} (\hat{a} - a) \quad \text{with } a \in Z^m \quad (2)$$

이중차분 미지정수는 3개만이 독립이기 때문에 보다 많은 위성이 보일 경우 큰 상관관계를 갖게 된다. LAMBDA는 정수 최소 자승법에 근거한 미지정수 검색 기법으로 적절한 변환행렬 Z 를 이용하여 미지정수를 비 상관 시킨 후 타원 영역의 검색 범위를 지정하여 실수 미지정수에 가장 근접한 정수의 미지정수를 결정하는데 이용한다.

Z 행렬은 일대일(one-to-one) 정수 변환 관계가 성립하고 검색공간의 체적을 보존하기 위해 모든 원소가 정수이고 행렬식(Determinant)이 1이어야 한다. 이러한 제한조건을 지닌 Z 행렬에 의해 완벽한 비상관화는 이루어질 수 없지만 부분적인 비 상관화가 이루어지므로 불필요한 검색시간을 줄일 수 있게 된다.

따라서 Z 행렬을 이용하여 실수 미지정수 \hat{a} 는 새로운 미지정수 \hat{z} 으로 변환되며 공분산 행렬도 변환된다.

$$z = Z^T a \quad \hat{z} = Z^T \hat{a} \quad Q_z = Z^T Q_a Z \quad (3)$$

정수 미지 검색은 식(2)의 검색조건을 최소화하는 것으로 식(4)와 같이 미지정수의 분산-공분산 행렬에 의해 정의된 n 차원 미지정수로 이루어진 타원 영역의 검색 범위 내부에 있는 정수 격자점들에 대해 수행된다.

$$(\hat{z} - \tilde{z})^T Q_z^{-1} (\hat{z} - \tilde{z}) \leq \chi^2 \quad (4)$$

Z 변환으로 변경된 검색 영역에서 검색조건을 만족하는 미지정수가 결정되면 식 (5)를 이용해서 본래의 미지정수를 계산한다.

$$\tilde{a} = Z^{-T} \cdot \tilde{z} \quad (5)$$

식 (5)를 이용하여 미지정수가 계산 되었다면 식(7)을 이용하여 미지점의 위치를 구할 수 있다.

$$Q_{\tilde{b}} = Q_{\tilde{b}} - Q_{\tilde{b}a} Q_a^{-1} Q_{\tilde{a}b} \quad (6)$$

$$\tilde{b} = \tilde{b} - Q_{\tilde{b}a} Q_a^{-1} (\tilde{a} - \tilde{a}) \quad (7)$$

무선 전송 모듈을 통해 수신된 각각의 수신기의 데이터는 실시간으로 디코드(Decoding)되고 시각 동기 과정을 거쳐 기선 벡터 해석 처리 루틴으로 입력되고 처리루틴은 먼저 수신기에 궤도력(ephemeris)을 요구하게 되며 궤도력을 얻은 후 정상적인 정밀 기선 해석 처리 루틴을 실행하게 된다. 정밀 기선 해석 루틴에서 모호정수(Ambiguity)를 계산하는 기법으로는 LAMBDA 기법을 사용했으며 처리 결과는 데이터베이스와 파일로 각각 저장된다. 데이터베이스는 30분에 한번 처리 결과를 저장하며 각 epoch에 대한 처리 결과는 파일을 통해 저장되는데 측정된 시간과 동일한 이름의 폴더에 원시 데이터와 함께 저장되게 된다.

3. 시스템 검증 시험

3.1 실험용 기준국 좌표 취득

2005년 8월 30일 국토지리정보원의 서울과 수원의 GPS 상시기준국 데이터를 이용하여 실험용 GPS 안테나가 설치될 위치의 기준국좌표를 취득하였고, 기준국 좌표 취득을 위해서는 2주짜 GPS 수신기(PolaRx@ GPS Dual frequency receiver)를 사용하였다. 취득된 기준국의 좌표는 표 2. 와 같다.

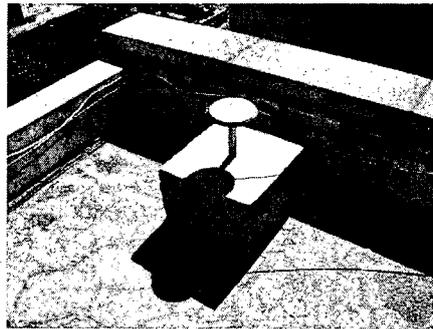


그림. 3 실험용 기준국

표 2. 기준국 좌표

구분	내용
Latitude (East)	37° 29' 47.38812"
Longitude (North)	126° 53' 24.64188"
Ell Height	70.475m
상시기준국	서울 (국토리지정보원) 수원 (국토리지정보원)
처리시간	2005년 8월 30일 05시~09시(4시간)

3.2 영점 기선 거리 시험(Zero Baseline Test)

개발된 GPS 모니터링 프로그램(PreventionSD) 의 기선해석 성능을 확인하기 위해 1개의 안테나에서 나오는 신호를 분기하여 2개의 수신기로 수신하고, 2개의 수신기의 기선해석하여 나오는 거리를 오차로 간주하는 영점 기선 거리 시험을 수행하였고, Elevation Mask는 10°, 데이터 수신 빈도는 1Hz 로 하였

다. 상용프로그램인 GrafNav를 이용하여 같은 Elevation Mask와 데이터 수신 빈도로 기선 해석된 결과를 비교하여 표 3. 과 같은 결과를 얻었다. 개발된 모니터링 프로그램과 상용프로그램의 RMS 차이 0.8mm는 무시할 수 있는 정도로 판단된다.

표 3. 모니터링 프로그램과 상용프로그램의 영점 기선 거리 시험 결과 비교

구분	BaseVector East(mm)	BaseVector North(mm)	BaseVector Height(mm)	Baseline Length(mm)	RMS(mm)
상용프로그램	0.0000	-0.6166	0.3000	0.6860	2.9
개발된 모니터링 프로그램	0.0000	0.0000	-0.0275	0.0280	2.1

3.3 24시간 연속 기선 해석 시험

개발된 GPS 모니터링 프로그램이 실 구조물에 적용되기 위해서는 일정기간 연속 측정이 가능하여야 한다. 이에 따라 실험을 위해 취득된 기준국과 5.517m 떨어진 임의 관측점에 GPS 안테나를 설치하여 24시간 연속으로 기선 해석하는 시험을 수행하였다. 2006년 3월 18일 하루 24시간의 데이터를 연속 수신하였고, 수신된 데이터는 30분마다 자동으로 Static 기선해석 처리되었으며, GPS 기선 해석 처리 조건으로 Elevation Mask는 10°, 데이터 수신 빈도는 1Hz 로 하였다. 측정된 데이터 처리 결과, 각 좌표성분들 간에 ±2mm 정도의 오차를 보였다.



그림. 4 관측점

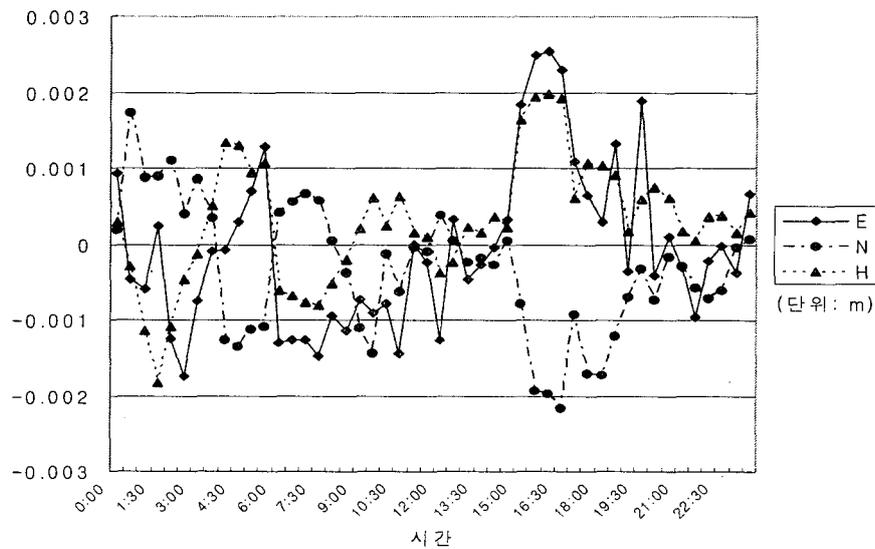


그림. 5 관측점의 BaseVector 변화

4. 결 론

저가형 L1 1주파 GPS를 이용하여 실제 구조물의 정적계측이 가능하도록 GPS 계측 모니터링 시스템을 구축하였고, 본 연구를 통해 개발된 모니터링 프로그램(PreventionSD)에 대한 성능 검증을 위해 영점 기선 거리 시험, 24시간 연속 기선 해석 시험을 수행하였다. 영점 기선 거리 시험에서는 상용프로그램과 개발된 모니터링 프로그램의 기선해석 처리 결과, RMS 값에서 0.8mm 이내의 오차를 보였고, 24시간 연속 기선 해석 시험 결과는 $\pm 2\text{mm}$ 정도의 오차를 보여 개발된 모니터링 프로그램이 실제 구조물에도 적용 가능함을 확인하였다.

향후 우리나라가 참여하는 Galileo(European Satellite Navigation System)등을 포함한 GNSS(Global Navigation Satellite System)의 현대화에 따라 구조물 계측 성능은 더욱 향상 될 것이고 GNSS 수신장치의 가격 역시 저렴하여 질 것으로 기대된다. 이러한 GNSS 발전 추세에 따라 GNSS를 이용한 계측 모니터링 기술개발과 연구도 지속적으로 추진되어야 할 것이다.

참고문헌

- 김성남, 박기정, 김종현, 강영종 (2004), 구조물 정적 변위 관측을 위한 1주파 GPS 활용 연구, 대한토목학회 정기학술대회, pp. 1175-1180.
- Mikhail, E. M. and Bethel, J. S. (2001), *Introduction to modern photogrammetry*, John Wiley & Sons, New York, pp. 263-265.
- B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and j. Collins (2001), *GPS Theory and Practice*, Springer-Verlag Wien New Work, pp. 189~252.
- Gilbert Strang and Kai Borre (1998), *Linear Algebra, Geodesy, and GPS*, Wellesley-Cambridge Press. pp. 481~505.
- P.J.G Teunissen, P.J.de Jonge and C.C.J.M. Tiberius, "Performance of the LAMBDA Method for Fast GPS Ambiguity Resolution", *Journal of The Institute of Navigation*, Vol. 44, No.3,1997 pp373-383.
- P.J.G. Teunissen, A.Kleusberg (1998), *GPS for Geodesy*, Springer, pp. 319~385.
- Paul de Jonge and Christian Tiberius(1996), *The LAMBDA method for integer ambiguity estimation: implementation aspects*, Technical report. LGR Series No. 12, Delft Geodetic Computing Centre, Delft University of Technology, The Netherlands. pp.1~45.