

저가형 수신기를 이용한 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위 정확도 분석 Analysis of Integrated GPS/GLONASS/BDS Positioning Accuracy using Low Cost Receiver

태현우* · 박관동** · 김미소***
Tac, Hyun U · Park, Kwan Dong · Kim, Mi So

요 旨

본 연구에서는 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위를 수행하기 위해 고려해야 할 사항을 소개하였으며, 저가형 수신기를 통해 개활지 환경과 난수신 환경에서의 통합 측위의 정확도를 분석하였다. 개활지 환경에서는 통합 측위 시 수평 RMSE가 1.2m로 단일 시스템만을 이용한 측위에 비해 수평 정확도가 17-55%만큼 향상되었으며 편향이 개선되어 높은 측위 성능을 나타내는 것을 확인하였다. 난수신 환경에서의 가시 위성 개수를 파악한 결과 단일 시스템을 이용하여 측위를 할 때에는 가시 위성의 개수가 4개 미만인 경우 측위가 되지 않는 경우가 발생했으나, 통합 측위를 할 때에는 가시 위성 개수가 항상 4개 이상이 되어 측위가 되지 않는 경우가 발생하지 않았다. 난수신 환경에서 통합 측위의 수평 RMSE는 6.4m로 단일 시스템만을 이용하여 측위를 수행했을 때보다 8-47%만큼 수평 정확도가 향상되는 것을 확인하였다.

핵심용어 : GPS, GLONASS, BeiDou, 코드 의사거리, 위성 가시성

Abstract

This paper explains major considerations for integrated GPS/GLONASS/BDS positioning, and then analyzes integrated GNSS positioning accuracies based on low-cost receivers in open-sky and poor reception environments. In an open-sky environment, horizontal RMSE of the integrated system positioning is about 1.2m. It shows improved result compared with single system positioning, the improvement ratio was 17-55%. In poor reception environments, we sometimes could not do positioning because the number of visible satellites gets below four. In an integrated positioning mode, the number of visible satellites was always higher than four, allowing us to find positions all the time. The horizontal RMSE of the integrated system positioning in poor reception environments is about 6.4m. Compared with single system positioning, the integrated system positioning shows better performance and the improvement ratio was 8-47% for the horizontal directions.

Keywords : GPS, GLONASS, BeiDou, Code Pseudo-range, Satellite Visibility

1. 서 론

미국의 GPS(Global Positioning System), 러시아의 GLONASS(GLObal NAVigation Satellite System), 중국의 BDS(BeiDou System), 유럽의 Galileo 등 세계 각국은 독자적인 위성항법시스템을 운용 중이거나 개

발을 진행 중이다. GPS는 1978년 첫 위성이 발사되어 지금까지 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 위성항법시스템이며 현재 32개의 위성이 운용되고 있다. GLONASS는 GPS 위성이 처음 발사된 지 4년 후인 1982년에 첫 위성을 발사하였으며, 2011년에 24개의 위성 시스템을 구축하여 현재까지 운용 중이다.

Received: 2015.11.11, revised: 2015.12.14, accepted: 2015.12.15

* 교신저자 · 정회원 · 인하대학교 공간정보공학과 석사과정(Corresponding author, Member, Master candidate, Dept. of Geoinformatic Engineering, Inha University, hyunwoo313@nate.com)

** 정회원 · 인하대학교 공간정보공학과 교수(Member, Professor, Dept. of Geoinformatic Engineering, Inha University, kdpark@inha.ac.kr)

*** 인하대학교 공간정보공학과 석사과정(Master candidate, Dept. of Geoinformatic Engineering, Inha University, miso890511@naver.com)

BDS는 중국의 독자적인 위성항법시스템으로 2000년부터 시스템을 구축하고 있으며, 2015년 현재 5개의 정지궤도(Geostationary Earth Orbit, GEO) 위성, 5개의 경사지구동기궤도(Inclined Geo-synchronous Orbit, IGSO) 위성, 그리고 4개의 중궤도(Medium Earth orbit, MEO) 위성을 운용 중이다. BDS는 GPS나 GLONASS와 달리 5개의 정지궤도 위성이 적도 상공 35,786km 고도의 58.75° E, 80° E, 110.5° E, 140° E, 160° E에 항상 위치하고 있다(CSNO, 2013). 따라서 국내를 포함한 아시아권 상공에는 3~5개의 정지궤도 위성이 항상 존재하기 때문에 측위 시 가시 위성 확보에 이점을 가지고 있다. 최근에 BDS가 운영되기 시작하면서 스마트폰을 포함한 저가형 측위 장비에서 GPS와 GLONASS 뿐만 아니라 BDS의 신호를 수신하는 장비가 늘어나고 있는 추세이다.

현재 개활지에서의 GPS의 C/A 코드를 이용한 측위의 수평 정확도는 1~3m 정도의 성능을 나타내지만 골목길이나 도심지와 같이 건물이나 나무 등에 의해 위성이 차폐되는 난수신 환경에서는 가시 위성의 개수가 4개 미만인 경우 위치 결정이 불가능하거나, 다중경로 오차의 영향으로 10~20m 정도의 수평 오차가 발생한다. GPS와 GLONASS, BDS는 총 70개의 위성을 운용하고 있기 때문에 세 위성항법시스템을 통합하여 측위에 이용할 경우 개활지에서는 20개 이상의 가시 위성이 확보될 수 있다. 또한 난수신 환경에서 단일 위성항법시스템을 이용할 때보다 많은 가시 위성이 확보되기 때문에 측위 환경이 개선되어 높은 측위 성능을 나타낼 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위를 수행하기 위해 고려해야 할 사항을 소개하였으며, 저가형 수신기를 통해 GPS와 GLONASS, BDS의 관측 데이터를 동시에 획득하여 단일 위성항법시스템만을 이용한 측위의 정확도와 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위의 정확도를 개활지와 난수신 환경 등 관측 환경에 따라 비교 및 평가하였다.

2. GPS/GLONASS/BDS 통합 측위를 위한 고려사항

GPS/GLONASS/BDS는 서로 다른 위성항법시스템

이기 때문에 통합 측위를 수행하기 위해서는 각 위성항법시스템의 서로 다른 부분을 일치시키는 과정이 필요하다. 각 위성항법시스템은 다른 좌표계를 사용하고 있으며, 사용하고 있는 기준시가 다르다. 또한 위성의 궤도와 궤도력의 전송 형태가 다르기 때문에 위성의 궤도를 시스템 별로 나누어 계산해 주어야 한다.

2.1 좌표계

GPS는 WGS84(World Geodetic System 1984)를 좌표계로 사용하는 반면에 GLONASS는 PZ90(Parametry Zemli 1990)을 좌표계로 사용하며, BDS는 CGCS2000(China Geodetic Coordinate System 2000)을 좌표계로 사용한다. WGS84와 PZ90, CGCS2000의 파라미터는 Table 1과 같다.

각 위성항법시스템을 통합하기 위해서는 각기 다른 좌표계를 변환하는 과정이 필요하다. 좌표계를 통합하기 위해 식 (1)을 사용하여 PZ90을 WGS84로 변환하는 과정을 수행하였다(Bazlov et al., 1999). 한편 Dou(2015)에 의하면 WGS84와 CGCS2000의 차이는 위경도에 따라 0~0.105mm에 불과하다. 두 좌표계에 따른 오차가 매우 작기 때문에 본 연구에서는 WGS84와 CGCS2000의 차이를 무시하고 좌표계 통합을 진행하였다.

$$\begin{bmatrix} X_{WGS84} \\ Y_{WGS84} \\ Z_{WGS84} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.1m \\ -0.3m \\ -0.9m \end{bmatrix} + (1 - 0.12 \times 10^{-6}) \quad (1)$$

$$\times \begin{bmatrix} 1 & -0.82 \times 10^{-6} & 0 \\ 0.82 \times 10^{-6} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{PZ90} \\ Y_{PZ90} \\ Z_{PZ90} \end{bmatrix}$$

2.2 시간계

GPS는 1980년 1월 6일 0시의 UTC(Coordinated Universal Time)를 기준으로 하는 GPST(GPS Time)를 기준 시간계로 설정하였으며, GLONASS는 UTC(SU)를 기준 시간계로 채택하였다(Lewandowski and Arias, 2011). Habrich(1999)에 따르면 GPST와 GLONASS Time(GLOT)은 식 (2)와 같은 변환을 통하여 일치시킬 수 있다. 식 (2)에서 τ_c 는 UTC(SU)와

Table 1. Parameters of WGS84, PZ90, and CGCS2000

Parameter	WGS84	PZ90	CGCS2000
$a(m)$	6378137	6378136	6378137
f	1/298.257223563	1/298.257839303	1/298.257222101
$\mu(m^3/s^2)$	3.986005×10^{14}	3.9860044×10^{14}	$3.986004418 \times 10^{14}$
$\dot{\Omega}_c(rad/s)$	$7.2921151467 \times 10^{-5}$	7.292115×10^{-5}	7.2921150×10^{-5}

GLOT의 차이로 방송궤도력에서 하루마다 갱신되어 전송되며, τ_u 는 UTC와 UTC(SU)의 차이이다. Ineichen et al.(2000)에 따르면 UTC와 UTC(SU)는 100ns 미만의 시간차가 발생한다. τ_g 는 관측 시점의 GPST와 UTC 사이의 윤초이다. UTC는 윤초가 발생할 때마다 이를 반영하여 수정하지만 GPST는 윤초를 반영하지 않는다. 따라서 GPS와 GLONASS의 시간계는 1980년 1월 6일 0시부터 현재까지 발생한 윤초만큼 시간차가 존재한다.

$$GPST = GLOT + \tau_c + \tau_u + \tau_g \quad (2)$$

$$\tau_c : UTC(SU) - GLOT$$

$$\tau_u : UTC - UTC(SU)$$

$$\tau_g : \Delta tLS_{1980-2015}$$

BDS는 2006년 1월 1일 0시의 UTC를 기준으로 한 BDST(BDS Time)를 시간계로 채택하였다. 식 (3)은 UTC에 대하여 GPST와 BDST를 나타낸 것이며, $\Delta tLS_{2006-2015}$ 는 2006년부터 현재까지 발생한 윤초를 뜻한다.

$$BDST = UTC + \Delta tLS_{2006-2015} \quad (3)$$

BDST도 GPST와 마찬가지로 윤초를 반영하지 않는다. GPST와 BDST는 식 (4)와 같이 1980년 1월 6일 0시부터 2006년 1월 1일 0시까지 발생한 윤초만큼의 시간차가 존재하므로 이를 고려해야 한다.

$$GPST - BDST = \Delta tLS_{1980-2006} \quad (4)$$

2.3 위성 좌표 계산

GPS와 BDS의 방송궤도력은 케플러 궤도요소와 섭동량 보정계수 등이 포함되어 있으며, 각각 2시간과 1시간 간격으로 전송한다. 방송궤도력에 포함된 파라미터를 이용하여 케플러 방정식을 통해 GPS 위성과 BDS 위성의 좌표 계산이 가능하다. 모든 GPS 위성은 20,200km의 중궤도 위성인 반면, BDS 위성은 정지궤도 위성, 경사지구동기궤도 위성, 중궤도 위성 세 종류로 구성되어 있다. BDS의 경사지구동기궤도 위성과 중궤도 위성의 좌표는 GPS 위성의 좌표를 계산하는 방식과 같은 방법으로 계산할 수 있지만 BDS의 정지궤도 위성의 좌표는 다른 과정을 통해 계산해야 한다. BDS의 정지궤도 위성의 좌표를 구하기 위한 승교점 적경 Ω_k 를 식 (5)로 나타낼 수 있다(CSNO, 2013). 식 (5)에

서 Ω_0 는 춘분점에서 승교점까지의 각이며 $\dot{\Omega}$ 는 적경 변화율, $\dot{\Omega}_e$ 는 CGCS2000 기준의 지구 자전속도이다. t_k 는 위성으로부터 신호를 송신한 시각이며, t_{oe} 는 궤도력의 기준 시각이다.

$$\Omega_k = \Omega_0 + (\dot{\Omega} - \dot{\Omega}_e)t_k - \dot{\Omega}_e t_{oe} \quad (5)$$

승교점 적경 Ω_k 를 이용하여 초기 시스템의 정지궤도 위성의 좌표 X_{Gk}, Y_{Gk}, Z_{Gk} 를 구하면 식 (6)과 같다. 식 (6)에서 x_k, y_k 는 궤도 평면의 위치 좌표이며 i_k 는 보정된 궤도 경사각이다.

$$\begin{aligned} X_{Gk} &= x_k \cos \Omega_k - y_k \sin \Omega_k \\ Y_{Gk} &= x_k \sin \Omega_k + y_k \cos \Omega_k \end{aligned} \quad (6)$$

$$Z_{Gk} = y_k \sin i_k$$

이를 이용한 BDS의 정지궤도 위성의 좌표 X_k, Y_k, Z_k 는 식 (7)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{bmatrix} = R_Z(\dot{\Omega}_e t_k) R_X(-5^\circ) \begin{bmatrix} X_{Gk} \\ Y_{Gk} \\ Z_{Gk} \end{bmatrix} \quad (7)$$

식 (7)에서 R_X 와 R_Z 는 식 (8)과 식 (9)와 같다.

$$R_X(\phi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$R_Z(\phi) = \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi & 0 \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

GLONASS의 방송궤도력은 매 시 15분과 45분마다 전송 시점의 좌표, 속도, 그리고 태양과 달에 의한 가속도 등을 전송한다. GPS와 BDS의 위성 좌표를 계산하기 위해 케플러 방정식을 사용하는 것에 비해 GLONASS 위성의 좌표를 구하려면 수치적분법을 사용해야 한다. GLONASS의 위성 좌표 계산에는 다양한 수치적분법이 사용되고 있으나, 본 연구에서는 4차 Runge-Kutta 수치적분법을 사용하여 위성 좌표를 계산하였다(RISDE, 2008).

3. GPS/GLONASS/BDS 통합 측위 정확도 분석

저가형 수신기를 이용한 C/A 코드 기반 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위의 성능을 검증하기 위하여 개활지 환경과 신호 차폐 환경에서 측량을 실시하였으며, 측량을 통해 획득한 데이터를 이용하여 단일 시스템 측위의 정확도와 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위의 정확도를 비교하였다.

사용한 수신기는 ComNav사의 K500 수신기(Fig. 1)로 GPS L1, GLONASS L1, BDS B1 데이터를 동시에 수신할 수 있는 저가형 수신기이다. 개활지 환경으로 인하대학교 39동 옥상에 위치한 정밀좌표를 알고 있는 측점을 선정하여 UTC 기준 2015년 10월 2일 08시 19분부터 12시 16분까지 약 4시간 동안 1초 간격으로 데이터를 획득하였다. 위성 신호가 차폐되는 난수신 환경으로는 인천광역시 남구 용현동 경인남길 30번길과 인하로 105번길이 교차되는 지점에 위치한 정밀좌표를 알고 있는 측점을 선정하였으며, 2015년 10월 3일 09시 03분부터 12시 14분까지 약 3시간 동안 1초 간격으로 데이터를 획득하였다. 측위는 획득한 RINEX (Receiver independent Exchange Format) 관측 데이터를 사용하여 최소제곱추정법으로 계산하였다. 관측 데이터에 포함된 이온층 오차를 보정하기 위해 Klobuchar 모델을 적용하였으며, 대류권 오차를 보정하기 위해 GPT(Global Pressure and Temperature) 모델을 적용하였다. 또한 위성의 고도각이 낮을수록 다중경로오차와 대류권 오차의 영향을 많이 받기 때문에 위성의 고도각이 높을수록 가중치를 크게 부여하였으며, 임계고도각을 15도로 설정하여 이보다 낮은 고도각의



Figure 1. ComNav K500 OEM Board

위성 신호를 측위에 반영하지 않았다. 계산된 좌표의 정확도를 확인하기 위해 반송파 기반의 후처리 상대 측위를 통해 산출한 정밀좌표를 참값으로 이용하여 RMS(Root Mean Square) 오차를 계산하였다.

3.1 개활지 환경에서의 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위 정확도 분석

본 연구에 사용된 수신기의 기본적인 측위 성능을 파악하기 위하여 개활지 환경에서의 측위를 수행하였다. Fig. 2는 개활지 환경에서 단일 시스템 측위와 통합 측위를 수행한 결과의 수평 정확도와 시계열 정확도를 나타낸 것이다. Fig. 2를 통해 단일 시스템만을 이용한 측위는 통합 측위에 비해 수평 정확도가 낮으며 수평 성분의 편향이 크게 발생한 것을 확인할 수 있다. GPS의 측위 결과는 GLONASS와 BDS의 측위 결과에 비해 편향이 작고 높은 정밀도를 나타낸다. GLONASS의 측위 결과는 상대적으로 산포도가 낮고 북쪽과 남쪽 방향으로 넓게 분포하며 BDS의 측위 결과는 서쪽으로 크게 편향된 것을 확인할 수 있다. 이에 비해 통합 측위의 결과는 각 위성항법시스템의 측위 결과보다 정밀도가

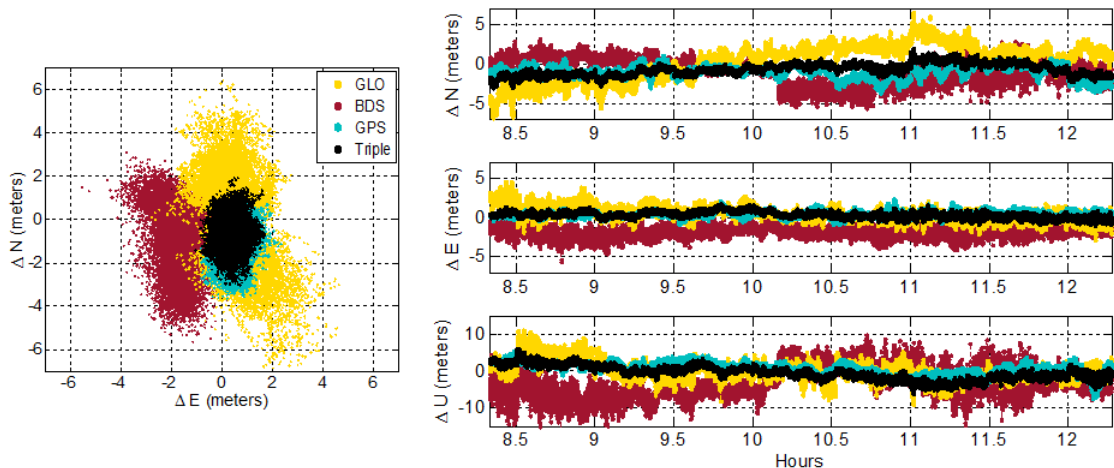


Figure 2. Horizontal errors (left) and time series of positioning errors in each direction (right)

Table 2. Comparison of positioning errors of single systems and integrated system in open land environment (m)

Satellite system	Horizontal	Vertical	3-D
GPS	1.39	1.84	2.31
GLONASS	2.51	2.75	3.72
BDS	2.55	5.12	5.72
Triple	1.16	1.95	2.27

높으며 편향이 작은 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위는 좌표 시계열의 산포도가 낮고 비교적 안정된 측위 결과를 나타내는 것을 알 수 있다.

Table 2는 앞서 수행한 개활지 환경에서의 단일 시스템 측위와 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위의 RMS(Root Mean Square) 오차를 나타낸 것이다. 수평 RMS 오차의 경우 GPS 측위 시에는 1.39m, GLONASS 측위 시에는 2.51m, 그리고 BDS 측위 시에는 2.55m를 나타냈다. 이에 비해 GPS와 GLONASS, BDS를 통합하여 측위를 수행한 경우 수평 RMS 오차는 1.16m로 단일 시스템만을 이용할 때보다 오차가 감소하여 17-55%만큼 수평 측위 정확도가 더 높은 것으로 나타났다. 또한 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위의 수직 RMS 오차는 1.95m로 GPS의 측위 결과와 유사한 정확도를 나타내지만 GLONASS와 BDS의 측위 결과보다 29-62%만큼 향상 되었으며, 3차원 정확도는 각 단일 시스템 측위보다 2-60%만큼 향상되는 것을 확인할 수 있다.

이 결과를 통해 개활지 환경에서 저가형 수신기를 이용하여 측위를 수행할 경우 단일 시스템만을 이용하여 측위할 때보다 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위를 할 때 높은 측위 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

3.2 난수신 환경에서의 측위 성능 분석

저가형 수신기를 이용하여 난수신 환경에서의 측위를 수행하기 위해 수신된 데이터를 처리하기에 앞서 데이터에 관측된 가시 위성의 개수를 분석하였다. 도심의 경우 건물에 의해 위성이 차폐되면서 가시 위성의 개수가 적게 되어 측위 정확도가 크게 떨어지거나 측위 자체가 불가능한 상황이 발생한다. Fig. 3은 GPS와 GLONASS, BDS 각 시스템 별로 난수신 환경에서 시간이 흐름에 따라 관측된 가시 위성의 개수를 30초 간격으로 나타낸 것이다. 각 시스템 별로 난수신 환경에서의 관측 시간 중 가시위성이 4개 이상인 예폭의 수를 분석한 결과 GPS가 66%, GLONASS가 47%, BDS가 33%의 관측률을 나타냈다. 이에 비해 GPS와 GLONASS,

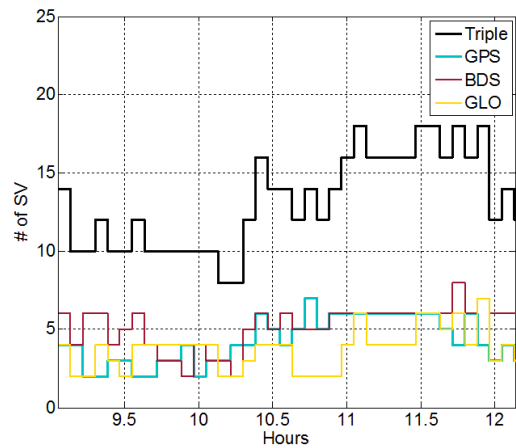


Figure 3. Number of visible satellite in poor reception environment

BDS를 통합하였을 때에는 가시 위성의 개수가 4개 미만인 구간이 전혀 발생하지 않았으며 대부분의 구간에서 안정적으로 10개 이상의 위성이 관측되는 것을 확인할 수 있다.

3.2.1 난수신 환경에서의 위성항법시스템 별 측위 성능 분석

Fig. 4는 난수신 환경에서의 각 위성항법시스템 별로 관측된 가시 위성의 개수와 수평 시계열 오차를 함께 나타낸 것이다. 가시 위성의 개수는 30초 간격으로 나타내었으며, 수평 시계열 오차는 1초 간격으로 나타내었다.

GPS의 경우 10시 10분에서 10시 40분 사이에 가시 위성이 1-2개가 되어 측위가 수행되지 않았다. 또한 측위가 수행되는 구간에서도 가시 위성의 개수가 급격히 변화에 따라 측위 오차가 크게 발생하였다. GLONASS는 전체적으로 가시 위성의 개수가 자주 변하여 측위가 불안정하게 수행되는 것을 확인하였다. 또한 GPS와 마찬가지로 가시 위성의 개수가 4개 미만인 구간에서는 측위가 수행되지 않았다. BDS의 경우 가시 위성이 적어 대부분의 구간에서 측위가 수행되지 않았다. 이 결과를 통해 난수신 환경에서 단일 시스템만을 이용하여 측위를 수행할 경우 Fig. 3에서 분석한 바와 같이 관측률이 33-66%로 떨어져 낮은 측위 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

본 연구에 사용된 난수신 환경에서의 데이터는 위성으로부터 수신된 신호이지만 다중경로오차로 인해 수신된 위성의 신호가 포함되어 있기 때문에 관측 시에 실제로 존재한 가시 위성의 개수와 기록된 위성 개수의

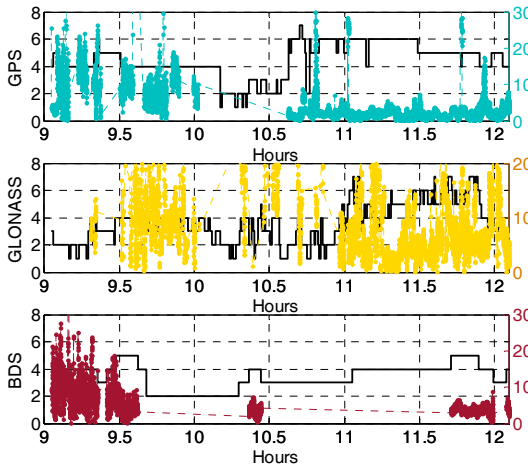


Figure 4. Number of visible satellites and time series positioning errors of a single system in poor reception environment

차이가 발생할 수 있다. BDS에서 11시부터 11시 40분까지의 구간에서는 가시 위성의 개수가 4개임에도 측위가 수행되지 않은 것을 확인할 수 있다. 이러한 구간에서는 위성의 신호는 수신되었으나 다중경로오차로 인해 수신된 신호이기 때문에 측위가 수행되지 않은 것으로 판단할 수 있다.

3.2.2 난수신 환경에서의 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위 성능 분석

Fig. 5는 난수신 환경에서 환경에서 단일 시스템 측위와 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위를 수행한 결과의 수평 정확도와 시계열 정확도를 나타낸 것이다. 난

수신 환경에서 단일 시스템을 이용하여 측위를 수행한 결과는 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위를 수행했을 때에 비하여 수평 정확도가 매우 낮으며 편향이 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 또한 시계열 정확도를 봤을 때 단일 시스템 측위의 경우 시간이 흐르면서 측위가 수행되지 않는 구간이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이는 앞서 Fig. 3에서 확인한 바와 같이 난수신 환경에서 단일 시스템의 가시 위성 개수가 4개 미만인 구간이 존재하기 때문인 것으로 판단된다. 이에 비해 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위는 측위가 수행되지 않는 구간이 발생하지 않는 것을 확인할 수 있다. 이를 통하여 난수신 환경에서 저가형 수신기를 이용한 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위는 단일 시스템 측위에 비해 높은 수평 정확도를 나타내며, 단일 시스템으로 측위가 불가능한 구간에서도 가시 위성 개수가 확보되어 높은 측위 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

난수신 환경에서 수행한 단일 시스템 측위와 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위의 RMS 오차를 Table 3으로 나타내었다. 수평 RMS 오차의 경우 GPS 측위 시에는 7.01m, GLONASS 측위 시에는 13.20m, 그리고 BDS 측위 시에는 6.94m를 나타냈다. 이에 비해 통합 측위 시에는 6.38m를 나타내어 수평 측위 정확도가 8-47%만큼 향상되었다. 수직 RMS 오차와 3차원 RMS 오차 또한 통합 측위를 수행하였을 때 큰 폭으로 오차가 감소된 것을 확인할 수 있다. 이 결과를 통해 난수신 환경에서 저가형 수신기를 이용하여 측위를 수행할 경우 단일 시스템만을 이용하여 측위를 수행하는 것보다 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위를 수행하는 것이 보다 높은 측위 정확도를 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

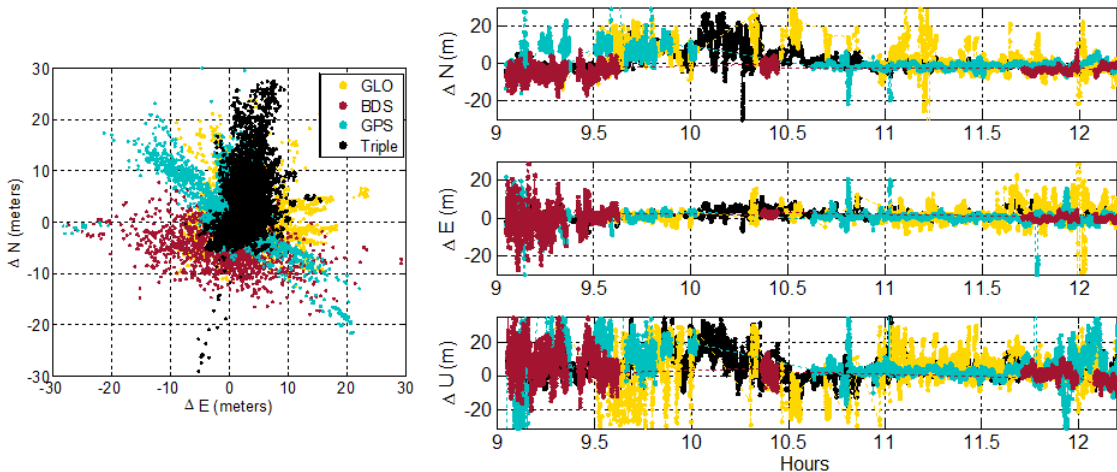


Figure 5. Horizontal errors (left) and time series of positioning errors in each direction (right)

Table 3. Comparison of positioning errors of a single systems and an integrated system in poor reception environment (m)

Satellite system	Horizontal	Vertical	3-D
GPS	7.01	17.31	18.67
GLONASS	13.20	11.18	17.30
BDS	6.94	9.32	11.62
Triple	6.38	8.70	10.79

4. 결론

본 연구에서는 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위 시 고려해야 할 사항에 대해 소개하였으며 저가형 수신기를 이용하여 개활지 환경과 난수신 환경에서의 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위의 성능을 분석하였다. 저가형 수신기로 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위를 수행한 결과, 단일 시스템만으로 측위를 수행했을 때보다 개활지 환경과 난수신 환경 모두에서 8-55%만큼 수평 정확도가 향상되었으며, 수직 및 3차원 정확도 또한 대부분 향상된 결과를 나타냈다. 난수신 환경에서 단일 시스템만으로 측위를 수행하면 가시 위성의 개수가 4개 미만이 되는 시간대가 발생하여 관측률이 33-66%에 불과하지만 통합 측위를 수행했을 때에는 가시 위성의 개수가 4개 미만이 되는 시간대가 없어 측위가 불가능한 구간이 발생하지 않았으며 높은 측위 정확도가 나타나는 것을 확인하였다. 본 연구를 통해 저가형 수신기를 이용하더라도 GPS와 GLONASS, BDS를 통합하여 측위함으로써 높은 측위 성능을 확보할 수 있으며, 가시 위성이 확보되기 어려운 난수신 환경에서도 측위가 되지 않는 구간이 없이 연속적인 측위가 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원의 국토공간정보연구사업 연구비지원(15NSIP-B082188-02)에 의해 수행되었습니다.

References

1. Bazlov, Y., Galazin, V., Kaplan, B., Maksimov, V. and Roguzin, V., 1999, GLONASS to GPS: A new coordinate transformation, GPS world, pp. 54-58.
2. Dou, J., 2015, Performance of GPS and partially deployed BeiDou for real-time kinematic positioning in Western Canada, Master's Thesis, University of Calgary, pp. 19-20.
3. Habrich, H., 1999, Geodetic applications of the global navigation satellite system(GLONASS) and of GLONASS/GPS combinations, Doctoral Thesis, University of Berne.
4. CSNO, 2013, BeiDou Navigation Satellite System Signal In Space Interface Control Document - Open Service Signal.
5. RISDE, 2008, GLONASS Interface Control Document(Version 5.1).
6. Ineichen, D., Rothacher, M., Springer, T. and Beutler, G., 2000, Computation of precise GLONASS orbits for IGEX-98, Proc. of IAGS 2000, International Association of Geodesy Symposia, Vol. 121, pp. 26-31.
7. Lewandowski, W. and Arias, E. F., 2011, GNSS times and UTC, Metrologia, Vol. 48, No. 4, pp. 219-224.