

RF 신호 수집/방송 장치를 활용한 의사위성 기반 광역보정시스템의 후처리 성능 검증

한덕화* · 윤호** · 김종원*** · 김오종**** · † 기창돈

*, **, ***, **** 서울대학교 기계항공공학부, 항공우주신기술 연구소, † 서울대학교 기계항공공학부, 항공우주신기술 연구소

Performance Verification of Pseudolite-based Augmentation System Using RF signal logger and broadcaster

Deok-Hwa Han* · Ho Yun** · Chong-Won Kim*** · O-Jong Kim**** · † Chang-Don Kee

*, **, ***, **** Mechanical and Aerospace Engineering and the Institute of Advanced Aerospace Technology, Seoul National University, Seoul 151-744, Korea

† Mechanical and Aerospace Engineering and the Institute of Advanced Aerospace Technology, Seoul National University, Seoul 151-744, Korea

요 약 : 광역보정시스템은 GPS와 같은 위성항법을 이용하는 사용자의 정확성, 무결성을 개선시키기 위하여 고안된 시스템이다. 본 논문에서는 개발된 의사위성 기반의 광역보정시스템의 전체 구조에 대하여 설명하고, 후처리 기반으로 상용 수신기에 대하여 성능 테스트를 수행하는 실험 방법 및 결과에 대하여 설명한다. 보정정보 생성을 위하여 총 5개의 NDGPS 기준국에서 수집되는 데이터가 활용되었으며 이를 광역기준국, 중앙처리국 소프트웨어에서 처리하였다. 생성된 보정정보는 SP3, IONEX 데이터와 비교하여 정확도를 테스트하였다. 상용 수신기 실험에서는 사용자의 RF 신호를 수집, 보정정보를 생성하였으며, 이후에 RF신호와 보정정보가 실린 의사위성 신호를 동시에 방송하여 테스트를 수행하였다. 테스트는 3대의 상용수신기를 활용하여 수행되었으며 MSAS, GPS 단독 측위 수신기와 비교하여 성능을 검증하였다. 각 수신기의 위치해 출력 결과로부터 위치오차를 비교하였으며 보정정보를 적용함으로써 향상된 위치해가 출력됨을 확인하였다.

핵심용어 : 위성항법 시스템, 광역보정 시스템, 의사위성, 의사위성 기반 광역보정 시스템, 신호 수집 장치, 신호 방송 장치

Abstract : Wide Area Differential GNSS(WA-DGNSS) was developed in order to improve the accuracy and integrity performance of GNSS. In this paper, overall structure of Pseudolite-Based Augmentation System(PBAS) and experimental methods which enables the post-processing test with commercial receiver will be described. For generating augmenting message, GPS measurement collected from five NDGPS reference stations were processed by reference station S/W and master station S/W. The accuracy of augmenting message was tested by comparing SP3, IONEX data. In the test, RF signal of user was collected and correction data were generated. After that, RF signal was broadcasted with pseudolite signal. Test was conducted using three commercial receiver and the performance was compared with MSAS and standalone user. From the position output of each receiver, it was shown that improved position was obtained by applying augmenting message.

Key words : GNSS, WA-DGNSS, pseudolite, PBAS, RF signal logger, RF signal broadcaster

1. 서 론

최근 위성항법은 사회의 필수 인프라로 자리 잡았으며 다양한 분야에서 점점 활용 영역을 넓혀가고 있다. 그 중에서 항공기 및 선박의 정밀 접근과 같이 높은 정확도를 요구하는

활용 분야가 점점 늘어나고 있으며 이러한 요구조건을 만족시키기 위하여 위성항법의 오차를 제거하기 위한 위성항법 보정시스템이 등장하였다. 그 중에서 광역보정시스템은 기존의 지역보정시스템의 한계를 극복하기 위하여 고안된 시스템으로 상대적으로 훨씬 적은 기준국을 활용하여 넓은 지역에 대해

* 연회원, gksejrhk@snu.ac.kr 02)880-7395

** 연회원, yunho3@snu.ac.kr 02)880-7395

*** 연회원, nan772@snu.ac.kr 02)880-7395

**** 연회원, laywind0@snu.ac.kr 02)880-7395

† Corresponding author : 연회원, kee@snu.ac.kr 02)880-1912

주) 이 논문은 "RF 신호 수집/방송 장치를 활용한 의사위성 기반 광역보정시스템의 후처리 성능 검증"이란 제목으로 "2014 춘계 공동학술대회 한국항해항만학회논문집(한국해양대학교, 2014.6.12.-13, pp. 103-104)"에 발표되었음.

균일한 성능의 보정정보를 제공한다. 광역보정시스템은 이미 미국을 시작으로 유럽, 일본에는 구축되어 운영되고 있으며 우리나라에서도 광역보정시스템 구축을 위한 연구가 진행되고 있다. 2003년~2005년에는 한반도 지역에서 광역보정시스템 알고리즘을 적용하여 가능성 테스트를 수행한 바 있으며, 2010년부터는 위성 기반 광역보정시스템 개발을 위한 선행 단계로 의사위성 기반의 광역보정시스템(K-PBAS) 개발이 진행 중이다(Yun et al., 2013; Han et al., 2014). 이전 연구에서는 자체 개발된 사용자 소프트웨어를 통하여 성능 테스트를 수행한 반면에 현재 연구에서는 NDGPS 기준국 인프라를 활용하여 실제 수집되는 GPS 측정치 기반으로 보정정보를 생성하고, 실시간으로 의사위성을 통해 방송함으로써 실제 상용수신기로 광역보정시스템과 동일한 환경에서 개발된 시스템의 성능 검증을 수행하는 것을 목표로 하고 있다.

본 논문에서는 현재까지 개발된 의사위성 기반의 광역보정시스템의 구성 및 보정정보 생성 알고리즘에 대하여 설명하였다. 생성된 보정정보의 정확도에 대해서는 IGS(International GNSS Service)에서 후처리로 제공되는 정밀 데이터를 활용하여 확인하였다. 최종적으로는 상용 수신기에 대하여 RF수집 및 방송 장치를 활용하여 수행한 후처리 실험 결과를 제시하였다.

2. 의사위성 기반 광역보정시스템

광역보정시스템은 사용자에게 위성관련 오차, 전리층 관련 오차를 분리하여 위성관련 오차는 3차원 벡터량, 전리층 관련 오차는 격자모델로 추정하여 제공한다. 사용자는 보정정보를 수신한 이후 각 위성의 가시선 방향으로 보정정보를 변환하여 의사거리 보정정보를 생성하여 사용하게 된다. 일반적으로 광역보정시스템은 Fig. 1과 같이 광역기준국(WRS), 중앙처리국(WMS), 지구국(ES), 정지궤도 위성(GEO)으로 구성된다. 광역기준국은 GNSS 신호 측정치를 수집하는 역할을 하고, 중앙처리국은 수집된 측정치를 바탕으로 오차 보정정보를 생성한다. 지구국에서는 생성된 보정정보를 정지궤도 위성으로 전송하며 정지궤도 위성은 GPS 위성과 동일한 L1 주파수로 보정정보를 방송한다.

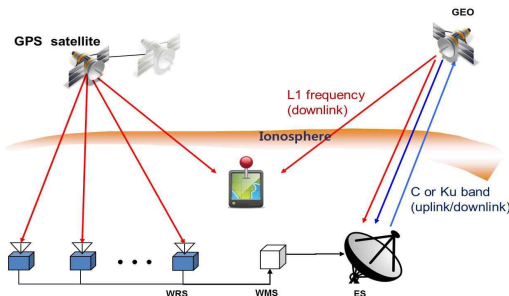


Fig. 1 The architecture of satellite-based augmentation system

의사위성 기반의 광역보정시스템은 지상 시스템의 구성은 위성기반 광역보정시스템과 동일하나 보정정보의 전달을 정지궤도 위성이 아닌 의사위성으로 대체한 시스템이다. 지상의 특정 지역에 대하여 의사위성을 설치하여 보정정보를 방송하고 의사위성 신호 수신 지역에서는 실제 광역보정시스템의 환경과 유사한 환경에서 성능을 테스트할 수 있게 된다. Fig. 2은 의사위성 기반 광역보정시스템의 구조를 나타낸 것이다.

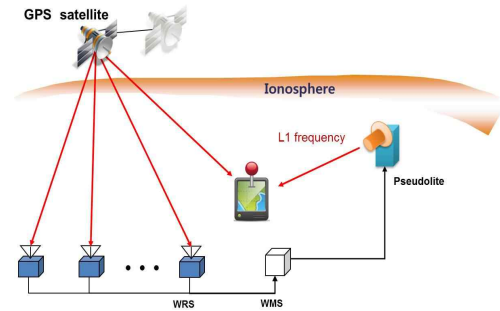


Fig. 2 The architecture of pseudolite-based augmentation system

의사위성 기반의 보정정보 방송 시스템은 시험 평가뿐만 아니라 정지궤도 위성의 신호가 차단되는 지역에 대한 백업 시스템으로서도 활용 될 수 있다.(Ruizhi Chen et al., 2007)

3. 보정정보 생성

3.1 광역기준국

본 연구에서는 NDGPS 기준국 인프라를 활용하여 광역 기준국 환경을 구성하였다. NDGPS 기준국에서 수신되는 GPS 측정치는 위성항법 중앙사무소에서 NTRIP(Networked Transport of RTCM via Internet Protocol)시스템을 활용하여 BINEX(BINARY Exchange Format) 형식으로 방송되며 기준국 소프트웨어에서 이를 수신하여 전처리 과정을 수행하게 된다. 전처리 과정에서는 수집된 측정치와 GPS 궤도 정보의 유효성을 판단하는 작업과 Weighted Hatch Filter를 통하여 의사거리 측정치 잡음 제거하는 작업이 수행된다(Kee et al., 1996). 최종적으로 중앙처리국 소프트웨어로 위성궤도 정보, GPS 측정치, 오차정보가 전달되는데 전리층 지연오차는 필터링 된 L1, L2 의사거리 측정치를 활용하여 추정되었으며 대류층 지연 오차는 Hopfield 모델을 이용하여 추정되었다(Lee, 2002). Fig. 3은 기준국 소프트웨어의 다이어그램을 나타낸 것이다.

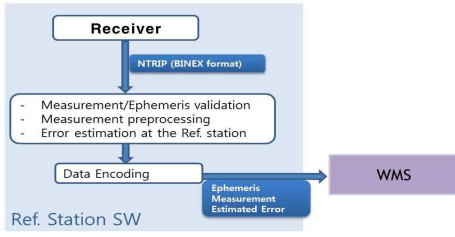


Fig. 3 Reference station software diagram

3.2 중앙처리국

중앙처리국 소프트웨어에서는 각 기준국으로부터 데이터를 수신 받은 이후에 우선적으로 데이터간 시간을 일치시키는 작업을 수행한다. 이후 격자 전리층 지연 추정을 위하여 각 기준국의 IFB(Inter Frequency Bias)를 추정한다. 각 전리층 지연 측정치에 대하여 추정된 IFB를 제거해 준 이후에 격자점에 대한 전리층 지연 추정이 이루어지며 격자점의 전리층 지연 추정에는 가중치 보간법이 이용되었다(Chao Y., 1997). Fig. 4와 같이 특정 반경 안에 들어오는 전리층 지연 측정치들을 보간하여 사용하며 식 (1)~(3)과 같이 계산이 된다.

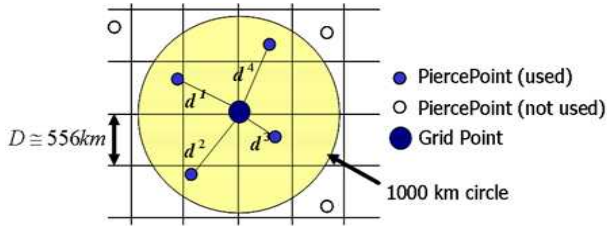


Fig. 4 Conceptual figure of grid point and pierce point

$$I_{Grid, V} = I_{Klob}^{Grid} \frac{\sum_{k=1}^K \left[\left(\frac{I_{meas, V}^k}{I_{Klob, V}^k} \right) \cdot w_k \right]}{\sum_{k=1}^K w_k} \quad (1)$$

$$w_k = \left(\frac{\Delta_k}{\sigma_k} \right)^2 \quad (2)$$

$$\Delta_k = \exp \left[- (d_k / 2D)^2 \right] \quad (3)$$

- $I_{Grid, V}$: 격자점에서 추정된 수직 전리층 지연
- I_{Klob}^{Grid} : 격자점에서 Klobuchar model을 이용하여 추정된 수직 전리층 지연
- $I_{Klob, V}^k$: 측정치의 전리층 통과점에서 Klobuchar model을 이용하여 추정된 수직 전리층 지연
- $I_{meas, V}^k$: 측정된 수직 전리층 지연
- w_k : 각 측정치에 대한 상대적인 가중치
- d_k : 격자점에서 전리층 통과점까지의 거리

K : 측정치 수

위성의 궤도 및 시계 오차 추정은 의사거리 측정치에서 전리층 지연, 대류층 지연 오차를 제거한 이후에 각 기준국의 시계오차와 함께 추정이 된다. 전리층 지연과 대류층 지연이 제거된 의사거리 측정치는 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho_{ij} = D_{ij} \cdot e_{ij} - b_j + B_i + v_{ij} \quad (4)$$

$$= [(R_j + \delta R_j) - S_i] \cdot e_{ij} - b_j + B_i + v_{ij}$$

- ρ_{ij} : i 번째 기준국에서 측정된 j 번째 위성의 의사거리 측정치
- D_{ij} : i 번째 기준국에서 j 번째 위성까지의 거리 백터
- e_{ij} : i 번째 기준국에서 j 번째 위성까지의 단위 백터
- R_j : GPS 방송 메시지로부터 계산되는 j 번째 위성의 위치백터
- δR_j : j 번째 위성의 궤도 오차 백터
- S_i : j 번째 기준국의 위치 백터
- b_j : j 번째 위성의 시계오차에 의한 거리 오차
- B_i : i 번째 기준국 수신기 시계오차에 의한 거리오차
- v_{ij} : 측정치 잡음

위 측정치 식을 미지수와 알고 있는 값으로 분류하고 모든 측정치에 대하여 행렬식으로 정리하면 식 (5),(6)과 같다.

$$x = [\delta R^T \ b^T \ B^T]^T \quad (5)$$

$$\delta R = [\delta R_1^T \ \delta R_2^T \ \dots \ \delta R_m^T]^T$$

$$b = [b_1 \ b_2 \ \dots \ b_m]^T$$

$$B = [B_1 \ B_2 \ \dots \ B_{n-1}]^T.$$

$$\begin{bmatrix} E_1 & -I & I_1 \\ E_2 & -I & I_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ E_n & -I & I_n \end{bmatrix} x = D - \begin{bmatrix} E_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & E_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_n \end{bmatrix} P \quad (6)$$

$$E_i = \begin{bmatrix} e_{i1}^T & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_{i1}^T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_{i1}^T \end{bmatrix}$$

$$I_i = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 1 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \text{ } i\text{번째 열이 1로 이루어진 행렬}$$

$$D = [D_1^T \ D_2^T \ \dots \ D_n^T]^T$$

$$D_i = [\rho_{i1} \ \rho_{i2} \ \dots \ \rho_{im}]^T$$

$$P = [P_1^T \ P_2^T \ \dots \ P_4^T]^T$$

$$P_i = [(R_1 - S_i)^T \ (R_1 - S_i)^T \ \dots \ (R_1 - S_i)^T]$$

추정방법으로는 메시지 크기 및 해의 연속성 문제를 고려하여 최소분산 불편이 추정기법이 사용되었으며 벡터 z 와 행렬 H 를 식 (7), (8)과 같이 정의하면 추정식은 식 (9), (10)과 같다(Kim, 2007; Tsai Y, 1999).

$$z = D - \begin{bmatrix} E_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & E_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_n \end{bmatrix} P \quad (7)$$

$$H = \begin{bmatrix} E_1 & -I & I_1 \\ E_2 & -I & I_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ E_n & -I & I_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$z = Hx \quad (9)$$

$$\hat{x} = \Lambda H^T (H \Lambda H^T + W)^{-1} z \quad (10)$$

W : 측정치 잡음의 공분산 행렬(= $E[vv^T]$).

Λ : 오차의 공분산 행렬(= $E[xx^T]$).

생성된 보정정보는 RTCA(2006)의 표준 형식에 따라 인코딩 되어 의사위성으로 전달된다. Fig. 5는 중앙처리국 소프트웨어 다이어그램을 나타낸 것이다.

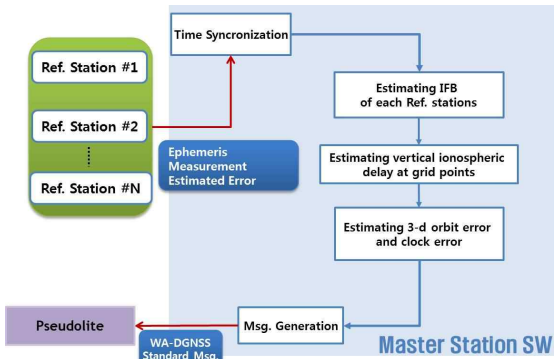


Fig. 5 Reference station software diagram

4. 후처리 성능평가

4.1 실험 설계

개발된 시스템의 성능 평가는 실제 GPS 측정치와 상용수신기를 활용하여 수행되었다. 알고리즘 개발 단계에서는 문제가 발생하는 상황에 대하여 반복적으로 테스트를 수행하여 문제가 정상적으로 개선되었는지를 검증 할 수 있어야 하는데, 실시간으로 이를 수행하기에는 어려움이 존재한다. 따라서 후처리 테스트를 통하여 이를 반복적으로 수행하여 검증할 필요성이 있으며 상용 수신기에 대하여 후처리 테스트를 수행하기 위하여 RF 신호 수집 장치와 방송장치를 활용한 실험 시나리

오를 설계하였다. 실험은 Fig. 6와 같이 구성되어 진행되었다.

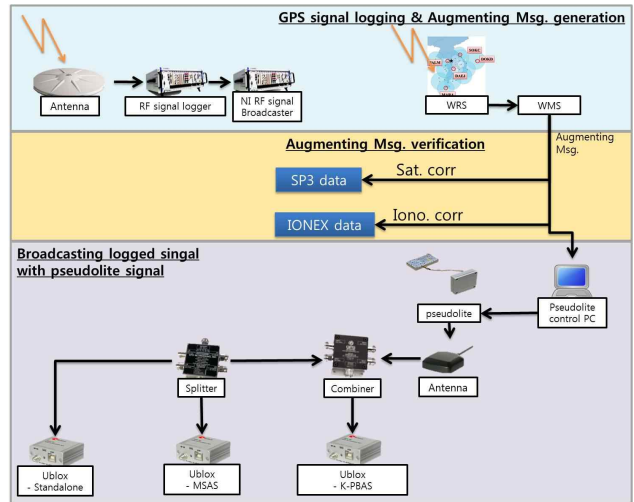


Fig. 6 Experimental design

먼저 테스트 대상 시간대에 대하여 사용자 위치의 GPS 신호를 수집하고 그 시간대의 기준국 데이터 역시 수집하여 보정정보를 생성한다. 신호 수집 및 보정정보 생성이 이루어진 이후에는 IGS에서 제공되는 후처리 정밀 데이터를 활용하여 검증을 수행한다. 광역보정시스템에서는 위성 관련 보정정보와 전리층 관련 보정정보를 따로 제공하고 있으므로 각각에 대한 정확도를 따로 비교할 수 있다. 위성 오차는 정밀 궤도 및 시계를 제공하는 SP3 형식의 데이터와 비교하였으며 전리층 지연 오차는 IONEX(IONosphere map EXchange) 형식의 데이터와 비교를 수행하였다(Schaer, 1998; Spofford Paul R., 1999). 실제 운용되고 있는 광역보정시스템과의 비교를 위해서 일본 MSAS(Multi-functional Satellite Augmentation System)의 보정정보의 정확도도 함께 비교를 하였다. MSAS는 과거 보정정보를 ENRI(Electronic Navigation Research Institute)에서 운영하는 FTP 서버를 통하여 제공하고 있으며, 해당 날짜의 데이터를 처리하여 검증에 활용하였다(ENRI, 2014). 보정정보 정확도의 확인이 끝난 이후에는 수집한 사용자 위치의 신호를 RF 신호 방송 장치를 활용하여 방송한다. 신호 수집 및 방송에는 RF down converter 모듈, IF digitizer 모듈, signal generator 모듈로 구성되는 NI PXIe-5663 RF 신호 분석 장비가 사용되었다. 수신기는 Ublox사의 EVK-6T 수신기가 사용되었으며 성능비교를 위하여 생성된 광역보정정보를 사용하여 위치를 계산하는 수신기와 함께 GPS 단독 측위로 위치를 계산하는 수신기, 일본의 MSAS(Multi-functional Satellite Augmentation System) 보정정보를 사용하는 수신기가 같이 사용되었다. 이때, K-PBAS의 광역보정정보 적용 수신기에는 신호 통합기(signal combiner)를 활용하여 사용자 신호와 함께 보정정보가 실린 의사위성 신호가 같이 들어가도록 하였다. 이때, 상용

수신기에 보정정보를 적용하기 위해서는 현재 운영되고 있는 광역보정시스템 정지궤도 위성의 PRN 번호로 방송을 해야 하는데, 일본의 MSAS 위성의 신호와의 혼동을 방지하기 위하여 미국의 WAAS(Wide Area Augmentation System)의 PRN 번호로 방송을 하였다. Table 1은 실험에 사용된 의사위성의 정보를 나타낸 것이다.

Table 2 Pseudolite configuration

Signal Frequency	1575.42MHz(L1)
PRN	135 (WAAS)
Bit rate	500bps
Pulsing	static
Signal power	-150 to -130 dBm

4.2 성능 평가

실험은 정적 사용자를 대상으로 2014년 1월 18일 오후 3시부터 3시간동안 진행되었으며 사용자 신호는 서울대학교에서 수집되었다. 기준국은 기준국 수신기 현황 및 기하학적 요인을 고려하여 Fig. 7에 표시된 대전, 팔미도, 마라도, 독도, 속초의 총 5개 기준국이 사용되었다(Han et al., 2013).

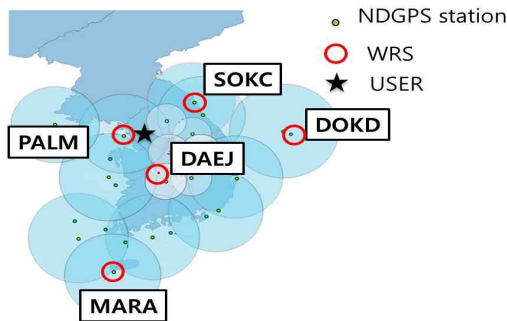


Fig. 7 Position of WRSs and User

다음은 생성된 보정정보의 정확도를 위성, 전리층 관련 정보로 나누어 확인한 결과이다. 위성 보정정보의 경우 앞서 기술한 추정방식을 적용하는 경우 협소한 네트워크의 한계로 정확한 위성 궤도 및 시계 오차보다는 의사거리 오차가 최소화 되도록 추정된다(Kim, 2007). 따라서 방송 궤도력의 SP3 데이터 대비 오차 벡터를 계산한 이후에 의사거리 방향으로 변환하고, 보정정보도 마찬가지로 의사거리 방향으로 변환하여 정확도를 테스트하였다. Fig. 8은 가시위성들의 궤도, 시계오차를 의사거리 방향으로 변환하여 나타낸 것이며, Fig. 9는 위성 보정정보를 적용한 이후에 남아있는 오차를 나타낸 그림이다.

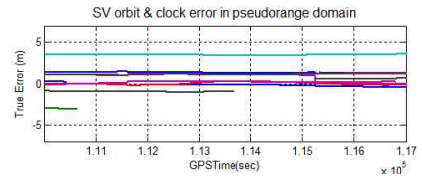


Fig. 8 Satellite orbit and clock error in pseudorange domain

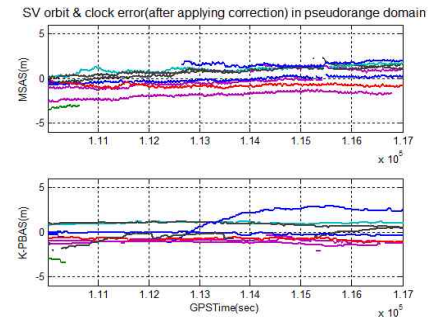


Fig. 9 Satellite orbit and clock error after applying correction in pseudorange domain

테스트 시간동안 전체 가시 위성들에 대한 RMS 오차는 보정정보를 적용하기 전 1.50 m 에서 MSAS 보정정보와 K-PBAS 보정정보를 적용하였을 때 각각 1.17 m, 1.10m로 감소하였다.

전리층 지연 오차는 IONEX 데이터를 처리하여 얻은 결과를 실제 오차라고 두고 보정정보를 적용하기 전 후를 비교하였다. 보정정보는 GPS 단독 측위 사용자도 Klobuchar 모델을 통하여 제거가 가능하므로 Klobuchar 모델을 적용한 결과와 MSAS, K-PBAS의 보정정보를 각각 적용한 결과에 대하여 비교를 수행하였다. Fig. 10은 가시위성에 대하여 IONEX 데이터를 처리하여 얻은 전리층 지연 오차를 경사도를 곱하여 의사거리 방향으로 나타낸 것이며, Fig. 11은 보정정보를 적용하였을 때 남은 오차를 나타낸 것이다.

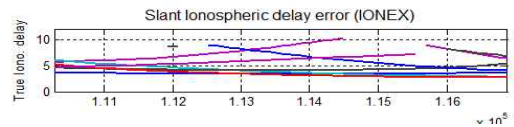


Fig. 10 Slant ionospheric delay error (IONEX)

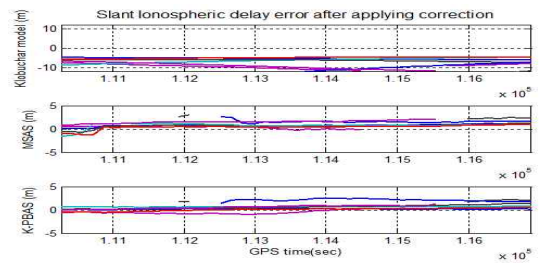


Fig. 11 Slant ionospheric delay error after applying correction

Klobuchar 모델의 경우에는 너무 크게 값이 보정되어 적용 후에 전체적으로 큰 음수 값을 갖게 되었다. MSAS와 K-PBAS의 보정정보를 적용하였을 때에는 상대적으로 작은 오차를 보였으나 MSAS의 경우에는 초반에 여러 위성에서 상대적으로 큰 오차가 나타났다. 각 보정정보를 적용한 후의 RMS 오차는 Klobuchar, MSAS, K-PBAS가 각각 7.86, 1.07, 0.96m 로 나타났다.

Fig. 12는 한반도 주변 지역에 대하여 테스트 시간 동안 나타난 각 모델의 평균적인 수직 전리층 지연 오차를 나타낸 것이다. K-PBAS의 경우 격자 전리층 지연 추정에 사용되는 측정치의 전리층 통과점도 함께 나타냈으며 측정치가 부족한 위도 30°, 경도 115° 부근에서 상대적으로 오차가 크게 나타난 것을 확인할 수 있다. 또한 앞서 기술된 전리층 추정 방식으로는 Fig. 12에 표시한 영역 바깥쪽의 전리층 지연 값을 지속적으로 추정하기 어려운 문제점이 존재하였다. 본 실험에서는 사용자가 네트워크 내부에 위치했으므로 오차가 크게 나타난 지역을 통과하는 가시위성이 존재하지 않아서 Fig. 11에서 볼 수 있듯이 크게 오차를 발생시키지 않았다. MSAS는 Fig 11에서 초반부에 잠시 오차가 큰 시간대가 있었으나 전체적으로는 정확도를 유지하였고 MSAS의 기준국 네트워크에서 멀리 떨어진 한반도 및 중국 일부 지역 까지도 지속적으로 보정정보를 제공 하였다.

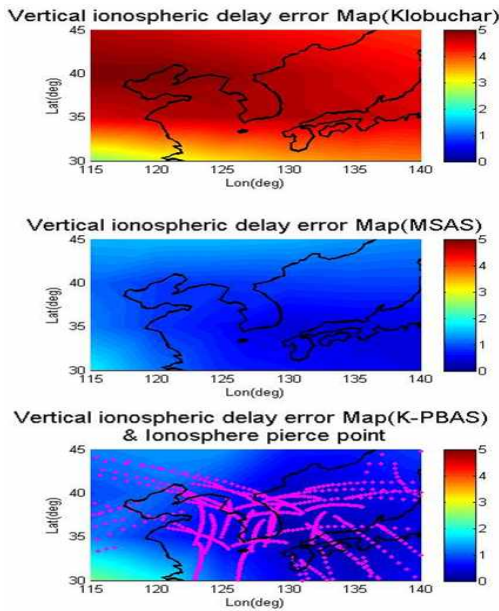


Fig. 12 Vertical ionospheric delay error map after applying correction

최종적인 보정정보의 성능 평가는 수신기에서 출력되는 위치의 오차를 계산하여 분석되었다. Fig. 13, Fig. 14는 실험 결과 나타난 수평 위치오차, 수직 위치오차를 나타낸 그림이고, 각각에 대한 RMS 오차 값을 Table 2에 나타내었다.

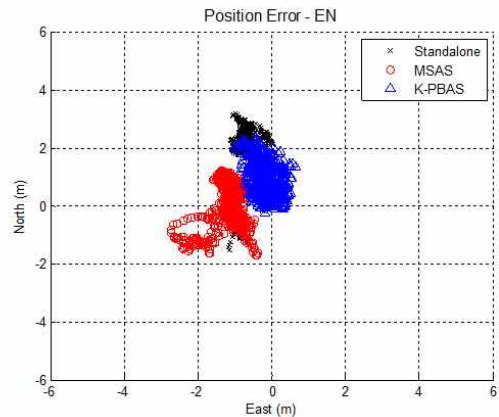


Fig. 13 Horizontal Position Error

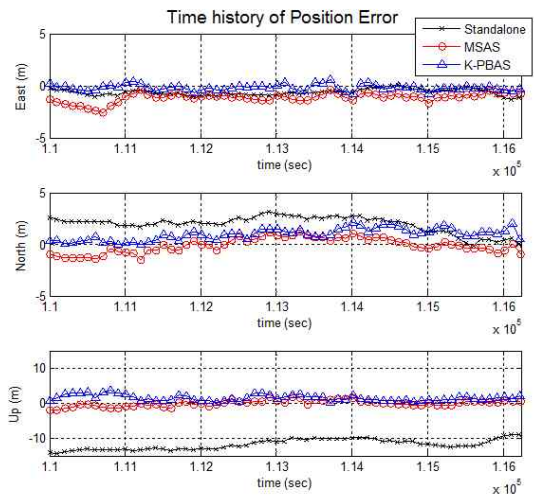


Fig. 14 Time history of position error

Table 3 RMS Error

	Standalone	MSAS	K-PBAS
Horizontal RMS error	2.09 m	1.46 m	1.14 m
Vertical RMS error	12.24 m	0.84 m	1.83 m

테스트 시간 동안 GPS 단독 측위의 수직 위치오차는 상당히 크게 나타났다. GPS 단독 측위의 경우 앞서 계산된 위성 오차가 전혀 보정이 안 되었고, 특히 테스트 시간 동안 Klobuchar 모델의 보정정확도가 크게 떨어졌기 때문에 큰 오차가 나타난 것으로 판단된다. Fig 14 에서 MSAS의 경우에는 초반부에 수평 방향으로 약간 큰 오차를 보였으며 이는 초기 전리층 지연 보정정보의 오차가 컸던 시간대와 일치하므로 전리층 보정정보의 오차로 인한 것으로 판단된다. 이후 전리층 보정정보의 오차가 줄어든 이후에는 전체적으로 작은 오차 값을 보였다. K-PBAS의 경우 다른 결과에 비하여 오차가 크

계 커지는 구간 없이 가장 균일한 성능을 얻었다. 전체적으로 RMS 오차는 Table 2와 같이 나타났으며 MSAS 보정정보를 적용한 수신기의 경우 수평, 수직 오차가 각각 30%, 93% 감소하였고, K-PBAS 보정정보를 적용한 수신기의 경우 각각 45%, 85% 감소하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 위성기반 광역보정시스템 개발에 앞서 성능 시험평가를 위하여 개발되고 있는 의사위성 기반의 광역보정 시스템에 대하여 설명하였다. 생성된 보정정보에 대하여 SP3, IONEX 데이터를 활용하여 위성 관련 보정정보, 전리층 관련 보정정보의 정확도를 테스트하였고, 현재 운용되고 있는 MSAS와 비교를 하였다. 본 논문에서 생성된 보정정보의 경우 한반도내의 기준국을 활용하여 생성되므로 MSAS에 비하여 근소하게 높은 정확도를 보였다. 그러나 전리층 지연 보정정보의 경우 네트워크 바깥으로 멀어짐에 따라서 측정치 부족으로 오차가 증가하는 현상이 나타났으며 네트워크 바깥에서의 보정정보 성능 감소를 줄이기 위해서는 보다 개선된 전리층 지연 추정 알고리즘이 요구될 것으로 판단된다. 최종적인 보정정보의 성능은 실제 GPS 신호와 상용수신기를 활용하여 후처리 기반으로 테스트하였으며 GPS 단독 측위와 비교하여 향상된 위치 해를 얻는 것을 확인하였다. 향후에는 개발된 시스템의 장시간 테스트 및 알고리즘 개선이 수행될 예정이다.

후 기

본 연구는 서울대학교 정밀기계설계 공동 연구소를 통해 계약된 해양수산부 소관 연구 개발사업 "광역보정시스템(WA-DGNSS) 구축 기술개발"의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

This research was supported by a grant from "Development of Wide Area Differential GNSS" which is funded by Ministry of Maritime Affairs of Korean government, contracted through SNU-IAMD at Seoul National University.

References

[1] Chao Y.(1997), "Real Time Implementation of the Wide Area Augmentation System for the Global Positioning System with an emphasis on Ionospheric Modeling", Ph.d. thesis, Stanford University

[2] Electronic Navigation Research Institute(2014), MSAS augmenting message log file,

<http://www.enri.go.jp/~sakai/pro.htm>

[3] Han D. H., Yun H. and Kee C. D.(2013), "Performance analysis of WA-DGNSS in Korea with the selection of reference stations", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 37, No. 4, pp. 367-373.

[4] Han D. H., Yun H., Kim C. W., Kim O. J., and Kee C. D.(2014), "Korean SBAS Development Progress and TEST Results of Pseudolite-Based Demo System", Proceedings of the 2014 International Technical Meeting of The Institute of Navigation, 2014, pp.219-222

[5] Kim D. Y.(2007), "A Study on correction generation algorithms for wide area differential GNSS", Ph.d. thesis, Seoul national university

[6] Lee Y. C.(2002), "A Comparison of Correction Models for the Prediction of Tropospheric Propagation Delay of GPS Signals", Journal of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography, Vol. 20, No. 3, pp. 283-291

[7] RTCA SC-159(2006), Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment, RTCA publication DO-229D.

[8] Ruizhi Chen, A. H., Yewei Chen, Marten Strom, Heikki Laitinen, Michel Tossaing and Sven Martin(2007), "Development of the EGNOS Pseudolite System", Journal of Global Positioning Systems, Volume 6, No. 2, pp.119-125

[9] Schaer, S., W. Gurtner and J. Feltens(1998), "IONEX: The IONosphere Map EXchange Format Version 1," Proceedings of the 1998 IGS Analysis Center Workshop, February25, pp.233-247.

[10] Spofford Paul R., Remondi Benjamin W. (1999), The National Geodetic Survey Standard GPS Format SP3, ftp://igsceb.jpl.nasa.gov/igsceb/data/format/sp3_docu.txt

[11] Tsai Y.(1999), "Wide Area Differential Operation of the Global Positioning System: Ephemeris and Clock Algorithms", Ph.d. thesis, Stanford University

[12] Yun H., Han D. H., Kee C. D.(2013), "Performance Verification of Korean Wide Area Differential GNSS Ground Segment", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 37, No. 1, pp. 49-54.

원고접수일 : 2014년 7월 8일
 심사완료일 : 2014년 8월 6일
 원고채택일 : 2014년 8월 26일