

# 한국에서의 기준국 네트워크 선정에 따른 GNSS 광역보정시스템 성능 분석

한덕화\* · 윤호\*\* · † 기창돈

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

Performance analysis of WA-DGNSS in Korea with the selection of reference stations

Deokhwa Han\* · Ho Yun\*\* · † Changdon 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** : GPS 오차를 보정하기 위한 시스템 중에서 광역보정시스템은 여러 개의 기준국 네트워크로부터 데이터를 수집하여 3차원 위성궤도 오차, 위성 시계오차, 서비스 지역의 전리층 지연 오차를 추정한다. 추정된 보정정보는 사용자에게 방송되고, 사용자는 더 정확하고 신뢰성 있는 위치를 계산 할 수 있다. 이러한 광역보정시스템의 성능은 기준국의 배치에 따라 차이를 보일 수 있으므로 적절한 기준국 선정에 위해서는 기준국 네트워크 변화에 따른 성능 분석이 필요하다. 본 논문에서는 한국에서의 광역보정시스템 성능을 기준국 조합을 변경하면서 시뮬레이션 테스트를 수행하였고, 그에 따른 성능 변화를 제시하였다.

**핵심용어** : 위성항법, 광역보정시스템, 광역 기준국, 정확성, 무결성

**Abstract** : Wide area differential GNSS(WA-DGNSS) collects GPS measurements from the several reference stations and estimates 3-D satellite orbit error, satellite clock error, ionospheric delay. These correction messages are broadcasted to user, then user can have more accurate and reliable position estimates. The performance of WA-DGPS can be changed depending on the position of reference stations. To select proper reference stations, performance analysis with the change of reference stations is necessary. In this paper, changing the geographical location of reference stations, we carried out simulation based test and show the performance of WA-DGNSS in Korea.

**Key words** : GNSS, Wide Area-DGNSS, Wide area reference station, accuracy, integrity

## 1. 서 론

광역보정시스템(WA-DGNSS)은 GPS와 같이 위성을 이용한 항법에서 발생하는 오차 보정정보를 제공함으로써 사용자가 더 높은 정확도와 신뢰도를 가지는 위치를 계산 할 수 있도록 도와주는 시스템이다. 미국의 Wide Area Augmentation System(WAAS)을 시작으로 전 세계적으로 유럽의 European Geostationary Navigation Overlay Service(EGNOS), 일본의 MTSAT Satellite-Based Augmentation System(MSAS)이 개발 되었고, 인도와 러시아에서도 광역보정시스템 개발을 진행하고 있다(Yun et al., 2011; Nam et al., 2007).

한국에서도 90년대 후반부터 광역보정시스템을 개발하기 위한 연구들이 진행되어 왔다. Kee and Shin(1998)는 한국 지역에서 광역보정시스템 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션 테스트를 수행하였고, 최근에는 국토해양부 연구개발과제로 ‘광역보정시스템(WA-DGNSS) 구축기술개발’이 2010년부터 진행되고 있으며 해당 과제에서는 국내 NDGPS 기준국 인프라를 활용하여 의사위성 기반의 광역보정시스템을 구축하고 있다(Yun et al., 2013).

앞선 연구들에서는 한국의 좁은 광역기준국 네트워크가 광역보정시스템 구축에 있어서 문제가 될 수 있음을 지적하였다. Kim(2007)은 일반적인 추정방법으로는 한국의 좁은 광역기준국 네트워크로 인해 보정정보 생성 시 해의 연속성

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

\*\* 연회원, yunho3@snu.ac.kr 02)880-7395

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

주) 이 논문은 “기준국 네트워크에 따른 GNSS 광역보정시스템 성능 분석”이란 제목으로 “2013 공동학술대회 한국항해항만학회논문집 (해군사관학교, 2013.6.27.-28, pp. 108-110)”에 발표되었음.

저하 등의 문제가 발생 할 수 있음을 지적하였고 그 문제를 개선하는 보정정보 생성 알고리즘을 제시하였다. Yun et al(2011)도 광역보정시스템 개발을 위한 시스템 설계 고려사항에 대한 논문 발표에서, 국내에 광역보정시스템 구축 시 가장 문제가 될 수 있는 요인으로 좁은 광역기준국 네트워크로 인한 보정 성능의 저하로 보았다. 즉, 우리나라에서 광역보정시스템을 구축하는 경우 다른 나라에 비해 기준국 배치가 시스템 성능에 영향을 더 크게 줄 수 있다. 앞서 특정 기준국 네트워크를 활용하여 한국에서의 광역보정시스템 성능을 테스트하는 연구들(Kee and Shin, 1998;Kim, 2007)은 이루어졌지만 기준국 네트워크가 달라짐에 따라 성능이 어느 정도 변화하는지에 대한 연구는 이루어지지 않았다. 기준국을 최대한 넓은 지역에 많이 분포하도록 할 때 최상의 성능을 낼 수 있지만 현실적인 문제로 기준국 배치를 최상의 조건으로 하지 못 할 수 있으며 그렇게 하지 못했을 때 성능에 어느 정도 영향을 미치는지에 대한 평가가 필요하다. 실제로 현재 진행되고 있는 ‘광역보정시스템 구축기술개발’ 과제에서는 신형 수신기 기종이 설치된 기준국들을 활용해야 하는 이유로 최상의 배치를 사용하지 못하고 있다(Yun et al., 2013).

본 논문에서는 광역보정시스템 보정정보 생성 알고리즘에 대해서 설명하고 시뮬레이션을 수행하여 성능을 테스트 하였다. 시뮬레이션에서는 현재 운영되고 있는 NDGPS 기준국들 중에서 후보를 선정하고 3개의 기준국 네트워크에 대하여 성능을 테스트 하였다.

## 2. 광역보정정보 생성 알고리즘

위성항법의 오차 요인을 보정하기 위한 보정 시스템 중에서 광역보정시스템은 지역 보정시스템과는 달리 벡터량의 보정정보를 제공한다. 따라서 사용자가 보정정보를 자신의 위치에 맞도록 계산하여 적용함으로써 기준국에서 멀어질수록 보정성능이 저하되는 문제점을 개선하였다. 광역보정정보와 관련하여 Tsai(1999), Chao(1997)는 각각 위성 관련 오차, 전리층 관련 오차의 보정정보 알고리즘을 개발하였으며 Kim(2007)은 한국지역에 맞는 보정정보 생성에 관한 알고리즘을 제안하였다.

### 2.1 광역보정시스템 구조

광역 보정시스템은 Fig. 1과 같이 광역기준국, 중앙처리국, 지구국, 정지궤도 위성으로 구성된다. 광역 기준국은 서비스 지역에 고르게 분포하여 측정치를 수집하고 중앙처리국으로 데이터를 전송한다. 중앙처리국은 수집된 측정치로부터 보정정보를 계산하고, 계산된 보정정보는 지구국, 정지궤도 위성을 거쳐 사용자에게 방송된다.

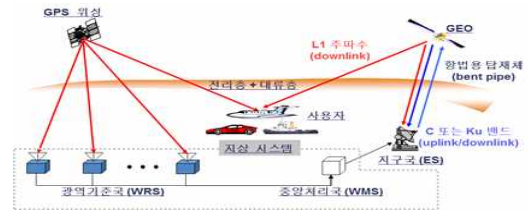


Fig. 1 System architecture of WA-DGNSS

### 2.2 위성 궤도오차 및 시계오차 추정

GPS 의사거리 측정치에는 위성 궤도오차, 위성 시계오차, 전리층 지연 오차, 대류층 지연 오차, 수신기 시계오차 등의 오차가 포함되어 있다. 이 중에서 전리층 지연 오차는 2중 주파수 수신기를 사용하면 제거가 가능하며, 대류층은 적절한 모델링을 통하여 대부분 제거가 가능하다. 전리층 지연 오차와 대류층 지연 오차가 제거된 의사거리는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho_{ij} = D_{ij} \cdot e_{ij} - b_j + B_i + v_{ij} \quad (1)$$

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

$\rho_{ij}$  :  $i$ 번째 기준국에서 측정된  $j$ 번째 위성의 의사거리 측정치.

$D_{ij}$  :  $i$ 번째 기준국에서  $j$ 번째 위성까지의 거리 벡터.

$e_{ij}$  :  $i$ 번째 기준국에서  $j$ 번째 위성까지의 단위 벡터.

$R_j$  : GPS 방송 메시지로부터 계산되는  $j$ 번째 위성의 위치벡터.

$\delta R_j$  :  $j$ 번째 위성의 궤도 오차 벡터.

$S_i$  :  $j$ 번째 기준국의 위치 벡터.

$b_j$  :  $j$ 번째 위성의 시계오차에 의한 거리 오차.

$B_i$  :  $i$ 번째 기준국 수신기 시계오차에 의한 거리오차.

$v_{ij}$  : 측정치 잡음.

위 식에서 구하고자 하는 위성 궤도오차, 시계오차와 함께 수신기 시계오차를 미지수  $x$ 로 두고,  $n$ 개의 기준국과  $m$ 개의 GPS 위성에 대하여 측정치를 모으면 식 (2),(3)와 같은 행렬식을 얻을 수 있다.

$$x = [\delta R^T \ b^T \ B^T]^T \quad (2)$$

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

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

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

$$\begin{bmatrix} E_1 & -I & I_1 \\ E_2 & -I & I_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ E_n & -I & I_n \end{bmatrix} x = D - \begin{bmatrix} E_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & E_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_n \end{bmatrix} P \quad (3)$$

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

$$I_i = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & 1 & \cdots & 0 \\ 0 & \cdots & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & \cdots & 1 & \cdots & 0 \end{bmatrix}, \text{ i번째 열이 1로 이루어진 행렬}$$

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

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

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

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

식 (3)에서  $I_i$  행렬은 i번째 열은 1로 이루어져있고 나머지 항들은 0인 행렬이다. 행렬 H를 식 (4)와 같이 정의하고, 식 (3)의 우변을 벡터 z로 정의하면 식 (3)은 식(5)와 같이 간단한 행렬식으로 변형된다.

$$H = \begin{bmatrix} E_1 & -I & I_1 \\ E_2 & -I & I_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ E_n & -I & I_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$z = Hx \quad (5)$$

이렇게 정리된 행렬식은 일반적으로는 least square 기법을 이용하여 해를 구할 수 있으나, 해의 연속성이 저하되고 변화율이 커지는 문제, 메시지의 크기가 커져야 하는 문제가 발생할 수 있다(Kim, 2007). 따라서 이를 개선하기 위한 최소분산 불편이 추정기법(MVUE, Minimum Variance Unbiased Estimator)을 사용하였으며, 이 추정기법을 사용했을 때의 해와 해의 분산은 식을 역행렬 정리를 이용하여 정리하면 (6), (7)과 같다.

$$\hat{x} = \Lambda H^T (H \Lambda H^T + W)^{-1} z \quad (6)$$

$$\hat{P} = \Lambda - \Lambda H (H^T \Lambda H + W)^{-1} H \Lambda \quad (7)$$

$W$  : 측정치 잡음의 공분산 행렬(=  $E[vv^T]$ ).

$\Lambda$  : 오차의 공분산 행렬(=  $E[xx^T]$ ).

중양처리국에서는 위성 궤도오차 및 시계오차 보정치와 함께 보정치에 대한 추정 오차수준을 계산하여 UDRE(User Differential Range Error) 값으로 사용자에게 보내주며 계산식은 식 (8), (9), (10)와 같다.

$$P_{UDRE} = R + H \hat{P} H^T \quad (8)$$

$$\sigma_{UDRE}^2 = \left( \sum_{i=1}^{i=M} \frac{1}{P_{UDRE_{ii}}} \right)^{-1} \quad (9)$$

$P_{UDRE_{ii}}$  : 행렬  $P_{UDRE}$ 의 (i,i) 항.

$$UDRE = 3.29 \times \sigma_{UDRE} \quad (10)$$

### 2.3 전리층 지연 오차 추정

광역 보정시스템에서는 전리층 지연 정보를 격자 모델을 사용하여 제공한다. 미리 정의된 격자점에 대하여 전리층 지연오차를 추정하여 제공하면 사용자는 그 값을 이용하여 보간법으로 자신의 전리층 지연 값을 계산한다. 격자점의 전리층 지연 값을 추정할 때에는 Fig 2과 같이 특정 반경 안에 들어오는 측정치들을 식(11)과 같은 가중치 보간법을 사용하여 계산하며 이때의 가중치는 거리에 반비례하도록 정한다.

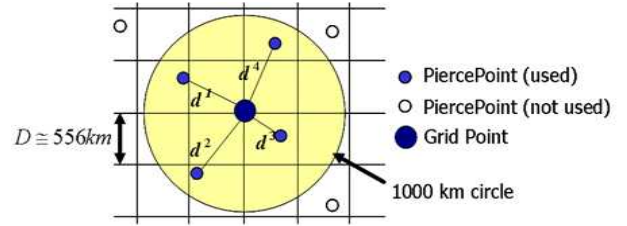


Fig. 2 Conceptual figure of grid point and pierce point

$$I_{Grid,V} = I_{Klob}^{Grid} \frac{\sum_{k=1}^K \left[ \left( \frac{I_{meas,V}^k}{I_{Klob,V}^k} \right) \cdot w_k \right]}{\sum_{k=1}^K w_k} \quad (11)$$

$I_{Grid,V}$ : 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.

$K$  : 측정치 수.

전리층 지연 보정정보도 위성 오차에 대한 보정정보와 마찬가지로 보정치에 대한 추정 오차 수준인 GIVE(Grid Ionospheric Vertical Error)라는 값을 제공해주며 GIVE 계산식은 식 (12)과 같다.

$$GIVE = 3.29 \times \sqrt{1 / \sum_{n=1}^K w_k} \quad (12)$$

### 3. 사용자 알고리즘

광역보정시스템 사용자는 보정정보를 수신한 후 자신의 위치에 맞게 보정정보를 계산하는 과정을 거쳐야 한다. 사용자의 보정정보 적용 알고리즘에 대해서는 RTCA(2001)의

WAAS MOPS(Minimum Operational Performance Standard)에 상세히 기술되어 있다. 사용자는 오차의 보정정보를 적용하여 정확도를 높임과 동시에 UDRE, GIVE 값을 이용하여 무결성 정보를 계산하는데, 각각에 대한 설명은 다음과 같다.

### 3.1 오차 보정정보의 적용

사용자는 3차원 위성 궤도오차와 시계오차, 전리층 지연 정보를 제공 받다 더 정확한 의사거리 값을 계산하게 된다. 먼저 위성 관련 보정정보를 적용함에 있어서 이를 바로 위성의 위치에 적용하기보다는 스칼라 형태로 변환하여 의사거리 값을 보정한다. 이는 계산된 보정정보가 정확한 궤도오차, 시계오차 각각을 추정하지 못하고, 둘을 조합하였을 때 의사거리의 오차가 최소가 되도록 추정되었기 때문이다. 스칼라 값으로 변환된 보정치는 식 (13)과 같고, 이를 식 (14)와 같이 의사거리에 적용한다.

$$\delta \hat{\rho}_j = \Delta \hat{R}^j \cdot e_u^j - \Delta \hat{b}^j \quad (13)$$

$$\hat{\rho}_j = \rho_j - \delta \hat{\rho}_j \quad (14)$$

전리층 지연 오차는 중앙처리국에서 격자점에 대한 전리층 지연 값을 계산할 때와 유사하게 보간법을 이용한다. 사용자 가시위성의 전리층 통과 점을 둘러싸는 4개의 격자점을 찾고, 그 격자점의 전리층 지연 보정정보를 보간하여 해당 위성에 대한 전리층 지연 오차를 식 (15)와 같이 계산하며 Fig.3는 식에 사용된 값들을 그림으로 나타낸 것이다.

$$\tau_{vpp}(\phi_{pp}, \lambda_{pp}) = \sum_{i=1}^4 W_i(x_{pp}, y_{pp}) \tau_{vi} \quad (15)$$

$$W(x, y) = xy$$

$$W_1 = W(x_{pp}, y_{pp})$$

$$W_2 = W(1 - x_{pp}, y_{pp})$$

$$W_3 = W(1 - x_{pp}, 1 - y_{pp})$$

$$x_{pp} = \frac{\lambda_{pp} - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}, \quad y_{pp} = \frac{\phi_{pp} - \phi_1}{\phi_2 - \phi_1}$$

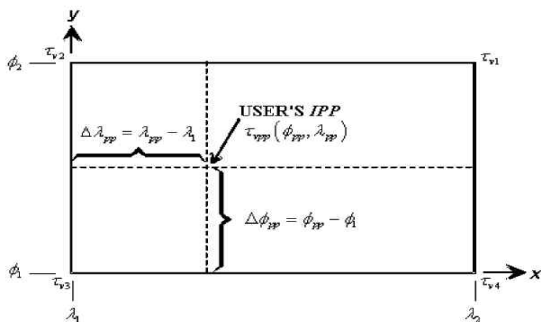


Fig. 3 Definition of Pierce Point in Interpolation algorithm

### 3.2 무결성 정보의 적용

광역보정시스템에서 사용자에게 제공하는 UDRE, GIVE와 함께 다른 몇 가지의 오차 성분들을 합하여 보호수준을 계산한다. 사용자의 보정 오차에는 위성 궤도, 시계 보정치 오차, 전리층 지연 보정치 오차, 사용자 수신기 관련 오차, 대류층 지연 관련 오차가 포함되며 식으로 나타내면 식 (16)과 같고, 식 (16)의 각 항은 식 (17), (18), (19), (20)으로 계산된다.

$$\sigma_i^2 = \sigma_{i,flt}^2 + \sigma_{i,UIRE}^2 + \sigma_{i,air}^2 + \sigma_{i,tropo}^2 \quad (16)$$

$\sigma_{i,flt}^2$  : 위성관련 보정 오차의 분산.

$\sigma_{i,UIRE}^2$  : 전리층 관련 보정 오차의 분산.

$\sigma_{i,air}^2$  : 수신기 관련 오차의 분산.

$\sigma_{i,tropo}^2$  : 대류층 관련 보정 오차의 분산.

$$\sigma_{i,flt}^2 = (\sigma_{i,UIRE}^2 \cdot \delta UDRE_i)^2 \quad (17)$$

$$\delta UDRE_i = \sqrt{e_i^T \cdot C \cdot e_i}$$

$C$  : 위성관련 보정치의 공분산 행렬.

$e_i$  : 사용자의 위치에 대한 시선방향 단위벡터.

$$\sigma_{i,UIRE}^2 = F_{pp}^2 \cdot \sigma_{i,UIVE}^2 \quad (18)$$

$$\sigma_{i,UIVE}^2 = \sum_{i=1}^4 W_i(x_{pp}, y_{pp}) \cdot \sigma_{i,GIVE}$$

$$\sigma_{i,GIVE} = (GIVE_i / 3.29)^2$$

$F_{pp}$  : 전리층 통과 경사도.

$$\sigma_{i,air}^2 = \sigma_{mp}^2 + \sigma_{noise}^2 \quad (19)$$

$\sigma_{i,mp}^2$  : 다중경로 오차의 분산(=  $0.2e^{-(E_i/75)}$ ).

$$\sigma_{i,tropo}^2 = \left( 0.12 \cdot \frac{1.001}{\sqrt{0.002001 + \sin^2(E_i)}} \right)^2 \quad (20)$$

식 (16)에서 계산된 오차 수준은 의사거리에서의 오차 수준이므로 이를 위치 영역에서의 오차수준으로 변환시켜야 하며 그 과정은 식 (21), (22), (23), (24)와 같다.

$$G_i = [-\cos E_i \sin Az_i \quad -\cos E_i \cos Az_i \quad -\sin E_i \quad 1] \quad (21)$$

=  $i$ -th row of  $G$

$E_i$  : 위성 양각.

$Az_i$  : 위성 방위각.

$$W^{-1} = \begin{bmatrix} w_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & w_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & w_N \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$w_i = \sigma_i^2$$

$$\begin{bmatrix} d_{east}^2 & d_{EN} & d_{EU} & d_{ET} \\ d_{EN} & d_{north}^2 & d_N & d_{NT} \\ d_{EU} & d_N & d_U^2 & d_{UT} \\ d_{ET} & d_{NT} & d_{UT} & d_T^2 \end{bmatrix} = (G^T W G)^{-1} \quad (23)$$

$$d_{major} = \sqrt{\frac{d_{east}^2 + d_{north}^2}{2} \sqrt{\left(\frac{d_{east}^2 - d_{north}^2}{2}\right)^2 + d_{EN}^2}} \quad (24)$$

식 (23), (24)에서  $d$ 는 의사거리에서의 오차 수준이 각 방향의 오차 수준으로 변환된 값을 의미한다. 최종적으로 사용자의 수평 위치 보호 수준과 수직 위치 보호 수준은 식 (25), (26)으로 계산되며 수평보호수준은 ICAO에서 정의한 운항 단계에 따라 곱해지는 계수가 약간 달라진다.

$$HPL = \begin{cases} K_{H,NPA} \cdot d_{major} & \text{for enroute through LNAV} \\ K_{H,PA} \cdot d_{major} & \text{for precision approach mode} \end{cases} \quad (25)$$

$$VPL = K_{V,PA} \cdot d_U \quad (26)$$

$$K_H = \begin{cases} 6.18 & \text{for en route through NPA modes} \\ 6.0 & \text{for precision approach mode} \end{cases}$$

$$K_V = 5.33$$

#### 4. 시뮬레이션

앞서 설명한 알고리즘을 바탕으로 한국 지역의 광역보정 시스템 성능을 광역기준국 네트워크를 변경하면서 시뮬레이션을 수행하였다. 본 논문에서는 광역기준국 네트워크를 현재 운영되고 있는 NDGPS 기준국들 중에서 3가지로 선정하여 테스트를 하였다. 각 테스트에서 사용된 기준국의 개수는 5개로 동일하게 하였으며 Fig 4에 각 네트워크에 사용된 기준국들의 위치를 표시하였다. 첫 번째로는 기준국의 배치를 나라 전역에 가능한 한 넓게 분포하도록 선정 하였으며, 두 번째로는 최신 수신기가 설치되어 있는 기준국들 중 가장 넓게 분포되어 있는 기준국들로 선정 하였다. 마지막으로 세 번째는 기준국의 관리 및 유지, 보수가 용이하도록 접근성을 고려하여 좀 더 내륙 쪽으로 기준국을 배치하였다. 정확한 시뮬레이션 결과를 얻기 위해서는 수신기 기종에 따라 기준국들 간의 측정치의 품질을 다르게 설정해야 하지만 본 시뮬레이션에서는 단순히 기준국의 배치가 달라지면서 발생하는 성능 변화만을 테스트 하였다. 이처럼 기준국을 배치하는 경우 Fig 4에서 볼 수 있듯이 네트워크 1이 가장 좋은 배치를 보이고, 네트워크 2, 네트워크 3 순으로 기준국 배치가 넓게 퍼져 있는 것을 볼 수 있으며, 각각에서 사용된 기준국들을 Table 1, 2, 3에 나타냈다.

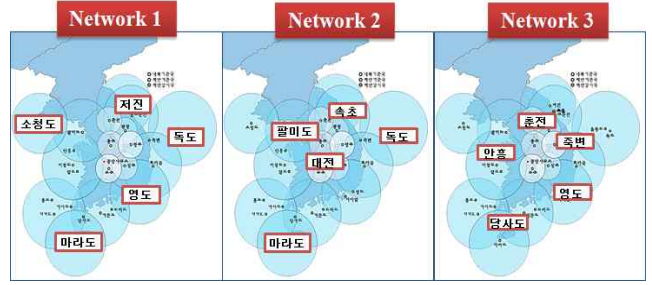


Fig. 4 Wide area reference stations

Table 1 Wide area reference stations in network 1

광역 기준국	위도	경도
소청도	37° 45' N	124° 43' E
마라도	33° 07' N	126° 16' E
저진	38° 43' N	128° 23' E
영도	35° 03' N	129° 04' E
독도	37° 14' N	131° 52' E

Table 2 Wide area reference stations in network 2

광역 기준국	위도	경도
팔미도	37° 30' N	126° 30' E
마라도	33° 07' N	126° 16' E
대전	36° 21' N	131° 52' E
속초	38° 12' N	128° 35' E
독도	37° 14' N	131° 52' E

Table 3 Wide area reference stations in network 3

광역 기준국	위도	경도
춘천	37° 59' N	127° 42' E
안흥	36° 40' N	126° 08' E
죽변	37° 03' N	129° 25' E
영도	35° 03' N	129° 04' E
당사도	34° 05' N	126° 36' E

시뮬레이션에 사용되는 의사거리 데이터는 Almanac 데이터를 이용하여 위성 궤도를 생성하고 사용자와 위성간의 거리에 오차 요인들을 포함시켜 생성하였고 총 24시간의 데이터에 대하여 30초 단위로 테스트를 수행하였다. 각 네트워크간의 성능을 비교하기 위하여 위도 25°~55°, 경도 115°~155°의 영역에 2.5° 간격으로 사용자 격자를 생성하였으며 보정정보를 적용하지 않는 조건과 기준국 네트워크 1,2,3을 각각 적용하는 조건에 대한 위치오차 및 보호수준을 계산하였다. Fig 5, 6은 테스트 시간 동안의 수평 위치오차와, 수직 위치 오차에 대하여 RMS 오차를 나타낸 그림이고, Fig 7, 8은 평균 보호수준을 나타낸 그림이다.



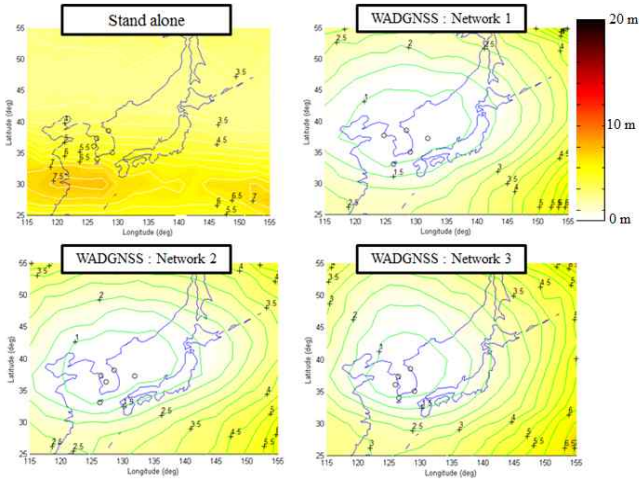


Fig. 5 Horizontal RMS error contour map for each condition (stand alone, network1, network2, network3)

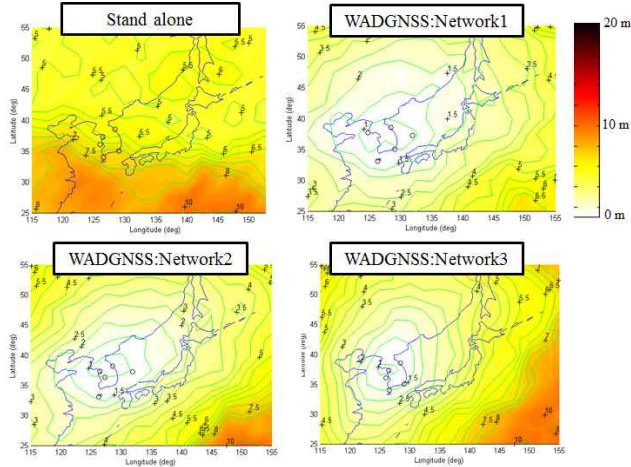


Fig. 6 Vertical RMS error contour map for each condition (stand alone, network1, network2, network3)

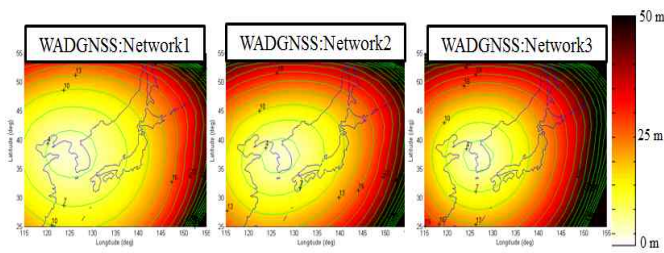


Fig. 7 Horizontal average Protection Level map for each condition (network1, network2, network3)

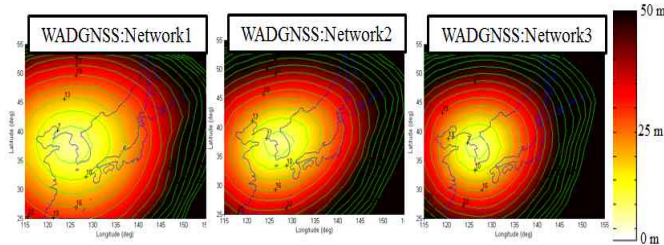


Fig. 8 Vertical average Protection Level map for each condition (network1, network2, network3)

시뮬레이션 결과는 일반적으로 알려진 대로 기준국의 배치가 넓은 순으로 더 높은 성능을 보였다. 기준국 배치가 좁아질수록 전체 영역에서 오차가 점점 증가했으며 보호수준도 증가하였다. 특히 기준국들 간의 위치오차 및 보호수준의 차이가 기준국 바깥으로 벗어날수록 커지는 것을 확인 할 수 있다. 그리고 오차가 상대적으로 더 크게 나타나는 수직 위치오차, 수직 위치 보호수준에서 기준국들 간의 차이가 더 크게 나타났다. Table 4는 테스트 영역 전체에 대한 평균 RMS 오차를 나타낸 것이다.

Table 4 Position error result of overall region

	Horizontal RMS Error (m)	Vertical RMS Error (m)
Stand alone	4.7639	6.7496
Network1	2.6227	3.3693
Network2	2.7900	4.2757
Network3	3.3440	5.3399

수평 위치 오차에서는 네트워크 1에 비하여 네트워크 2, 3이 각각 0.17m, 0.72m 정도 더 큰 결과를 보였고, 수직 위치 오차에서는 1.11m, 1.97m 정도 더 큰 결과를 보였다.

다음으로 한반도 지역에 대하여 중심 지역(위도 35.5°, 경도 127.5°)과 외곽 지역인 제주도 남부 해상 지역(위도 32.5°, 경도 127.5°), 두 지역을 선정하여 위치오차를 시간에 따라 계산하고 Fig 9에 나타내었다.

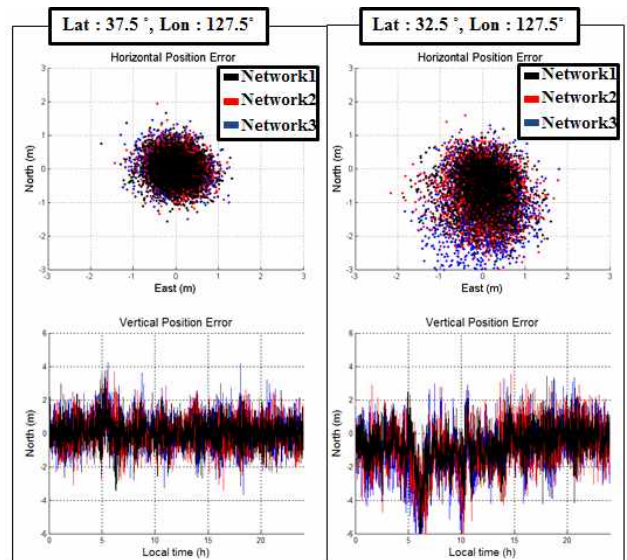


Fig. 9 Horizontal position error(above) and Vertical position error(below) of selected user

먼저 첫 번째 지역에서는 수평 RMS 오차가 기준국 네트워크 1, 2, 3에 대하여 각각 0.5235m, 0.5306m, 0.5471m로 나타났고, 수직 RMS 오차가 0.8885m, 0.9020m, 0.9279m 나타나 기준국 네트워크간의 차이가 크게 나타나지 않았다. 두

번째 지역에서는 그림에서도 눈에 띄게 네트워크 간의 격차가 나타났으며 수평 RMS 오차가 기준국 네트워크 1, 2, 3에 대하여 각각 1.0096m, 1.0790m, 1.3400m 로 나타났고, 수직 RMS 오차가 1.4238m, 1.6065m, 1.8085m 나타났다. 즉 네트워크 간 격차가 서비스지역 중앙에서 벗어날수록 크게 나타났고, 특히 외곽지역 기준국을 한 개도 사용하지 않는 네트워크 2가 성능 저하가 심했다. 따라서 우리나라 전 국토 사용자와 함께 해상 사용자도 성능의 저하가 크지 않도록 서비스를 제공하기 위해서는 가능한 한 외곽 섬지역의 기준국 구축을 해야 할 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

세계 현황 및 기술적 요구사항들을 고려할 때 광역보정시스템은 신뢰성있는 위성항법 시스템 서비스를 제공하기 위하여 필수적으로 개발 되어야 한다. 본 논문에서는 광역보정시스템에 대하여 기준국이 최상의 위치로 배치되지 못할 경우를 대비하여 성능이 어느 정도 저하되는지에 대하여 시뮬레이션으로 테스트했다. 기준국 네트워크를 변경하면서 수행한 테스트에서 서비스 중심 지역의 성능은 기준국 배치가 좁아지더라도 크게 영향을 받지 않았으나 중심부에서 멀어질수록 기준국 네트워크 간의 성능 차이가 커졌고, 특히 외곽 섬 지역의 기준국을 사용하지 않는 경우 그 정도가 더 심하게 나타났다. 추후에는 실제 측정치들을 바탕으로 테스트를 수행하고 더 신뢰성 있는 결과를 얻음으로써 한국의 광역보정시스템 개발에 사용될 기준국 선정에 활용해야할 것으로 생각된다.

## 후 기

본 연구는 국토해양부 소관 연구개발사업 "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 Land, Transport, Maritime Affairs of Korean government, contracted through SNU-IAMD at Seoul National University.

## 참 고 문 헌

[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] Kee C. D. and Shin D. H.(1998), "A Study on Developing Wide Area Differential GPS(WADGPS) in Korea", Journal of Korea Navigation institute, Vol. 1,

No. 1, pp. 3-10.  
 [3] Kim D. Y.(2007), "A Study on correction generation algorithms for wide area differential GNSS", Ph.d. thesis, Seoul national university.  
 [4] Nam G. W., Heo M. B., Sim C. Y.(2007), "Construction Status of Satellite Navigation System and Augmentation system", Current Industrial and Technological Trends in Aerospace, Vol. 5, No. 1, pp. 65-74.  
 [5] RTCA SC-159(2006), Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment, RTCA publication DO-229D.  
 [6] Tsai Y.(1999), "Wide Area Differential Operation of the Global Positioning System: Ephemeris and Clock Algorithms", Ph.d. thesis, Stanford University.  
 [7] 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.  
 [8] Yun Y. S., Cho J. H., Heo M. B., Nam G. W.(2011), "System Design Consideration for Multipurpose SBAS Development", Institute of Control, Robotics and Systems collaborative scientific meeting, Vol. 1, No. 1, pp. 489-499.

---

원고접수일 : 2013년 7월 25일  
 심사완료일 : 2013년 8월 28일  
 원고채택일 : 2013년 8월 28일