

# DGNSS 기준국 네트워크를 활용한 가상기준국 보정정보 생성 알고리즘에 관한 연구

## A Study on the PRC Generation Algorithms for Virtual Reference Stations Using a Network of DGNSS Reference Stations

김혜인<sup>1)</sup> · 박관동<sup>2)</sup>

Kim, Hye-In · Park, Kwan-Dong

### Abstract

For service-area-widening and commercialization of DGNSS service, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs is developing a DGNSS service based on VRS using T-DMB. In this study, three PRC generation algorithms are developed for VRS DGNSS and their accuracies were evaluated. Three DGNSS correction generation algorithms are based on inverse distance weighting, 1st- and 2nd- multiple linear regression, and their positioning accuracies were compared in terms of the number of reference stations used for network composition and the algorithm type. As a result, the positioning accuracy of the case of using 16 sites is better than that of 6 sites. And the algorithm using the multiple linear regression showed the best performance. When the positioning accuracy of VRS DGNSS was compared with the traditional single-reference DGNSS, the improvement ratio was 20-23% and 20-36% for the horizontal and vertical directions, respectively.

Keywords : DGNSS, VRS, NTRIP, Positioning Accuracy

### 초 록

국토해양부에서는 DGNSS 서비스의 광역화 및 상용화를 위하여 지상파 DMB를 이용한 가상기준국 기반 DGNSS 서비스를 개발하고 있다. 이 연구에서는 국토해양부에서 개발 중인 시스템에 적용할 수 있는 총 세 개의 가상기준국 기반 DGNSS 보정정보 생성 알고리즘을 구현하고 각 알고리즘 적용에 따른 측위정확도 비교를 통해 개발된 알고리즘의 성능을 검증하였다. 가상기준국 기반 DGNSS 보정정보 생성 알고리즘은 역거리 가중법, 1·2 차 다중 선형회귀분석법으로 각각 구현되었으며 기준망 구성을 위한 기준국 개수와 알고리즘 종류에 따른 측위 정확도를 비교하였다. 그 결과 6개 기준국을 이용하는 경우보다 16개 기준국을 이용할 때 측위정확도가 향상되었으며, 다중 선형회귀분석법을 이용하는 경우가 높은 정확도를 나타냈다. 또한 가상기준국 기반의 DGNSS 측위 결과가 단일기준국 기반의 DGNSS 측위결과보다 수평정확도 약 20-23%, 수직정확도 약 20-36% 향상되는 것을 확인하였다.

핵심어 : 위성항법보정시스템, 가상기준국, NTRIP, 측위정확도

## 1. 서 론

국토해양부 위성항법중앙사무소에서는 우리나라 연안 해역을 항해하는 선박의 안전을 위하여 1999년 5월부터 2011년 현재까지 전국에 총 27개의 해양기준국, 해양감시

국, 내륙기준국을 구축하고 DGNSS(Differential Global Navigation Satellite System) 서비스를 제공하고 있다. 이를 통해 해양, 내륙을 포함한 전국 어디에서나 DGNSS 서비스를 활용할 수 있게 되었으나, 중파(MF, Medium Wave)를 이용하는 비콘(Beacon) 방식을 통해 보정정보를 전송하기

1) 교신저자 · 정회원 · 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 박사과정(E-mail: hikim0619@inha.edu)

2) 정회원 · 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 부교수(E-mail: kdpark@inha.ac.kr)

때문에 고가의 비콘 수신장비를 사용해야하는 점과 전파 수신이 어려운 지역에서의 위치정보 신뢰성이 떨어지는 점 등의 문제가 있다. 이러한 문제는 DGNSS 서비스 사용자 범위 및 활용분야가 제한될 수밖에 없는 한계로 작용하게 된다.

국토해양부에서는 이러한 한계를 극복하기 위하여 인터넷을 이용하는 NTRIP(Network Transport of RTCM via Internet Protocol) 서비스를 제공하기 시작하였으며, 이는 정보통신 기술(IT, Information Technology) 강국인 우리나라 환경에서는 비콘 방식에 비해 효율적인 대안이라고 할 수 있다. 최영종 등(2008)은 NTRIP 방식의 DGPS 수신율, 위치오차, 보정나이 등을 비콘 방식과 비교하였으며, 그 결과 NTRIP 방식이 비콘 방식과 유사한 성능을 나타냄과 동시에 전파 음영구역에서의 신호수신장애 문제를 극복할 수 있다고 결론내린 바 있다.

이처럼 NTRIP 서비스를 통해 고가의 비콘 장비가 아니라도 인터넷 기반의 DGNSS 측위가 가능하게 되어 사용자 범위가 다소 확대되기는 하였으나, 여전히 유·무선 인터넷과 연결할 수 있는 통신 환경이 유지되어야 한다는 제한이 있다. 따라서 DGNSS 인프라 구축 현황에 비해 사용자 및 활용범위가 큰 폭으로 증가하고 있지는 않는 실정이다. 이에 국토해양부에서는 현재 2,500만대 이상의 단말기가 보급되어 있는 지상파 DMB(Digital Multimedia Broadcasting)를 이용한 보정정보 전송기술을 개발하고 있으며, 2012년 후반에는 기술개발이 완료될 예정이다(국토해양부, 2010).

또한 여러 연구들을 통해 이미 잘 알려진 바와 같이, DGNSS 서비스는 보정정보를 제공하는 기준국과 측량지점 간의 기선거리가 멀어질수록 정확도가 저하되는 문제가 있다. 현재 국토해양부에서는 최근에 시범적으로 운영하기 시작한 울릉도 기준국의 NTRIP 서비스까지 포함하여 총 18개의 기준국에서 비콘과 NTRIP을 통해 보정정보를 전송하고 있다. 현재 운영 중인 18개의 기준국을 이용한 단일기준국 기반의 DGNSS 측위는 전국토에서 이용가능하긴 하지만, 기선거리에 따른 정확도 감소는 불가피하다. 이를 해결하기 위해서는 다수의 기준국을 설치하는 방법이 있지만, 기준국 설치 시 많은 비용이 소요되기 때문에 비효율적이다. 이러한 문제는 기존의 기준국들로 기준망을 구성하여 보간을 통해 측량지점의 보정정보를 생성함으로써 해결할 수 있다. 이와 같은 가상 기준국 기반의 DGNSS 시스템에 관해 진행된 연구사례는 다음과 같다.

국외에서는 Tang 등(1989)이 칼만필터(Kalman filter)를 이용한 통계학적 가중치를 부여하는 방법을, Loomis 등(1991)이 PDA(Partial Derivative Algorithm) 방법을, 그리고 Mueller 등(1994)이 MVA(Minimum Variance Algorithm) 방법을 제안한 바 있다. 또한 Abousalem(1997)은 DGNSS 기준국들의 보정정보에 기선거리, 위성고도각, 보정정보 생성시간 가중치를 부여하여 보간하는 방법을 제안하였다. Oh 등(2005)은 3개의 기준국 보정정보를 선형보간하여 사용자 위치의 보정정보를 생성해내는 알고리즘을 구현하였으며, 정확도가 약 40% 향상된 결과를 도출하였다. 국내에서는 배준수 등(2003)이 기준국과 측정점 간의 거리에 가중치를 부여하여 측정점에서의 보정정보를 생성해내는 연구를 진행한 바 있으며, 배상태(2003) 역시 거리를 기반으로 가중치를 부여하는 다중 기준국 기반 의사거리 보정정보 생성 알고리즘을 개발하였다. 이처럼 국내에서 진행된 관련 연구들을 살펴보면, 가상기준국 기반의 DGNSS 보정정보 정확도가 기존의 단일 기준국 기반의 방식보다 정확도를 향상시킬 수 있다는 사실은 입증하였지만, 단순히 거리에 가중치를 부여하거나 선형보간을 통해 보정정보를 생성하였으며 이 때 이용한 기준국의 개수도 3개에 불과했다.

이 연구에서는 국토해양부에서 DGNSS 상용화를 위해 개발하고 있는 지상파 DMB를 이용한 DGNSS 서비스 기술개발 현황을 소개하였으며, 이 서비스에 적용하기 위한 가상기준국 기반 DGNSS 보정정보 정확도 향상 알고리즘을 세 가지 방법으로 구현하였다. 구현된 알고리즘은 국내외에서 DGNSS 보정정보 보간을 위해 가장 많이 사용되고 있는 역거리 가중법(Inverse Distance Weighting), 1차 다중 선형회귀분석, 그리고 2차 다중 선형회귀분석이다. 또한 기준망을 구성하는 기준국 개수와 알고리즘 종류에 따른 측위정확도를 비교하였으며, 단일기준국 기반 DGNSS 측위결과와의 비교를 통해 개발된 알고리즘의 정확도를 검증하였다.

## 2. 지상파 DMB 기반 DGNSS 서비스 기술개발 현황

### 2.1 서비스 개요

국토해양부에서 개발하고 있는 지상파 DMB 기반 DGNSS 시스템은 DGNSS 서비스의 광역화 및 상용화를 목적으로 하고 있다. 현재 차량용 내비게이션 뿐만 아니라 스마트폰 등의 이동통신기기와 같은 범용 휴대 단말기

에 GPS 수신 기능은 필수적으로 탑재되고 있다. 위치정보를 활용하는 사용자 및 응용분야가 급격하게 증가하고 있는 실정이며, 이에 따라 위치정보의 정확도 및 신뢰도 향상에 대한 요구와 필요성도 함께 증가하고 있다. 이처럼 보다 정확하고 신뢰성 있는 위치정보의 필요성이 점차 증가하고 있는 현 시점에서, 가장 효율적으로 DGNSS 서비스를 광역화하고 상용화 할 수 있는 방안은 지상파 DMB 기반 가상기준국 DGNSS 서비스라고 할 수 있다.

지상파 DMB 방송은 이미 전국망 인프라가 구축되어 있기 때문에 별도로 구축 비용이 들어가지 않는다는 장점이 있다. 또한 지상파 DMB 수신이 가능한 단말기는 현재 2,500만대 이상 보급되어 있으며, 대부분의 지상파 DMB 단말기에는 GPS 기능이 함께 탑재되고 있기 때문에 개발된 기술의 적용이 용이하다. 이러한 지상파 DMB 전송매체를 통해 기존의 DGNSS 기준국 보정정보 뿐만 아니라 여러 지점의 가상기준국 DGNSS 보정정보를 생성하여 전송한다면 사용자 입장에서는 범용 휴대 단말기를 이용하여 1m 내외의 정확도가 확보되는 위치정보를 손쉽게 활용할 수 있게 된다.

국토해양부에서 개발 중인 지상파 DMB 기반 DGNSS 서비스의 개요도는 그림 1과 같다. 정보제공 센터에서는 NTRIP으로 제공되는 DGNSS 기준국 보정정보를 수신하고, 기준망을 이용한 가상기준점의 보정정보를 생성하게 된다. 생성된 보정정보는 DMB 방송사로 전송되고 DMB 방송사에서는 보정정보를 인코딩하여 각 수도권, 지역 연주소로 전송하게 된다. 각 연주소에서는 송신소를 통해 보정정보를 전국에 방송하게 되며, 사용자는 GPS 수신기능이 장착된 DMB 단말기를 이용하여 가상기준국들의 보정정보를 수신하게 된다. 사용자 단말기는 수신된 가상기준국들의 보정정보 중에서 가장 가까운 가상기준국의 보

정정보를 위치보정에 적용하게 되며, 이로써 기존의 단일 기준국 기반의 DGPS 서비스보다 향상된 위치정확도를 확보할 수 있게 된다.

## 2.2 가상기준국 네트워크 구성

앞서 2.1절에서 소개한 국토해양부에서 개발 중인 “지상파 DMB 기반 DGNSS 서비스”의 DGNSS 정보제공 센터에서 기존의 DGNSS 기준국 보정정보를 실시간으로 수신하여 새로이 보정정보를 생성하게 될 가상기준국 네트워크 구성은 그림 2와 같다. 그림 2에서 ‘★’ 기호로 표기된 지점은 NTRIP 서비스를 제공하고 있는 총 18개의 기존 DGNSS 기준국 위치를 나타내며, ‘●’ 기호로 표기된 지점은  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  격자점으로 구성된 가상기준국의 위치를 나타낸다. 국토해양부에서 진행하고 있는 연구개발에서는 18개 기준국으로 구성된 기준망을 이용하여 가상기준국 지점에서의 보정정보를 실시간으로 생성하여 제공하게 된다. 이 연구에서는 가상기준국의 보정정보를 생성하기 위한 알고리즘을 구현하였으며, 각 알고리즘에 대한 상세한 사항은 다음 장에서 설명하기로 한다.

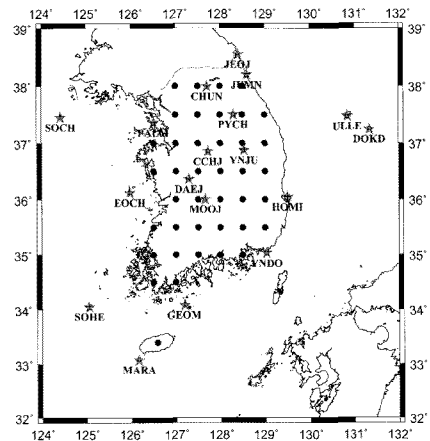


그림 2. 가상기준국 네트워크 구성

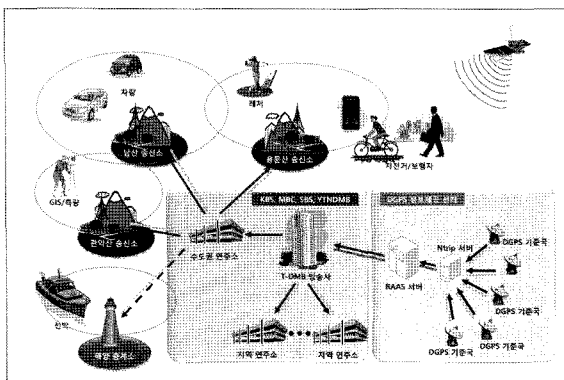


그림 1. 지상파 DMB 기반 DGNSS 서비스 개요도(국토해양부, 2010)

## 3. 가상기준국 DGNSS 보정정보 생성

가상기준국 기반의 DGNSS 측위 방법은 크게 Position Domain, State-Space Domain, 그리고 Measurement Domain 세 가지로 구분할 수 있다. Position Domain은 여러 개의 기준국 보정정보를 이용하여 각각 단일기준국 기반의 사용자 위치정보를 산출하고, 산출된 위치정보의 평균값을 산출하는 방법이다. 이 방법은 간단하지만 다른 방법에 비

해 정확도가 낮다. 두 번째 방법인 State-Space Domain은 기준국의 원시데이터를 이용하여 각 오차요인별로 사용자 위치에서의 오차를 모델링하여 사용자 위치정보를 보정하는 방법이다. 이 방법은 정확한 결과를 산출할 수 있지만 계산량이 많고 계산과정이 복잡하다는 단점이 있다. 마지막으로 Measurement Domain은 다수의 기준국 보정정보를 이용하여 사용자 위치의 보정정보를 생성해내는 방법으로써, 비교적 간단한 계산과정을 통해 일정수준의 정확도를 달성할 수 있다.

이 연구에서는 다수의 기준국 보정정보를 이용하여 사용자 위치의 보정정보를 생성해내는 Measurement Domain에 해당하는 세 가지 알고리즘을 구현하였다. 기준국에서 제공하는 DGNSS 보정정보는 해당 시각에 기준국에서 관측된 각 위성에 대한 의사거리 보정치(PRC, Pseudo-Range Correction)를 의미하며, 사용자는 이를 기준국으로부터 전송받아 오차를 보정하게 된다. 정확한 위치좌표를 이미 알고 있는 기준국에서는 각 위성과의 기하학적 거리와 C/A 코드데이터로 기록된 의사거리와의 차이를 산출하게 되며, 이 차이가 보정정보, 즉 의사거리 보정치가 된다.

### 3.1 역거리 가중법

역거리 가중법은 공간적 자료 보간법으로 널리 사용되고 있는 보간방법이며, 거리의 역수에 가중치를 부여하는 방법이다. 기본적인 개념은 그림 3에 나타내었으며, 보정정보를 생성하고자 하는 가상기준국 지점과 인접한 곳에 위치한 기준국의 보정정보에는 가중치를 더 많이 부여하고, 거리가 멀어질수록 가중치를 적게 부여하는 방법이다.

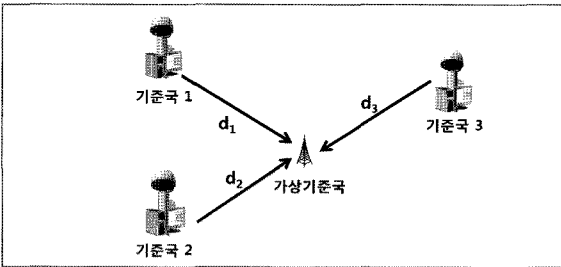


그림 3. 역거리 가중법에 의한 가상기준국 보정정보 생성

다음의 식 (1)을 통해 가상기준국의 보정정보를 산출할 수 있으며, 식 (1)에서  $\delta\rho^l$ 은 가상기준국에서 새로 생성한  $l$ 번 위성의 보정치,  $\delta\rho_j^l$ 은  $j$ 번째 기준국에서 생성한  $l$ 번 위성의 보정치를 의미한다.  $d_j$ 는  $j$ 번째 기준국과 가상기준국 사이의 거리를 의미하며,  $k$ 는 가상기준국 보정치

생성에 이용된 기준국의 개수를 나타낸다.

$$\delta\rho^l = \frac{\sum_{j=1}^k \delta\rho_j^l \frac{1}{d_j}}{\sum_{j=1}^k \frac{1}{d_j}} \quad (1)$$

### 3.2 다중 선형회귀분석법

다중 선형회귀분석법은 잔차의 제곱합을 최소로 하는 추정식을 통해 접합(fitting)하는 방식이며, 기본 개념은 그림 4에 나타내었다. 각 기준국의 위치정보와 보정정보를 식 (2)와 같이 선형함수로 나타내고, 식 (3)과 같이 잔차의 제곱합을 수식화 함으로써 계수들을 추정하게 된다. 식 (2)에서  $\delta\rho^l$ 은 가상기준국에서 새로 생성한  $l$ 번 위성의 보정치,  $\delta\rho_j^l$ 은  $j$ 번째 기준국에서 생성한  $l$ 번 위성의 보정치를 의미한다.  $\Delta\phi_j$ 와  $\Delta\lambda_j$ 는 기준국 위경도 좌표의 평균값으로 계산한 원점좌표  $\phi_o$ ,  $\lambda_o$ 와  $j$ 번째 기준국과의 위경도 차이를 나타내며,  $k$ 는 가상기준국 보정치 생성에 이용된 기준국의 개수를 의미한다. 마지막으로  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ 는 잔차의 제곱합  $S_r$ 을 최소로 하는 계수들을 나타낸다.

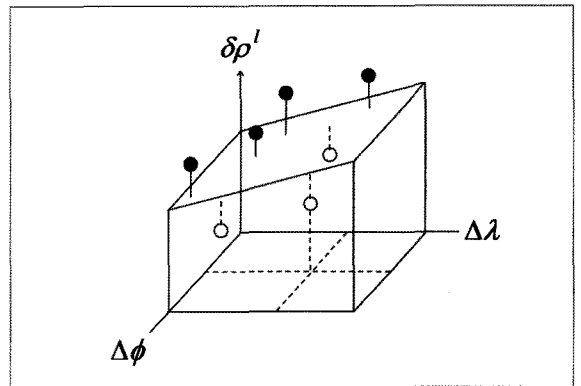


그림 4. 다중 선형회귀분석법에 의한 가상기준국 보정정보 생성

$$\delta\rho^l = a_0 + a_1\Delta\phi + a_2\Delta\lambda \quad (2)$$

$$S_r = \sum_{j=1}^k (\delta\rho_j^l - a_0 - a_1\Delta\phi_j - a_2\Delta\lambda_j)^2 \quad (3)$$

이 연구에서는 앞서 설명한 1차 다항식 기반 다중 선형 회귀분석법 이외에 2차 다항식 기반 다중 선형회귀분석법을 이용한 가상기준국 보정정보 생성 알고리즘도 구현하였다. 2차 다항식을 기반으로 하는 다중 선형회귀분석

법은 식 (4)와 (5)로 나타낼 수 있으며, 일련의 과정은 1차 다항식 기반의 과정과 동일하다. 이 방법을 통해 평면접합을 수행하게 되면 그림 4와는 다르게 곡면형태로 접합이 된다. 1차 다항식의 경우 최소한 3개 이상의 기준국 자료가 있어야 하며, 2차 다항식의 경우 최소한 6개 이상의 기준국 자료가 요구된다.

$$\delta\rho^i = a_0 + a_1\Delta\phi + a_2\Delta\lambda + a_3\Delta\phi^2 + a_4\Delta\lambda^2 + a_5\Delta\phi\Delta\lambda \quad (4)$$

$$S_r = \sum_{j=1}^k (\delta\rho_j^i - a_0 - a_1\Delta\phi_j - a_2\Delta\lambda_j - a_3\Delta\phi_j^2 - a_4\Delta\lambda_j^2 - a_5\Delta\phi_j\Delta\lambda_j)^2 \quad (5)$$

#### 4. 보정정보 생성 알고리즘 정확도 검증

이 연구에서는 3장에서 설명한 세 가지 알고리즘을 이용하여 기준국 네트워크를 이용한 가상기준국의 보정정보를 생성하였다. 기준망을 구성하는 기준국의 개수와 알고리즘 종류에 따른 측위정확도를 비교하였으며, 이를 통해 네트워크 구성을 위한 기준국 개수 선택 방안과 정확도가 가장 높은 알고리즘을 선정하였다. 또한 단일기준국 기반의 측위정확도와와의 비교를 통해 개발된 알고리즘의 정확도를 검증하였다. 이 연구에서는 개발된 세 가지 알고리즘 중 역거리 가중법은 IDW, 1차 다중 선형회귀분석법은 Planar 1, 2차 다중 선형회귀분석법은 Planar 2로 표기하도록 한다.

##### 4.1 기준국 개수와 알고리즘 종류에 따른 정확도 비교

이 연구에서 구현한 IDW, Planar 1, 그리고 Planar 2의 정확도를 검증하기에 앞서 가상기준국 보정정보를 생성할 때 이용하는 기준국의 개수가 보정정보 생성 정확도에 미치는 영향을 파악하기 위한 분석을 수행하였다. 6개 기준국을 이용하여 기준망을 구성하는 경우와 16개 기준국을 이용하여 기준망을 구성하는 경우로 구분하였으며, 각 경우의 기준망 구성도는 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 ‘★’ 기호로 표기된 지점은 기준망 구성에 사용한 기준국을 나타내며, ‘●’ 기호로 표기된 지점은 기준망을 이용하여 보정정보를 생성한 무주(MOOJ) 기준국의 위치를 나타낸 것이다. 그림 5(상)을 보듯이 6개 기준국의 경우, 무주 기준국 위치에 근접한 기준국들로 망을 구성하였으며, 그림 5(하)에 나타난 16개 기준국의 경우, 해당 시간에 끊김 없이 보정정보를 수신한 모든 기준국으로 망을 구성하였다. 이 연구에서 구현한 Planar 2 알고리즘의 경우 계수 6개

를 추정하기 최소한 6개 기준국의 PRC가 있어야 계산이 가능하기 때문에 6개 기준국을 이용하는 경우를 기준국 데이터를 최소로 이용할 수 있는 경우로 가정하였다. 또한 현재 Ntrip 서비스를 제공하고 있는 총 18개의 기준국 중 분석기간 중에 데이터 수신이 끊긴 어청도(EOCH)와 가상기준국 위치로 가정하고자 하는 무주(MOOJ)를 제외한 16개의 기준국을 이용하는 경우를 기준국 데이터를 최대한으로 이용할 수 있는 경우로 가정하였다.

6개 기준국으로 이루어진 기준망과 16개 기준국으로 이루어진 기준망을 각각 이용하여 세 가지 알고리즘으로 2011년 3월 9일 0시에서 5시까지 약 5시간의 무주 기준국 위치의 보정정보를 생성하였다. 그리고 생성한 보정정보를 이용하여 GNSS 자료처리 시 오차를 보정해줌으로써 DGNSS 측위 결과를 산출하였다. 이때 자료처리에는 위성항법중앙사무소에서 제공하는 무주 기준국의 RINEX 관측자료를 이용하였다. 좌표정확도를 계산하기 위한 참값으로는 국토지리정보원에서 제공하는 무주 기준국의 고시좌표를 사용하였다.

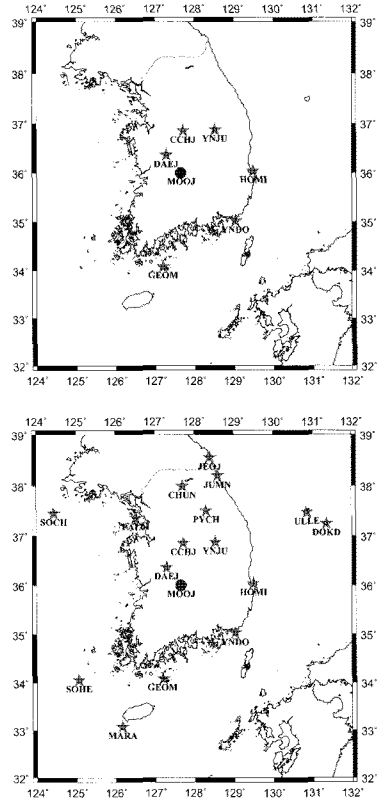


그림 5. 가상기준국 보정정보 생성 알고리즘 정확도 검증을 위한 기준망 구성(상: 6개 기준국 이용, 하: 16개 기준국 이용)

표 1과 그림 6은 기준망을 구성하는 기준국 개수와 알고리즘 종류에 따른 RMS 오차를 나타낸 결과이다. 표 1에서 확인할 수 있듯이 수평방향의 경우 세 알고리즘 모두 16개 기준국을 이용하는 경우의 정확도가 높게 나타났으며 IDW와 Planar 1은 11cm, Planar 2는 32cm 정확도가 향상되는 결과를 나타냈다. 수직방향의 경우 IDW는 6개 기준국을 이용할 때 정확도가 높게 나타났지만, 이를 제외한 Planar 1과 Planar 2의 경우에는 수평방향과 마찬가지로 16개의 기준국을 이용할 때 각각 4cm, 53cm 정확도가 향상되는 것으로 나타났다. 따라서 가상기준국 보정정보를 생성을 위한 기준망 구성에는 가능한 많은 기준국의 보정정보를 이용하는 것이 측위정확도 향상을 위한 방안이라 판단된다.

알고리즘 종류에 따른 RMS 오차 분석 결과는 다음과 같다. 16개 기준국을 사용할 경우의 수평방향 정확도는 IDW, Planar 1, Planar 2를 적용 시 각각 1.42m, 1.41m, 1.39m로 나타났으며, 수직방향 정확도는 각각 2.79m, 2.11m, 2.05m로 나타났다. 이를 통해 수평방향 정확도는 세 알고리즘이 유사한 정확도 수준을 나타내는 것을 알 수 있다. 또한 수직방향 정확도는 IDW는 Planar 1, Planar 2

에 비해 정확도가 60cm 이상 크게 낮은 결과를 나타냈으며, Planar 1과 Planar 2는 그 차이가 6cm로 비교적 유사한 결과를 나타냈다. 따라서 가상기준국 DGSS 보정정보 생성을 위한 방법으로는 Planar 1 또는 2가 적합할 것으로 판단된다. Planar 1과 Planar 2의 결과에서는 수평방향과 수직방향 모두 수 cm 차이에 불과하기 때문에 어느 것이 더 적합하다고 결론을 내리는 것은 부적절하다. 다만 Planar 1은 단순한 평면접합에 해당하고 Planar 2는 곡면접합에 해당하기 때문에 이론적으로 Planar 2가 실제 PRC 변화경향에 더 가깝게 접합할 수 있을 것으로 판단되며, 이러한 결과는 기준국들의 PRC 값에 따라 달라질 수 있다.

#### 4.2 단일기준국과 가상기준국 기반 정확도 비교

단일기준국 기반 DGSS 측위정확도와와의 비교를 통해 가상기준국 기반 DGSS 측위의 정확도 향상 정도를 분석하였다. 단일기준국 기반 DGSS 측위의 경우, 위성항법중앙사무소에서 제공하는 무주 기준국 RINEX 관측자료(2011년 3월 9일 0시-5시) 처리 시 영주(YNJU)와 영도(YNDO)의 보정정보를 각각 이용하여 단일기준국 DGSS 측위결과를 산출하였다. 영주와 영도 기준국은 사용자가 실제로 무주와 인접한 지역에서 단일기준국 기반 DGSS 측위를 수행할 경우 대전(DAEJ), 청주(CCHJ), 여청도(EOCH), 호미곶(HOMI)과 함께 보정정보를 수신 받을 수 있는 기준국이기 때문에 선정하였으며, 각각의 기선거리는 137km, 164km이다. 가상기준국 기반 DGSS 측위의 경우, 4.1절의 분석결과를 근거로 16개의 기준국으로 구성된 기준망 기반의 Planar 2 방법을 사용하여 보정정보를 생성하고 단일기준국 측위와 마찬가지로 DGSS 측위결과를 산출하였다. 단일기준국과 가상기준국 기반의 측위 정확도 결과는 표 2에 나타내었다. 표 2에서 확인할 수 있듯이 영주 기준국을 이용하는 단일기준국 기반 측위의 경우 수직방향으로 편향(bias)이 2.19m까지 크게 발생하는 것을 확인할 수 있으며, 영도 기준국을 이용하는 경우에는 동서방향의 편향은 7cm로 매우 작게 나타나는데 반해 남북, 수직방향으로의 편향은 비교적 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 반면 가상기준국을 이용한 Planar 2의 경우 기하학적으로 전국도에 분포된 기준국 네트워크를 이용하기 때문에 특정방향으로 편향이 크게 발생하지 않고 남북, 동서, 수직방향으로의 편향이 유사한 수준으로 나타나는 것을 확인할 수 있다.

표 1. 기준국 개수와 알고리즘 종류에 따른 RMS 오차(m)

	기준국 개수	남북	동서	수평	수직
IDW	6	1.25	0.89	1.53	2.44
	16	1.07	0.95	1.42	2.79
Planar 1	6	1.21	0.92	1.52	2.15
	16	1.09	0.89	1.41	2.11
Planar 2	6	1.46	0.90	1.71	2.58
	16	1.14	0.80	1.39	2.05

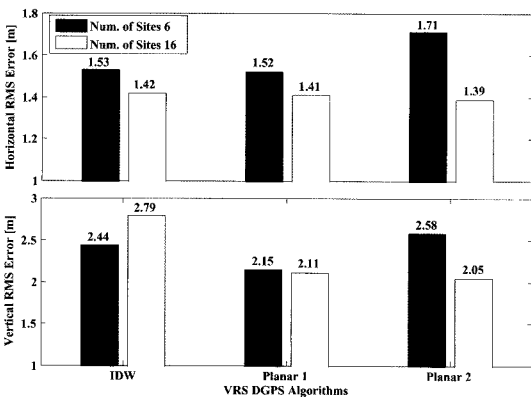


그림 6. 기준국 개수와 알고리즘 종류에 따른 측위정확도

표 2. 단일기준국과 가상기준국 기반 측위오차 분석(m)

		평균오차	표준편차	RMSE
단일기준국 (YNJU)	남북	-0.52	1.22	1.33
	동서	0.81	0.91	1.22
	수직	2.19	2.34	3.20
단일기준국 (YND0)	남북	-0.70	1.24	1.43
	동서	0.07	0.98	0.99
	수직	0.90	2.40	2.56
Planar 2	남북	-0.56	1.00	1.14
	동서	-0.33	0.73	0.80
	수직	0.47	1.99	2.05

그림 7은 단일기준국과 가상기준국 기반 DGNSS 측위 결과의 수평오차를 나타낸 것이다. 그림 7을 보면 단일기준국 기반의 YNJU(●)와 YND0(○)는 가상기준국 기반의 Planar 2(+)에 비해 북서, 남동방향으로 더 넓게 산포되어 있는 것을 확인 할 수 있으며 이러한 결과는 표 2의 결과를 통해서도 확인 할 수 있다. 이를 통해 단일기준국을 이용하는 YNJU, YND0 경우의 측위정밀도가 가상기준국을 이용하는 Planar 2의 측위정밀도보다 낮은 것을 확인하였다.

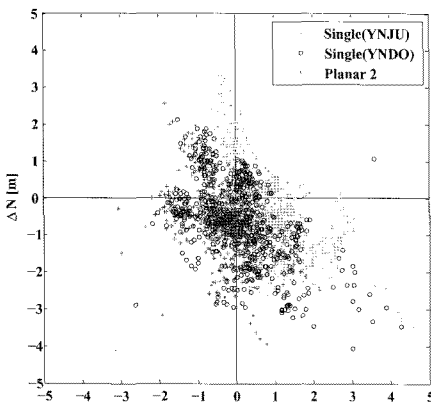


그림 7. 단일기준국과 가상기준국 기반 DGNSS 측위 수평정확도

그림 8의 RMS 오차 분석을 통해서도 단일기준국을 이용할 때보다 기준망을 이용하여 측위지점의 보정정보를 생성해서 사용할 때 수평정확도가 향상되는 것을 알 수 있다. YNJU와 YND0 기준국을 이용할 때보다 가상기준국을 이용할 때 수평정확도가 각각 34-41cm 향상되었으며, 수직오차의 경우도 51-115cm 향상되는 결과를 나타냈다. 이는 단일기준국 기반의 DGNSS 측위보다 가상기준

국 기반의 DGNSS 측위시 수평정확도는 약 20-23%, 수직정확도는 약 20-36% 향상되는 결과이다.

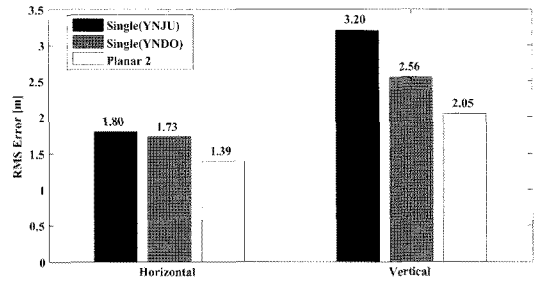


그림 8. 단일기준국과 가상기준국 기반 RMS 오차 비교

한 가지 주목해야 할 사항은 그림 7에서 측위정확도가 갑자기 저하되는 이상점들이다. 이러한 경우는 좌표산출에 앞서 기준국에서 제공하는 보정정보에서 1차적으로 먼저 이상점이 발생하는 경우가 대부분이며, 위성상태(health), 위성궤도력, 기준국 하드웨어, 전송과정 문제가 이 이상점의 원인이 될 수 있다. 따라서 이 연구에서 개발한 알고리즘을 통해 네트워크 기반 가상기준국 보정정보를 생성하기 이전에 전처리 과정을 통해 이상점들을 제거하고 보정하는 작업이 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

또한 이 연구에서 사용한 측위 알고리즘에는 잡음(noise)이 심한 GPS 코드데이터의 평활화(smoothing) 과정이 포함되어 있지 않기 때문에 기존의 DGNSS 측위정확도 및 정밀도에 비해 다소 낮은 수준의 결과가 산출된 것으로 판단된다. 따라서 향후 보정정보 이상점 제거 알고리즘과 함께 코드데이터의 평활화 작업이 추가적으로 이루어진다면 더 향상된 결과를 산출할 수 있을 것이다.

## 5. 결론

이 연구에서는 국토해양부에서 DGNSS 서비스의 광역화 및 상용화를 위해서 현재 연구개발 중인 지상파 DMB 기반 DGNSS 서비스에 대해 간략히 소개하고, 이 시스템에 적용할 수 있는 가상기준국 기반의 DGNSS 알고리즘을 구현하였다. 기준망을 구성하는 각 기준국의 보정정보를 이용하여 가상기준국의 보정정보를 생성해내는 Measurement Domain의 개념을 이용하여 역거리 가중법, 1차·2차 다중 선형회귀분석법, 총 세 가지 알고리즘을 구현하였다. 먼저 기준망을 구성하는 기준국의 개수가 보정정보 생성 정확도에 미치는 영향을 확인하기 위하여 6개

기준국을 이용하는 경우와 16개 기준국을 이용하는 경우의 측위정확도를 비교하였으며, 그 결과 16개 기준국을 이용할 때의 정확도가 더 높게 나타났다. 이를 통해 가상 기준국 기반의 DGNSS 보정정보 정확도 향상을 위해서는 가능한 많은 기준국의 보정정보를 이용하는 것이 효율적인 것을 알 수 있다. 또한 역거리 가중법과 1차, 2차 다중 선형회귀분석법 중에서는 1차, 2차 다중 선형회귀분석법을 이용한 경우가 역거리 가중법보다 정확한 측위 결과를 도출하였으며 다중 선형회귀분석법은 1차와 2차가 큰 차이를 나타내지 않는 것을 확인하였다. 단일기준국을 이용한 DGNSS 측위와 네트워크 기반 가상기준국의 DGNSS 측위정확도를 비교한 결과는 단일기준국을 이용한 측위보다 가상기준국을 이용한 측위가 수평정확도 약 20-23% 수직정확도 약 20-36% 향상된 결과를 나타냈다. 향후 관측환경 및 수신장비 등에 따라 달라지는 정확도에 대한 분석이 다각적으로 이루어져 하며, 일반 저가 항법용 수신기의 동적 환경에 대한 분석을 통해 실제 환경에 대한 정확도 분석이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 소관 연구개발사업 “지상파 DMB기반 DGPS 서비스 광역화 및 상용화 기술개발” 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

국토해양부 (2010), 인공위성을 통한 1m급 위치정보 서

비스 대중화, 국토해양부 보도자료.

배상태 (2003), 다중 기준국을 이용한 DGPS의 보정정보 개선을 위한 알고리즘 개발, 석사학위논문, 한밭대학교, pp. 5-9.

배준수, 김승엽, 기창돈 (2003), VRS를 이용한 IDGPS의 응용 및 구현, 한국항공우주학회, 2003 춘계학술발표회 논문집, pp. 432-435.

최영종, 배용찬, 이동호, 한재식 (2008), 우리나라 환경에서의 NTRIP 성능분석, 제 15차 GNSS Workshop Proceeding, 10. GNSS 관련기술.

Abousalem M. A. (1997), Performance Overview of Two WADGPS Algorithms, *GPS World*, Vol. 8, No. 5, pp. 48-58.

Loomis, T. Sheynblatt, L., and Mueller, T. (1991), Differential GPS Network Design, *Institute Of Navigation*, Albuquerque, pp. 511-520.

Mueller, T. (1994), Minimum Variance Network DGPS Algorithm, TAU Corporation, *Position Location and Navigation Symposium*, IEEE. pp. 418-425.

Oh, K. R., Kim, J. C., and Nam, G. W. (2005), Development of Navigation Algorithm to Improve Position Accuracy by Using Multi-DGPS Reference Stations' PRC Information, *Journal of Global Positioning System*, Vol. 4, No. 1-2, pp. 144-150.

Tang, W., Johnson, N., and Graff, J. (1989), Differential GPS Operation with Multiple Ground Reference Stations, *Institute Of Navigation*, Colorado Springs, pp. 319-323.

(접수일 2011. 04. 03, 심사일 2011. 04. 19, 심사완료일 2011. 05. 24)