

# 비공통오차 증가로 인한 위성항법보강시스템 위치 오차 분산 변화 분석

전향식<sup>\*</sup> · 안종선<sup>\*\*</sup> · 염찬홍<sup>\*</sup> · 이영재<sup>\*\*</sup> · 최영규<sup>\*\*\*</sup>  
<sup>\*</sup>한국항공우주연구원 · <sup>\*\*</sup>건국대학교 · <sup>\*\*\*</sup>부산대학교

## Analysis of Position Error Variance on GNSS Augmentation System due to Non-Common Measurement Error

Hyang-Sig Jun<sup>\*</sup> · Jongsun Ahn<sup>\*\*</sup> · Chan Hong Yeom<sup>\*</sup> · Youngjae Lee<sup>\*\*</sup> · Youngkiu Choi<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Korea Aerospace Research Institute · <sup>\*\*</sup>Konkuk University · <sup>\*\*\*</sup>Pusan National University

E-mail : hsjun@kari.re.kr · younglee@konkuk.ac.kr

### 요 약

위성항법보강시스템은 위성항법시스템 (GNSS : Global Navigation Satellite System)의 측정값에 오차 성분을 제거하여 정밀한 항법 정보를 제공한다. 하지만 기준국과 이동국 사이의 공통오차는 제거할 수 있지만 전리층, 대류층, 신호잡음 등에 의해 발생하는 노이즈 성분의 비공통오차는 제거할 수 없다. 본 논문에서는 다중 기준국을 사용하여 유동적인 전리층 및 대류층 습윤 증기량에 따라 비공통오차의 증가를 위치 오차 분산 변화를 통해 확인하였다.

### ABSTRACT

A GNSS augmentation system provides precise position information using corrected GNSS pseudorange measurements. Common bias errors are corrected by PRC (Pseudorange Correction) between reference stations and a rover. However non-common errors (Ionospheric and Tropospheric noise error) are not corrected. Using position error variance this paper analyzes non-common errors (noise errors) of ionosphere and troposphere wet vapor.

### 키워드

위성항법보강시스템, 전리층, 대류층, 비공통오차, 다중 기준국

## I. 서 론

위성항법보강시스템은 위성항법시스템 (GPS, Galileo, GLONASS 등)의 측정값을 사용하여 정밀 항법 정보를 제공한다. 이를 위해 위성항법보강시스템의 다중 기준국 (Multiple Reference Station)에서는 위성항법시스템의 측정값의 오차 성분을 계산하고, 이동국 (Rover)으로 하여금 공통오차를 제거할 수 있도록 의사거리 보정정보 (Pseudorange Correction)을 제공한다. 하지만 위성항법시스템의 측정값이 전송될 때 발생하는 바이어스 성분의 공통오차 (전리층 지연 오차, 대류층 지연 오차, 위성시계오차, 위성궤도오차)는 의사거리 보정정보를 통해 제거할 수 있지만 전리층 두께 및 대류층 습윤증기량의 증가로 인한 노이즈 성분의 비공통오차는 제거하기 힘들어 위치 오차 증가로 이어진다. 본 논문에서는 비공통

오차의 증가를 관찰하기 위해 한국항공우주연구원에 설치되어 있는 3곳의 기준국에서 수신된 GPS 데이터를 통해 전리층 활동 시간대별, 대기의 습윤증기의 양에 따라 위치를 계산하고 위치 오차 분산 경향을 분석하였다.

## II. 이론적 배경

### II-1 위성항법시스템

국제 민간 항공기구 (ICAO : International Civil Aviation Organization)에서는 기존의 통신 (Communication), 항법 (Surveillance) 및 관제 (Air Traffic Management) 시스템을 도입하기 위해 FANS (Future Air Navigation System) 특별 위원회는 제 10차 ICAO 차세대 항행회의를 개최

하여 기존 항공운항시설 (ILS : Instrument Landing System, VOR, Very high frequency Omnidirectional Range, DME : Distance Measuring Equipment) 등을 대체할 수 있는 대안으로 위성항법시스템을 이용하여 항공기 항법, 유도 및 착륙에 적용할 것을 의결하였다. 하지만 위성항법시스템에서 전송되는 측정값에는 각종 오차가 포함되어 있어, 이를 보정하기 위해 위성항법보강시스템을 개발하고 있다. 위성항법보강시스템은 시스템 형태 및 보정정보적용 방법에 따라 GBAS (Ground Based Augmentation System) SBAS (Satellite Based Augmentation System) GRAS (Ground Regional Augmentation)으로 구분할 수 있다[1].

### II-II 위성항법시스템 신호 오차 제거 방법

위성항법시스템의 오차 성분은 식(1)과 같이 위성 시계 오차, 위성 신호 전송 구간 존재하는 전리층, 대류층, 다중경로오차, 수신기시계오차, 기타 노이즈로 분류될 수 있다[2].

$$\rho_A^i = R_A^i + c(b_A - B^i) + I_A^i + T_A^i + M_A^i + v_A^i \quad (1)$$

- $\rho_A^i$  : 수신기 A에서 위성 i로부터 전송되는 의사거리
- $R_A^i$  : 수신기와 위성사이의 실제거리
- $c$  : 빛의속도
- $b_A - B^i$  : 수신기와 위성시계 바이어스 오차
- $I_A^i$  : 전리층 바이어스 오차
- $T_A^i$  : 대류층 바이어스 오차
- $M_A^i$  : 다중경로오차
- $v_A^i$  : 기타 노이즈

위성항법보강시스템에서는 기준국(A)에서는 위성항법 메시지로부터 전송되는 위성좌표와 기준국 위치를 통해 실제거리( $R_A^i$ )를 계산한다. 실제거리를 식 (1)에 차분을 하게 되면 각종 오차 성분이 남는다. 이를 식(2)와 같이 의사거리 보정정보 (Pseudorange Correction)이라 한다.

$$PRC_A^i = c(b_A - B^i) + I_A^i + T_A^i + M_A^i + v_A^i \quad (2)$$

계산된 의사거리 보정정보는 이동국(B)에 적용되어 공통오차인 위성시계바이어스 오차, 전리층 바이어스 오차, 대류층 바이어스 오차등이 제거되어 식(3)과 같이 다중경로오차, 수신기시계오차, 기타 노이즈 오차만 남게 된다.

$$\rho_B^i \approx R_B^i + c(b_B - b_A) + M_B^i + v_B^i \quad (3)$$

이로써 기존 의사거리보다 정확한 거리 정보를 통해 위치 계산을 함으로써 정확한 위치를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 위치계산에 반영하는 최

소 위성 경사각을 15도 설정하고, 양호한 수신환경 (한국항공우주연구원 옥상)을 통해 다중경로오차를 최소화하였다.

### II-III 비공통오차 (노이즈) 성분의 증폭

독립적인 정규 분포를 합산하거나 차분을 하게 되면 식 (4)와 같이 분산은 정규 분포의 가법성에 의해 두 정규 분포의 합이 된다. 위성항법보강시스템을 통해 제거 되고 남은 기타 노이즈 역시 서로 다른 수신기, 안테나, 케이블, 수신환경으로 인해 독립적이며, 노이즈 특성은 정규분포 형태로 가정한다.

$$\begin{aligned} X_1 &\sim N(\mu_1, \sigma_1^2) \\ X_2 &\sim N(\mu_2, \sigma_2^2) \\ X_1 + X_2 &\sim N(\mu_1 + \mu_2, \sigma_1^2 + \sigma_2^2) \end{aligned} \quad (4)$$

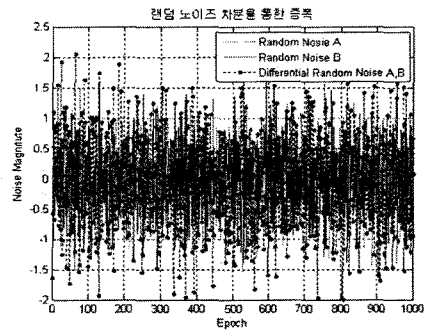


그림 1. 두 정규분포의 합산

본 논문에서는 위와 같은 정규분포의 가법성에 착안하여, 전리층 및 대류층 습윤증기량 의해 발생하는 노이즈 합산으로 인한 비공통오차의 증가를 위치 오차를 통해 분석할 것이다.

### III. 전리층 활동 시간대별 이동국 위치오차분석

전리층은 지표면으로부터 65~2,000Km에 이르는 화된 영역을 일컫는다. 전리층은 태양의 활동여부에 따라 민감하게 변화하며, 위성항법시스템 신호에 지연 및 노이즈 성분을 발생시킨다[3]. 본 논문에서는 하루 동안 (2007년 8월 17일)의 태양의 활동 시기에 따라 표1과 같이 분류하여, 이동국의 위치 오차 및 분산 증가여부를 실험하였다.

표 1. 태양활동시간에 따른 실험 데이터 분류

분류	시간	샘플수
자정 및 새벽	23시~익일 1시	14,000
아침 및 저녁	8시~9시, 18시~19시	14,000
정오	11시~13시	14,000

또한 전리층의 영향을 관찰하기 위해 GPS 위치 오차에 영향을 주는 요인 중 DOP (Dilution

of Precision)은 2이하, 가시위성은 8개 이상이 관측된 데이터를 사용하여, DOP 및 가시위성에 의한 영향을 최소화하였다.

그림 2~4은 2개의 기준국으로부터 생성된 의사거리 보정정보를 사용하여 전리층 활동 시간대별 이동국의 ENU 좌표계의 East 방향, North 방향, Up 방향의 위치 오차를 나타낸 것이다.

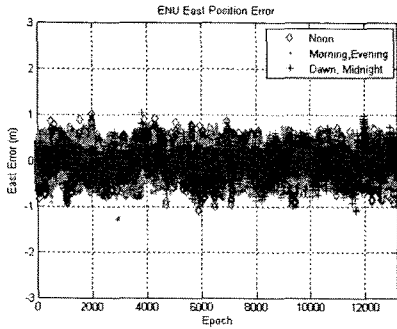


그림 2. 전리층 활동에 따른 East방향 위치오차

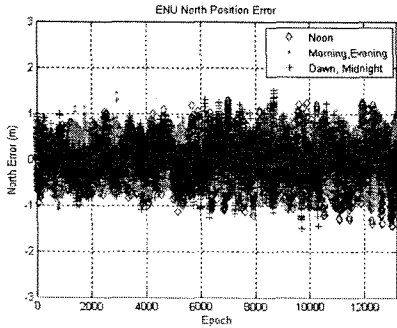


그림 3. 전리층 활동에 따른 North방향 위치오차

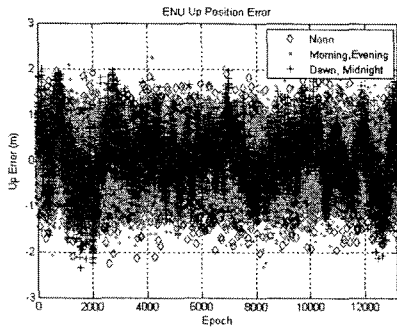


그림 4. 전리층 활동에 따른 Up방향 위치오차

그림 5는 위의 결과를 바탕으로 자정부터 저오까지의 전리층 활동시간대별 이동국 위치 오차 분산값을 나타낸 것이다.

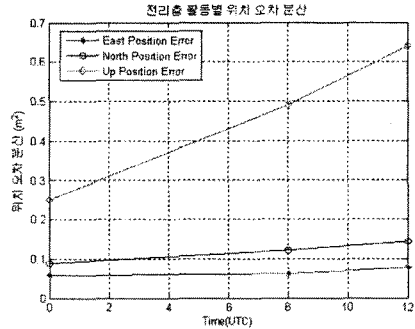


그림 5. 전리층 활동에 따른 위치오차 분산

그림 5에서와 같이 전리층 활동의 커져감에 따라 모든 방향의 위치오차가 증가하고 있으며, 특히 수직방향의 오차 증가가 두드러짐을 알 수 있다.

#### IV. 대류층 습윤증기량에 따른 이동국 위치오차분석

우리나라의 계절적인 특성에 의해 계절별 습도가 차이가 난다. 습도의 변화는 대류층의 신타레이션(Scintillation)의 증가의 주요 요인이며, 신호세기의 분산값을 증가시킨다[4]. 본 연구에서는 대기중 습윤증기의 영향에 따른 GPS 위치 오차 증가를 관찰하기 위해 기상청에서 제공하는 과거 상대습도데이터를 이용하였다. 위치 오차의 영향을 주는 다른 요인들을 배제하기 위해 DOP은 2 이하, 가시위성은 8개 이상이 관측된 데이터를 사용하였다. 또한 전리층이 영향을 최소화하기 위해 전리층 활동이 적은 자정 주변의 데이터를 사용하였다.

표 2. 실험 데이터 습윤증기량

일시	상대습도(%)	습윤증기량 ( $g/m^2$ )
2006. 07. 16	96	19.74
2006. 07. 01	85	15.57
2006. 10. 18	75	11.67
2007. 05. 24	65	9.21
2007. 03. 13	55	6.74
2007. 03. 16	45	5.96
2007. 03. 15	35	3.08
2007. 02. 14	27	1.48

그림 6~8은 2개의 기준국으로부터 생성된 의사거리 보정정보를 사용하여 대기중 습윤증기량에 따른 이동국의 ENU 좌표계의 Up 방향의 위치 오차를 나타낸 것이다.

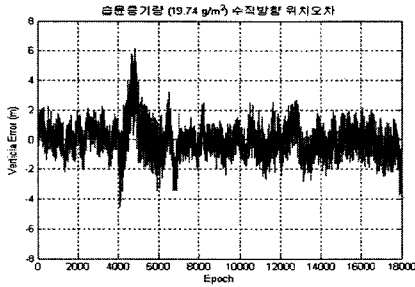


그림 6. 습윤증기량  $19.74\text{g/m}^3$  수직 방향 위치오차

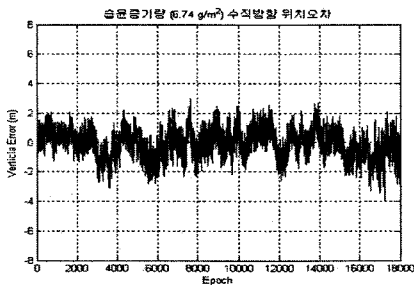


그림 7. 습윤증기량  $6.74\text{g/m}^3$  수직 방향 위치 오차

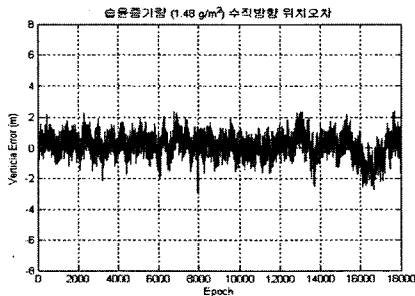


그림 8. 습윤증기량  $1.48\text{g/m}^3$  수직 방향 위치 오차

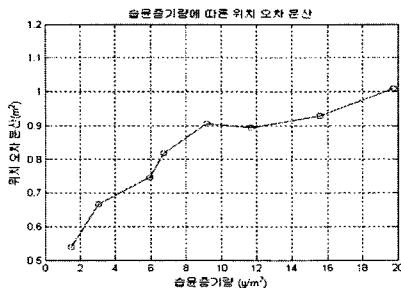


그림 9. 습윤증기량에 따른 위치 오차 분산

그림 9는 위의 결과를 바탕으로 습윤증기량에 따른 이동국 수직 위치 오차 분산값을 나타낸 것이다.

그림 9에서와 같이 습윤증기량 증가에 따라 위치 오차가 증가하고 있음을 알 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 전리층 및 대류층 습윤증기량 증가로 인한 위성항법보강시스템에 비공통오차 및 위치 오차 분산 증가를 확인하였다. 항공분야에서 비공통오차에 의한 위치 오차 증가는 항공기 항법 정보의 정확성을 떨어뜨릴 수 있으며, 안전과 직결되는 무결성 성능을 저하시킬 수 있다. 이로 인해 위성항법보강시스템 주변의 환경에 의해 고려해야하는 환경 요인을 정립하고 보정정보의 적용 시 반드시 고려되어야 함을 알 수 있었다. 하지만 위치 오차를 통해 측정값의 비공통오차 증가 여부를 판단하는데는 여러 가지 외부 요인(DOP, 가시위성 등)으로 많은 어려움이 있어, 본 논문에서는 전리층 및 대류층 습윤증기량에 따른 비공통오차 증가의 경향만을 파악하였다. 향후에는 전리층 및 대류층 습윤증기량에 의한 비공통오차의 증가를 위성의 개별적인 측정값을 통해 검증하고 정량화하는 연구를 수행할 것이다.

### 후 기

본 연구는 국토해양부 항공선진화사업 “항공관제용 통합 정보처리 시스템 개발과 항공용 위성항법시스템 기반기술 개발”에 의해 수행되었으며, 지원에 감사드립니다

### 참고문헌

- [1] 국토해양부 국가교통핵심기술개발 사업, 제 3차년도 위탁과제, “차세대 위성항행시스템 성능평가 요소기술 연구보고서, p.13, 2007. 08
- [2] Jiyun Lee, “GPS Based Aircraft Landing Systems with Enhanced Performance Beyond Accuracy”, Ph.D Thesis, p. 6, 2007. 03
- [3] 한재호, “GPS 정밀도 향상을 위한 전리층 지연효과에 관한 연구”, 석사학위논문, p. 4, 2004. 02
- [4] Pedro Garcia, Jose M. Riera and Ana Benarroch, “Statics of dry and wet scintillation in Madrid using Italsat 50GHz beacon”, 1st International Workshop, 2002. 07