
비공통오차 증가로 인한 위성항법보강시스템 위치 오차 분산 변화 분석

전향식* · 안종선** · 염찬홍* · 이영재** · 최영규***

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

Hyang-Sig Jun* · Jongsun Ahn** · Chan Hong Yeom* · Youngjae Lee** · Youngkiu Choi***

이 논문은 2007년도 국토해양부 항공선진화사업 “항공관제용 통합 정보처리 시스템 개발과
항공용 위성항법 시스템 기반기술 개발”에 의해 지원받았음

요 약

위성항법보강시스템은 위성항법시스템 (GNSS : Global Navigation Satellite System)의 측정값에 오차 성분을 제거하여 정밀한 항법 정보를 제공한다. 하지만 기준국과 이동국 사이의 공통오차 (전리층 지연, 대류층 지연, 위성 시계오차, 궤도력 오차)는 제거할 수 있지만 전리층, 대류층, 신호잡음 등에 의해 발생하는 노이즈 성분의 비공통 오차는 제거할 수 없다. 비공통오차는 항법정보의 오차를 발생하여, 항공기가 잘못된 위치정보를 사용할 수 있으며, 특히 이·착륙시에 잘못된 항법정보는 항공기 안전에 심각한 영향을 미치게 된다. 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 precision 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 error (noise errors) of ionosphere and troposphere wet vapor.

키워드

위성항법보강시스템, 전리층, 대류층, 비공통오차, 다중 기준국

* 한국항공우주연구원
** 건국대학교
*** 부산대학교

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 오차성분을 계산하고, 이동국 (Rover)으로 하여금 공통오차를 제거할 수 있도록 의사거리 보정정보 (PRC : Pseudorange Correction)을 제공한다. 하지만 위성항법시스템의 측정값이 전송될 때 발생하는 바이어스 성분의 공통오차 (전리층 지연 오차, 대류층 지연 오차, 위성 시계 오차, 위성 궤도 오차)는 의사거리 보정정보를 통해 제거할 수 있지만 전리층 두께 및 대류층 습윤증기량의 증가로 인한 노이즈 성분의 비공통오차는 제거하기 힘들어 이동국의 위치 오차 증가로 이어진다. 본 논문에서는 비공통오차의 증가를 관찰하기 위해 한국항공우주연구원에 설치되어 있는 3곳의 기준국에서 수신된 GPS 데이터를 통해 전리층 활동 시간대별, 대기의 습윤증기량에 따라 위치를 계산하고 이동국의 위치 오차 분산 경향을 분석하였다.

II. 이론적 배경

II-I 위성항법시스템

국제 민간 항공기구 (ICAO : International Civil Aviation Organization)에서는 기존의 통신 (Communication), 항법 (Navigation), 감시 (Surveillance) 및 관제 (Air Traffic Management) 시스템을 도입하기 위해 FANS (Future Air Navigation System) 특별 위원회는 제 10차 ICAO 차세대 항행회의를 개최하여 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 System)로 구분할 수 있다[1].

II-I 위성항법시스템

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

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

ρ_A^i : 수신기 A에서 위성 i로 부터 전송되는 의사거리

R_A^i : 수신기와 위성사이의 실제 거리

c : 빛의 속도

$b_A - B^i$: 수신기와 위성 시계 바이어스 오차

I_A^i : 전리층 바이어스 오차

T_A^i : 대류층 바이어스 오차

M_A^i : 다중경로 오차

v_A^i : 기타 노이즈

기준국(A)에서는 기준국 정밀 위치와 위성항법 메시지로 부터 전송되는 위성좌표를 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 (PRC : Pseudorange Correction)라 한다.

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

이로써 기존 의사거리보다 정확한 거리 정보를 통해 위치 계산을 함으로써 정확한 위치를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 위치계산에 반영하는 최소 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 제거되고 남은 기타 노이즈 역시 서로 다른 수신기, 안테나, 케이블, 수신환경으로 인해 독립적이며, 노이즈 특성은

정규분포 형태로 가정한다.

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

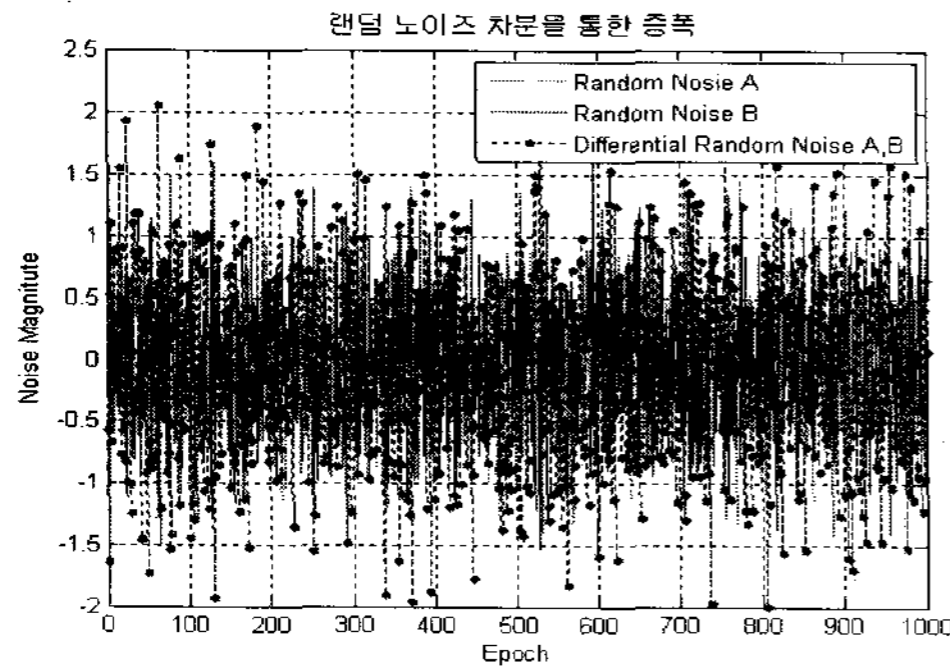


그림 1. 두 정규분포의 합산
Fig. 1 Sum of two gaussian distribution

본 논문에서는 위와 같은 정규분포의 가법성을 통해, 전리층 및 대류층 습윤증기량 의해 발생하는 노이즈 합산으로 인한 비공통 오차의 증가를 이동국의 위치 오차를 통해 분석한 것이다.

III. 전리층 활동 시간대별 이동국 위치오차분석

전리층은 지표면으로부터 65~2,000Km에 이온화된 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 표 1과 같이 분류하여, 이동국의 위치 오차 및 분산 증가여부를 실험하였다.

표 1. 태양활동 시간에 따른 실험 데이터 분류
Table. 1 GPS measurement classification (sun activity)

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

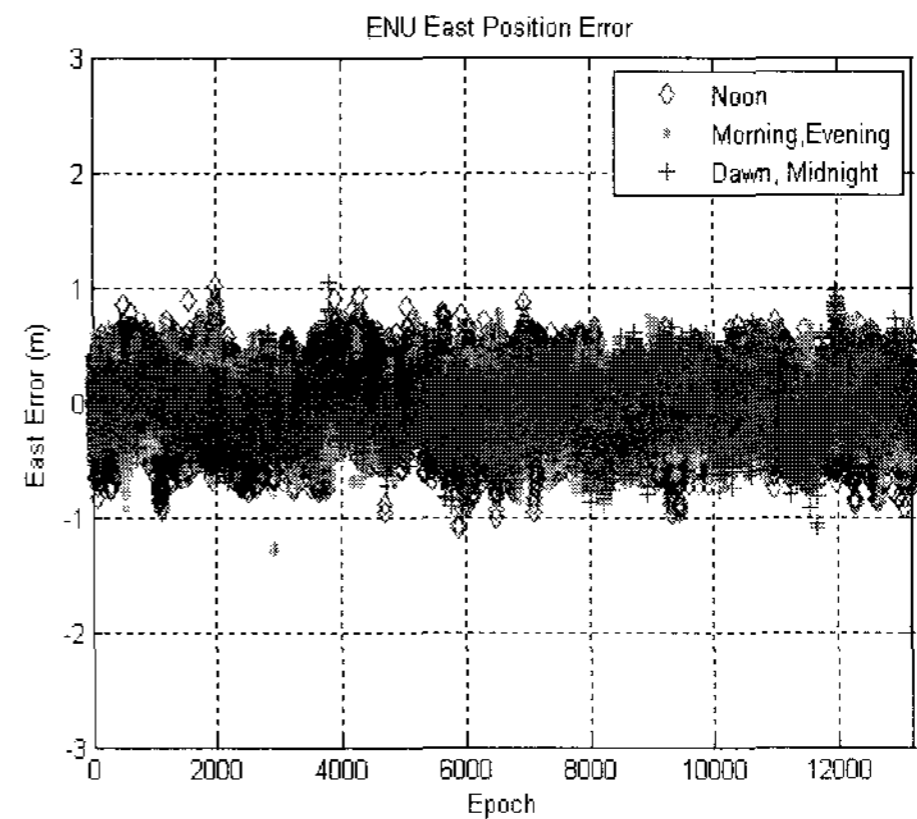


그림 2. 전리층 활동에 따른 East 방향 위치 오차
Fig. 2 Effect of ionospheric on position error (East)

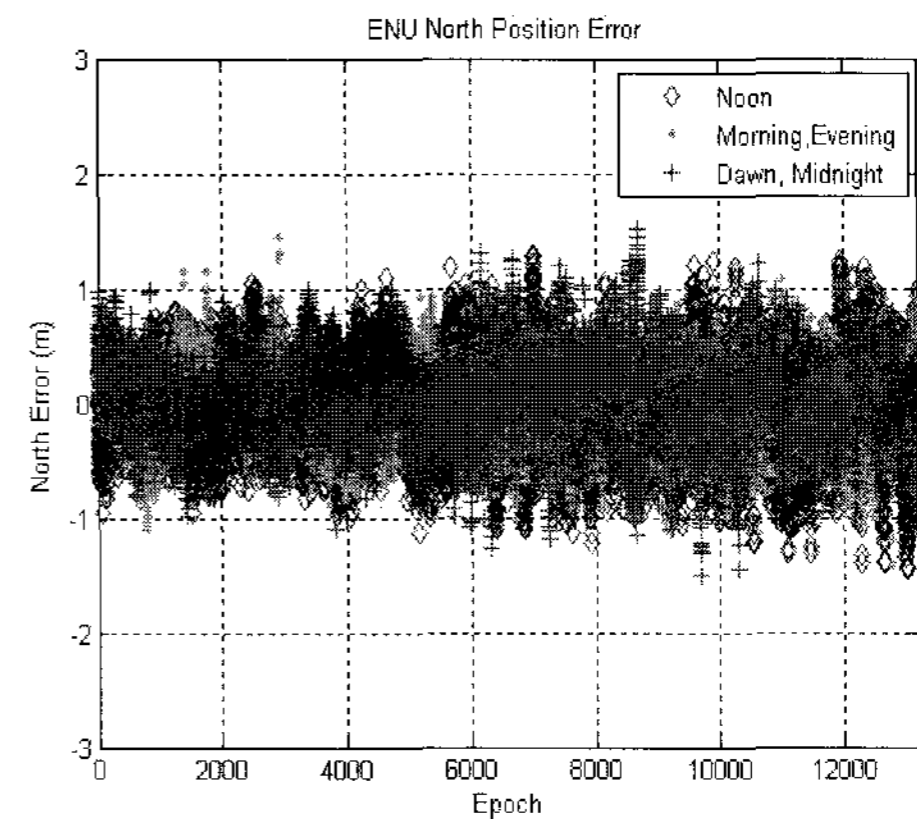


그림 3. 전리층 활동에 따른 North 방향 위치 오차
Fig. 3 Effect of ionospheric on position error (North)

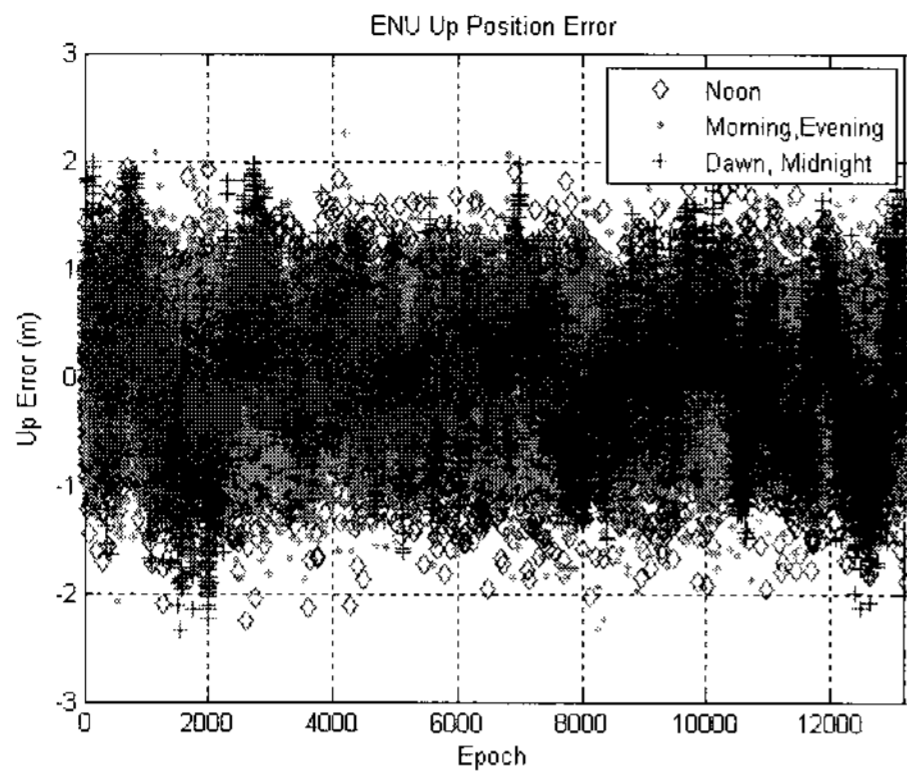


그림 4. 전리층 활동에 따른 Up 방향 위치 오차
Fig. 4 Effect of ionospheric on position error (Up)

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

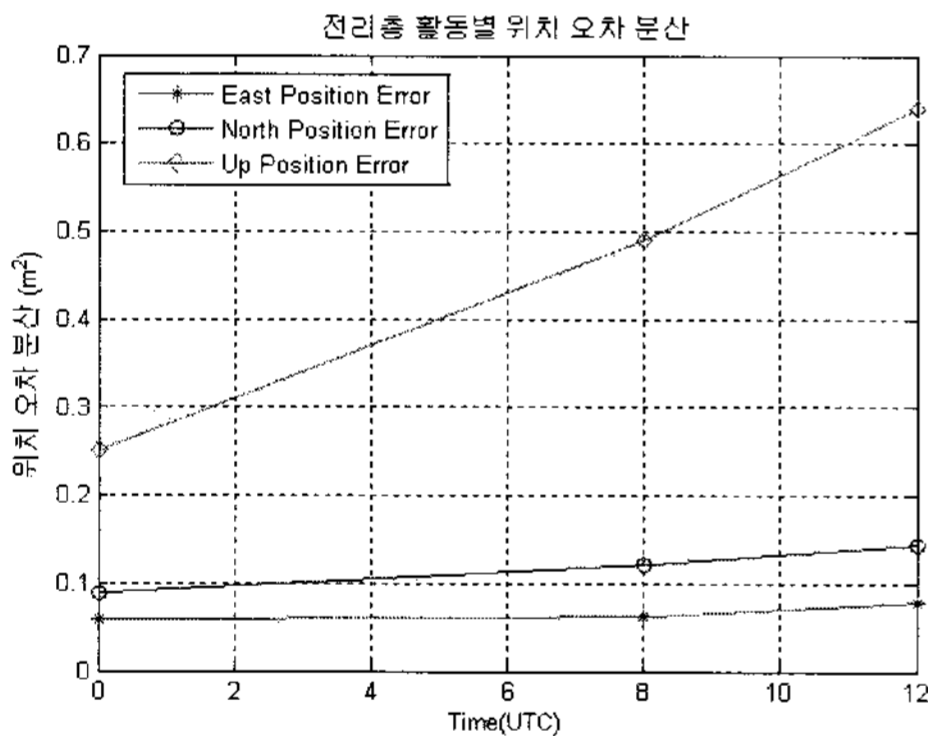


그림 5. 전리층 활동에 따른 위치오차 분산
Fig. 5 Effect of ionospheric on position error variance

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 위치 오차분석

우리나라의 계절적인 특성에 의해 계절별 습도가 차이가 난다. 습도의 변화는 대류층의 신타레이션 (Scintillation)의

증가의 주요 요인이며, 신호 세기의 분산값을 증가 시킨다[4]. 본 연구에서는 대기 중 습윤증기의 영향에 따른 GPS 위치 오차 증가를 관찰하기 위해 기상청에서 제공하는 과거 상대습도데이터를 이용하였다. 위치 오차의 영향을 주는 다른 요인들을 배제하기 위해 DOP은 2이하, 가시위성은 8개 이상이 관측된 데이터를 사용하였다. 또한 전리층이 영향을 최소화하기 위해 전리층 활동이 적은 자정 주변의 데이터를 사용하였다.

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

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

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

표 2. 실험 데이터 습윤증기량
Table. 2 Wet vapor of GPS measurement

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

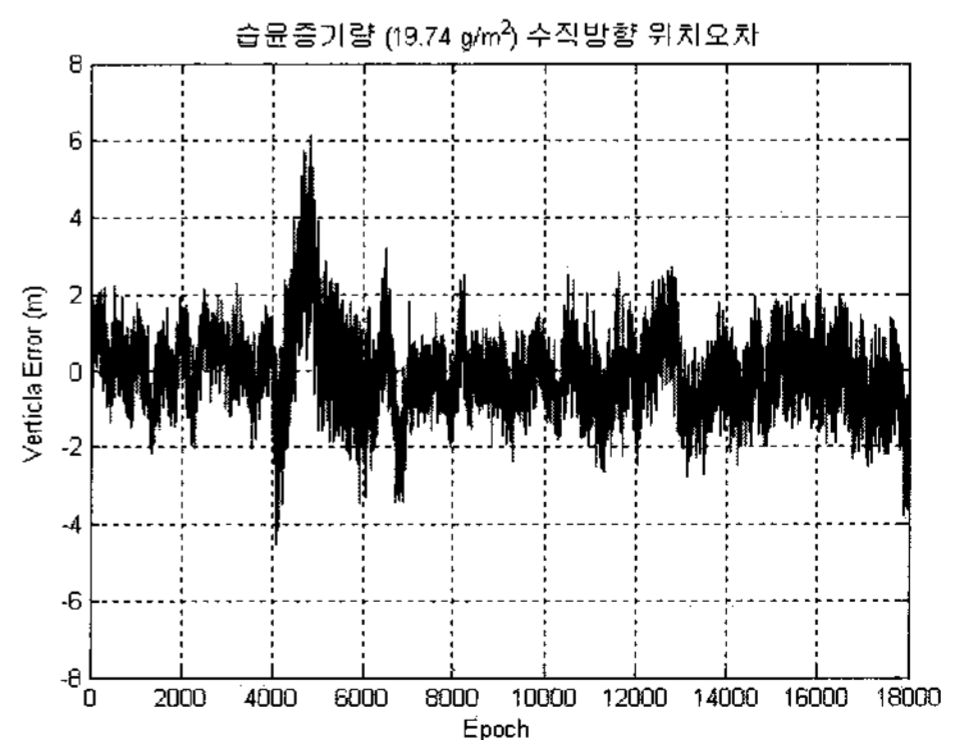


그림 6. 수직방향위치오차 (습윤증기량 $19.74g/m^2$)
Fig. 6 Vertical position error (wet vapor : $19.74g/m^2$)

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 고려해야 하는 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.

감사의 글

본 연구는 2007년도 국토해양부 항공선진화 사업 “항공관제용 통합 정보처리 시스템 개발과 항공용 위성항법 시스템 기반기술 개발”에 의해 이루어진 연구로서, 관계 부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 국토해양부 항공선진화사업, 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

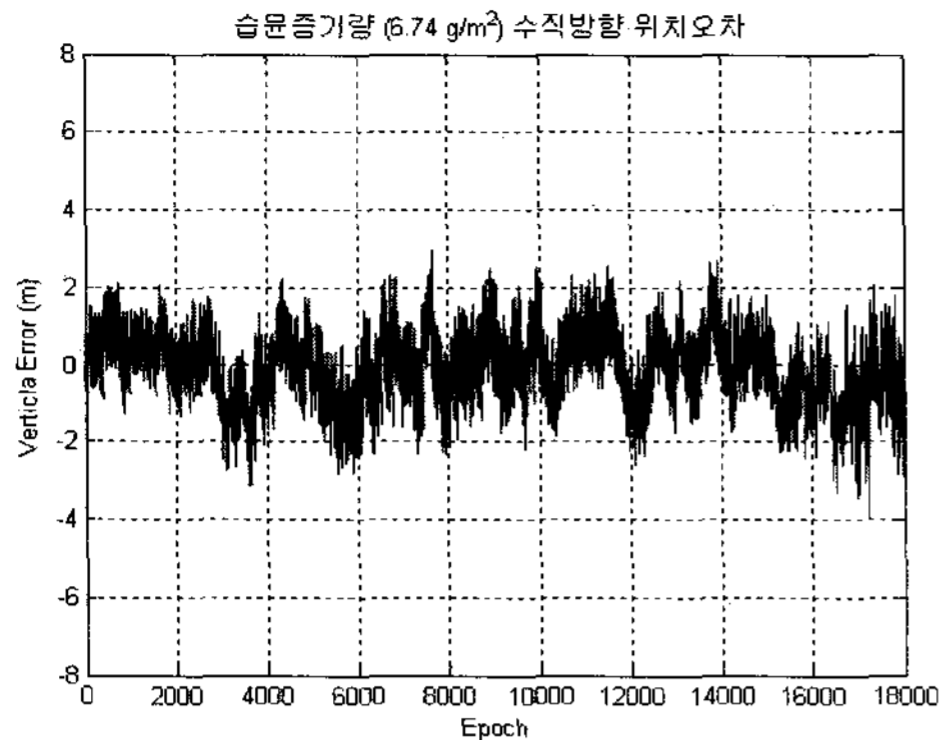


그림 7. 수직방향위치오차 (습윤증기량 $6.74g/m^2$)
Fig. 7 Vertical position error (wet vapor : $6.74g/m^2$)

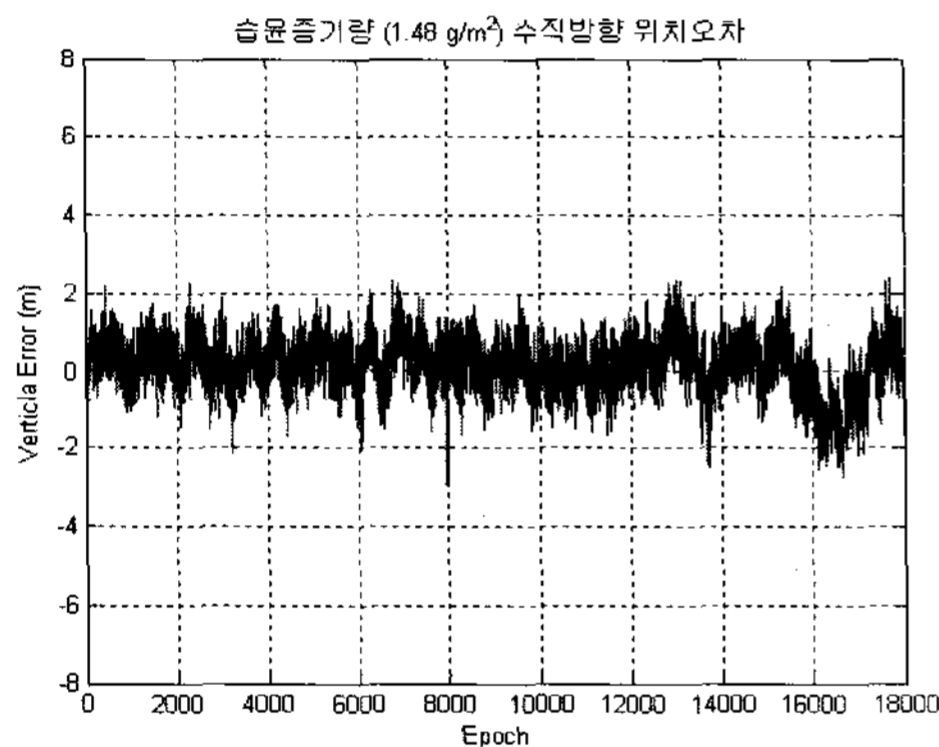


그림 8. 수직방향위치오차 (습윤증기량 $1.48g/m^2$)
Fig. 8 Vertical position error (wet vapor : $1.48g/m^2$)

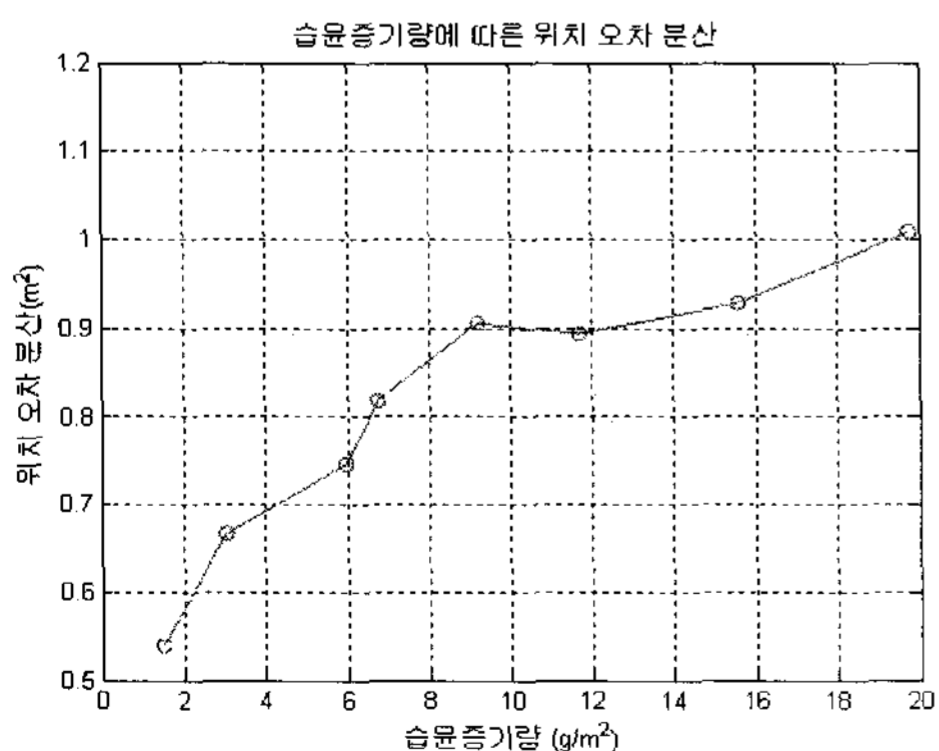


그림 9. 습윤증기량에 따른 위치 오차 분산
Fig. 9 Effect of wet vapor on position error variance

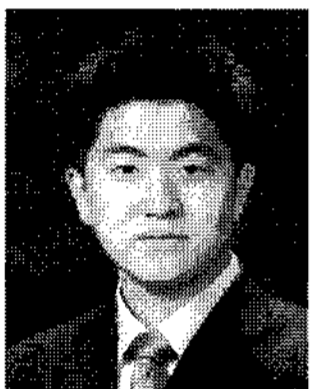
저 자 소 개



전 향 식 (田 香 植)

1966년 1월 25일생
1988년 부산대학교 전기공학과 졸업
1992년 동 대학원 전기공학과 졸업
(석사)

1999년 동대학원 전기공학 박사 수료
1991~1999년 대우중공업, 1999~2003년 한국항공우주
산업
2004~현재 한국항공우주연구원
Tel : 042-860-2818
Fax : 042-860-2626
E-mail : hsjun@kari.re.kr



안 종 선 (安 鍾 善)

1981년 12월 4일 생
2007년 건국대학교 기계항공공학부
졸업
2007~현재 동 대학원 항공우주정보
시스템공학 석사과정

Tel : 02-458-0164
Fax : 02-457-3358
E-mail : jsever@konkuk.ac.kr



염 찬 홍 (廉 贊 弘)

1957년 10월 25일 생
1979년 서울대 항공공학과 졸업
1981년 동 대학원 항공공학과 졸업
(석사)

1989년 Maryland대학 대학원 항공우주공학과 졸업
(공박)
1990~현재 한국항공우주연구원
Tel : 042-860-2351
Fax : 042-860-2009
E-mail : yeom@kari.re.kr



이 영 재 (李 永 宰)

1958년 8월 31일 생
1982년 서울대 항공우주공학과 졸업
1985년 동 대학원 항공우주공학과
졸업 (석사)

1990년 The University of Texas at Austin 항공우주공학과
졸업(박사)
1992~현재 건국대학교 항공우주정보시스템 공학과
교수
Tel : 02-450-3358
Fax : 02-457-3358
E-mail : younglee@konkuk.ac.kr



최 영 규 (崔 榮 奎)

1957년 6월 18일 생
1980년 서울대 공대 전기공학과 졸업
1982년 한국과학기술원 전기 및
전자공학과 졸업(석사)

1987년 동 대학원 전기 및 전자공학과 졸업(공박)
1990~1991년 CALTECH Visiting Scholar
1998~1999년 Univ. of Southwestern Louisiana Visiting
Professor
현재 부산대 공대 전자전기통신공학부 교수
Tel : 051-510-2371
Fax : 051-513-0212
E-mail : ykichoi@pusan.ac.kr