

한국형 광역보정시스템(WA-DGNSS) 지상국 성능 검증

윤호* · 한덕화** · † 기창돈

*, ** 서울대학교 기계항공공학부, 항공우주신기술연구소, † 서울대학교 기계항공공학부, 항공우주신기술연구소

Performance Verification of Korean Wide Area Differential GNSS Ground Segment

Ho Yun* · Duk-Hwa Han** · † Chang-Don Kee

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

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

요 약 : 본 논문에서는 국토해양부 해양교통시설과의 연구개발과제인 '광역보정시스템(WA-DGNSS) 구축기술개발' 과제에서 현재까지 개발된 지상국 부분에 대한 성능 검증에 대하여 설명한다. 본 연구개발과제에서는 전국토에 균일한 정확도, 가용성 및 무결성 성능을 보장할 수 있는 광역보정시스템의 핵심알고리즘을 개발하고 지상기반 데모시스템 구축을 완료하여 최종 년도에는 의사위성을 통한 실시간 데모를 실시할 예정이다. 또한 미래 다중 GNSS에 대비하여 GLONASS 및 Galileo를 포함하는 광역보정시스템의 성능을 시뮬레이션을 통해 예측하였다. 본 과제에서 개발된 연구 결과들은 알고리즘 설명서 및 핵심기술권고사항으로 문서화되어 2014년부터 진행될 위성기반 광역보정시스템(SBAS)의 개발에 직접적으로 활용될 예정이다.

핵심용어 : 광역보정시스템, 광역보강시스템, 보정항법시스템, 글로나스, 갈릴레오

Abstract : This paper describes the progress and results of 'Wide Area Differential GNSS (WA-DGNSS) Development' project which is supported by Korea Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. This project develops the main algorithm of the WA-DGNSS which can guarantee the improved accuracy, availability and integrity all over the Korean peninsula. After the establishment of WA-DGNSS ground system, a real time demonstration using pseudolite will be conducted. Product of this project will be directly utilized in Korean Satellite Based Augmentation System(SBAS) development project which is planned to be started from 2014.

Key words : Wide Area Differential GNSS, SBAS, DGPS, GLONASS, Galileo

1. 서 론

최근 유비쿼터스 사회의 도래에 따라 위성항법시스템 및 광역보정시스템은 국가 기간망 운영에 필수적인 중요 인프라로 부각되었다. 특히 광역보정시스템은 기존 위성항법시스템만을 단독으로 활용하였을 때에 비해 향상된 정확성, 가용성, 무결성 성능을 보장하기 때문에 위성항법시스템의 응용 분야의 확장에 크게 기여하고 있다(RTCA, 2006). 이에 따라 미국, 유럽, 일본, 러시아, 중국, 인도 등 세계 대부분의 국가에서 광역보정시스템을 개발하여 운용하고 있거나 현재 개발 중에 있다.

Fig. 1은 전 세계의 광역보정시스템 개발 현황을 나타낸 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 세계 대부분의 지역에서 광역보정시스템이 개발되어 운영되고 있거나 현재 개발에 진행 중에 있다. 우리나라에서도 2010년부터 2014년까지 국토해양부의 주관으로 '광역보정시스템(WA-DGNSS) 구축기술개발' 과

제를 기획하여 진행 중에 있고 현재 2차년도 연구개발까지 완료된 상태이다. 본 과제는 위성기반 광역보정시스템 개발의 선행 과제로서 광역보정시스템의 핵심 알고리즘을 개발하고 준실시간 데모 소프트웨어를 개발하여 의사위성기반 광역보정 데모시스템을 구축하여 개발된 시스템의 성능검증을 하는



Fig. 1 Status of WA-DGNSS development

* 연회원, yunho3@snu.ac.kr 02)880-7395

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

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

(주) 이 논문은 "광역보정시스템(WA-DGNSS) 구축기술 개발 사업 경과"란 제목으로 "2012년 추계학술대회 논문집(한국해양과학기술원 선박해양플랜트 연구소, 2012.10.25-27, pp. 343-344)"에 발표되었음.

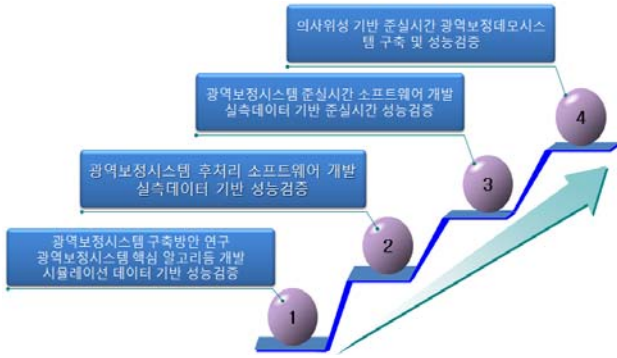


Fig. 2 Project schedule by year

것을 최종 목표로 한다. Fig. 2는 본 과제의 연차별 연구목표를 나타낸 그림이다.

1차년도에는 광역보정시스템 핵심 알고리즘을 개발하고, 위성 기반 광역보정시스템의 구축방안을 연구하였다(Kim and Kee, 2003). 2차년도에는 개발된 알고리즘을 바탕으로 후처리 소프트웨어를 개발하고, NDGPS 기준국을 활용하여 통신망을 구축하여 시범 광역보정시스템을 구성하였다. 이를 활용하여 실측데이터를 처리하여 개발된 소프트웨어의 성능 검증을 수행하였다. 3차년도에는 광역보정시스템의 준실시간 소프트웨어의 개발이 완료될 예정이고 4차년도에는 의사위성을 활용하여 데모 시스템을 구성하고 실시간 데모를 통해 성능을 검증할 예정이다. 다음 장에서는 ‘광역보정시스템(WA-DGNSS) 구축기술개발’ 과제의 현재까지 진행 사항과 주요성과를 보여주고 현재까지 개발된 결과물들의 성능 검증 결과에 대하여 설명하도록 한다.

2. 광역보정시스템 지상 시스템 구성

광역보정시스템은 항법위성의 측정치 및 데이터를 수신하여 전처리를 수행하는 광역기준국(Wide area Reference Station, WRS), 다수의 광역기준국으로부터 측정정보를 수신 받아 광역보정메시지를 생성하는 중앙처리국(Wide area Master Station, WMS), 중앙처리국으로부터 광역보정메시지

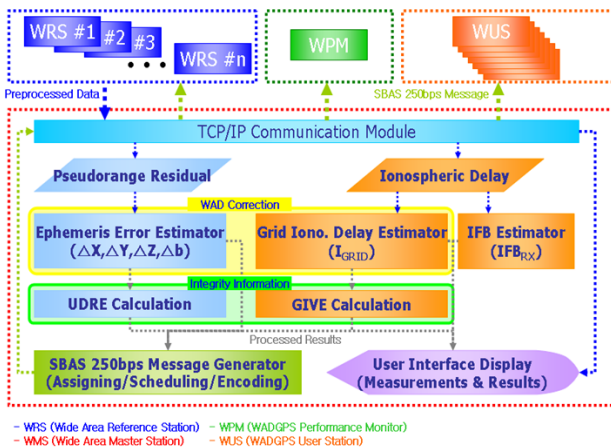


Fig. 3 Main process of wide area DGNSS

를 전달받아 정지궤도 위성에 전송하는 지구국(Geo Uplink Station, GUS), 광역보정메시지를 GPS와 같은 주파수인 L1 주파수로 사용자에게 방송하는 정지궤도위성 등으로 구성된다. 아래 그림은 각 구성요소 간의 데이터 흐름을 모식적으로 나타낸 그림이다.

각각에 대한 알고리즘은 참고문헌에 자세히 설명되어 있다 (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011). 본 논문에서는 각 알고리즘을 구현하고 실측데이터를 활용하여 성능을 검증한 결과에 대해서 집중적으로 설명하도록 한다.

2.1 NDGPS 기준국을 활용한 광역보정시스템 지상시스템 구축

광역기준국은 NDGPS 기준국의 원시 데이터를 수신하여 광역보정메시지 생성을 위한 데이터 전처리 과정을 수행하고, 생성된 전처리 데이터를 중앙처리국으로 전송하는 역할을 한다. NDGPS 기준국은 국토해양부에서 전 국토에 지역보정항법 서비스를 제공할 수 있도록 하기 위하여 구축한 시스템으로, 현재 해양 기준국 11개소, 내륙 기준국 6개소, 해양 감시국 10개소가 운영 중에 있다. 광역보정시스템 구축을 위한 광역기준국은 기존에 구축되어 있는 NDGPS 기준국 인프라를 활용하여 추가 비용을 최소화하고 개발의 효율성을 높이는 방향으로 구축되었다. 광역기준국은 모든 NDGPS 기준국 및 감시국을 활용할 필요는 없고 최적의 기준국 개수 및 배치 등을 고려하여야 한다. 하지만 현재 NDGPS 기준국은 대부분 구형의 Trimble 4000 SSE 수신기를 사용하고 있고, 이 수신기와 네트워크 연결은 시리얼로 직접적으로 연결하는 수 밖에 없기 때문에 광역기준국의 구축 및 관리에 어려움이 따른다. 따라서 광역기준국은 NDGPS 기준국 중에서 수신기가 신형으로

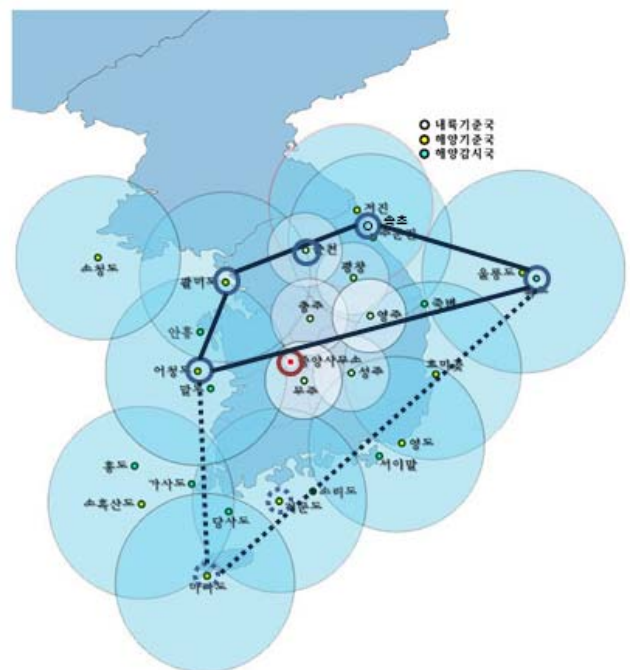


Fig. 4 Distribution of NDGPS reference station and the result of WRS selection

교체된 기준국 중에서 가장 넓게 분포된 기준국들을 사용하기로 한다. Fig. 4는 NDGPS 기준국의 분포와 선정된 광역기준국의 배치를 나타낸 그림이다.

Fig. 4에서 원으로 표시된 기준국들이 신형 수신기 교체 작업이 완료된 기준국들이고, 이 기준국 중에서 최외곽에 배치된 팔미도, 어청도, 독도, 속초 기준국을 광역기준국으로 선정하였다. 마라도 기준국은 10월 중으로 수신기 교체작업이 완료되기 때문에 교체작업이 완료되는 대로 광역기준국으로 활용할 예정이고 이렇게 할 경우 기준국 네트워크가 전 국토를 대부분 커버하기 때문에 더욱 더 향상된 성능의 서비스 제공이 가능할 것으로 예측된다. 성능 검증에 사용된 사용자는 대전 위성항법중앙사무소를 사용하였고 그림에서 확인할 수 있듯이 사용자가 기준국 네트워크 외곽에 위치하기 때문에 극한 환경에서의 성능을 분석해 볼 수 있게 된다.

Fig. 5는 광역보정 데모시스템의 통신망 구축 결과를 나타낸 그림이다. 광역기준국으로 선정된 NDGPS 기준국에서 수신된 측정치 데이터 및 내비게이션 데이터는 BINEX 형식으로 인코딩되어 TCP/IP 통신으로 대전 위성항법중앙사무소로 전송되게 된다. NTRIP Caster 역할을 하는 위성항법 중앙사무소는 각 기준국에서 수신한 데이터를 NTRIP 형식으로 사용자에게 전송하고, 광역기준국에서는 NTRIP Client 역할을 수행하여 방송된 데이터를 수신하게 된다. 광역기준국은 수신한 데이터를 중앙처리국에서 광역보정메시지를 생성하기 용이하도록 전처리를 수행하여 정해진 표준에 따라 중앙처리국으로 보내주고 중앙처리국에서는 광역보정정보 및 무결성 정보를 생성하여 국제 표준에 부합하는 광역보정메시지를 생성하게 된다. 생성된 각각의 광역보정메시지는 정해진 스케줄에 따라 1초에 한번씩 의사위성으로 전송되고 의사위성에서는 중앙처리국으로부터 수신한 메시지를 L1 주파수에 실어서 사용자에게 방송하게 된다. 사용자는 광역보정메시지가 GPS의 L1 주파수 신호와 같은 신호에 모듈레이션되어 방송되기 때문에 기존의 GPS 수신기만으로 광역보정정보를 수신하여 활용할 수 있게 된다. 이와 같은 방식은 유럽의 EGNOS에서 처음으로 사용되었고 본 연구에서 세계 두 번째로 시도되는 사례이다 (Ruizhi et al., 2007).

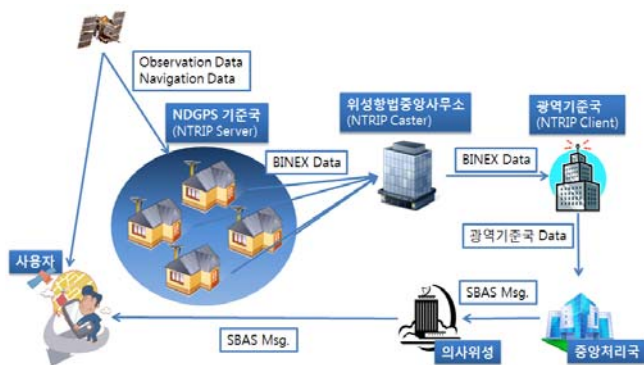


Fig. 5 Communications network of WA-DGNSS demo system

3. 광역보정시스템 성능 검증

구축된 광역보정시스템 지상국의 성능 검증을 위해 앞서 설명한 NDGPS 기준국의 데이터를 후처리로 처리하여 각 보정정보의 성능 및 최종 사용자의 성능을 검증하였다.

Fig. 6은 NDGPS 기준국 데이터를 활용하여 위성관련 보정정보를 추정할 결과를 나타낸 그림이다.

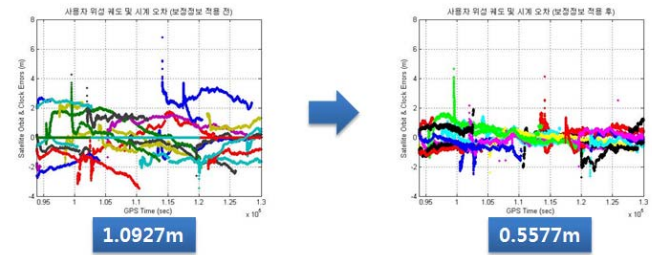


Fig. 6 Satellite orbit and clock errors before and after the applying wide area differential correction

왼쪽은 위성관련 보정정보를 적용하기 전의 위성관련 오차이고 오른쪽은 보정정보를 적용하고 남은 오차이다. 이 때 mm 급의 정확도를 가지는 SP3 데이터를 위성궤도 및 시계오차의 참값으로 하고 오차 분석을 수행하였다. 지상국에서 생성된 보정정보 적용 전/후의 오차 크기는 1.09 m에서 0.56 m로 약 49%가 감소되었다. 위성관련오차가 완벽하게 제거되지 않은 이유는 다음과 같다. 실제 데이터를 사용할 때에는 보정정보를 적용하기 전의 위성관련 오차의 참 값을 알 수 없기 때문에 사용자 의사거리 측정치에서 수신기-위성 간의 거리, 전리층 지연 추정값, 대류층 지연 추정값, 시계오차 등을 뺀 값을 위성관련 오차로 가정하였다. 이렇게 될 경우 추정된 위성관련 오차에는 수신기 잡음 및 다중경로 오차가 포함되게 된다. 따라서 위성관련 보정정보를 적용하더라도 잔여 오차가 남게 된다. 위의 그림에서 저각각 위성에서 발생하는 비교적 큰 크기의 오차는 다중경로 오차에 의한 영향으로 풀이되며, 이러한 오차는 보정정보의 적용으로도 제거되지 않는 오차이다.

중앙처리국에서는 여러 기준국의 전리층 지연 추정 값을 이용하여 격자 수직 전리층 지연을 추정하게 된다. 이때 각 광역기준국에서 추정되는 전리층 지연 추정 값은 이중 주파수 측정치를 이용하여 추정되게 된다. 그런데 이때 각 주파수 간의 전기적 경로 차이에 의해 각 주파수 신호는 완전히 동기될 수 없게 되고 필연적으로 주파수 간의 바이어스가 존재하게 된다. 이는 신호를 생성하는 위성에서도 발생하고 신호를 수신하여 처리하는 수신기에서도 발생하며, 각각 위성 IFB (Inter-Frequency Bias), 수신기 IFB로 불린다. 위성 IFB의 경우 항법 메시지의 TGD값을 이용하여 쉽게 제거할 수 있지만 수신기의 IFB는 따로 추정하여 제거하여야 한다. 이를 위하여 중앙처리국에서는 모든 광역기준국의 전리층 지연 추정 값을 이용하여 spherical harmonics로 모델링하고 각 기준국

의 측정치가 일관성을 회복하도록하는 수신기 IFB를 추정한다. Fig. 7은 위성 및 수신기 IFB가 제거되지 않은 수직 전리층 지연 측정치이다.

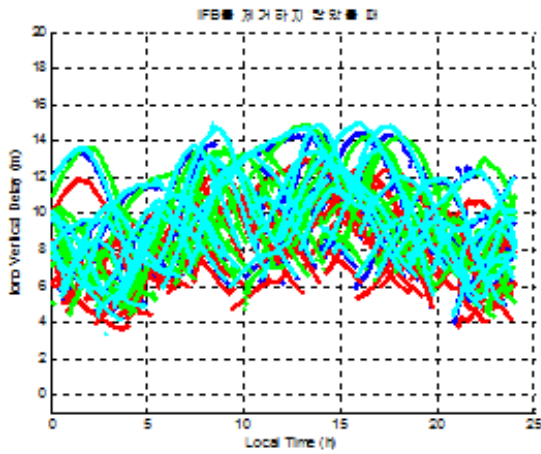


Fig. 7 Vertical ionospheric delay estimation before an elimination of IFBs

보통 전리층 지연은 태양 활동이 가장 활발한 12~16시경에 가장 큰 값을 가지게 된다. 그런데 위성 IFB는 위성마다 다른 값을 가지기 때문에 위의 그림에서 전리층 지연의 시간 경향성을 찾아보기 힘들다. 아래 그림은 항법 메시지에 들어있는 TGD 값을 이용하여 위성의 IFB값을 제거한 그림이다.

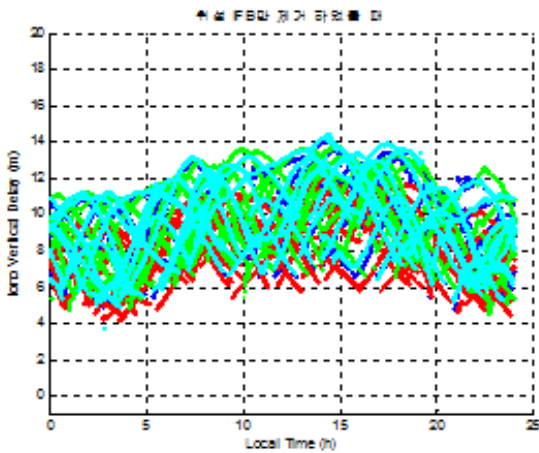


Fig. 8 Vertical ionospheric delay estimation after an elimination of satellite IFB

위성마다 각각 다른 IFB값을 제거하였기 때문에 전리층 지연의 시간 경향성을 어느 정도 회복한 것을 볼 수 있다. 하지만 기준국 수신기의 IFB가 여전히 포함되어 있기 때문에 전리층 지연의 상하 분포가 일정하지 않은 것을 볼 수 있다. 아래 그림은 전리층 지연 측정치를 이용하여 spherical harmonics 모델링을 통해 추정된 기준국 IFB를 제거한 결과이다.

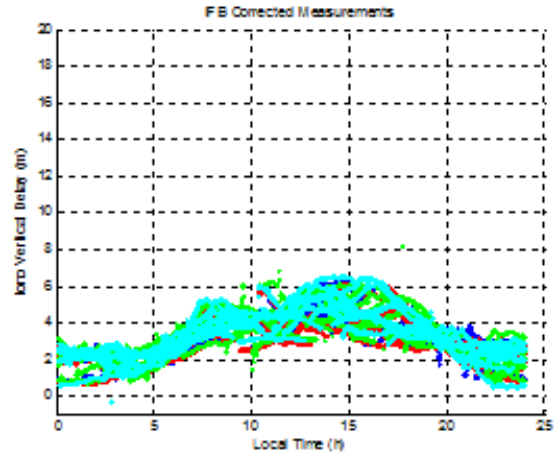


Fig. 9 Vertical ionospheric delay estimation before an elimination of both satellite IFB and receiver IFB

위성 및 수신기의 IFB를 제거하므로써 이중주파수 측정치에 포함된 바이어스를 모두 제거하였기 때문에 전리층 지연의 시간경향성 및 상하분포가 정상적으로 회복된 것을 볼 수 있다. 아래 그림은 spherical harmonics로 모델링 된 결과이다.

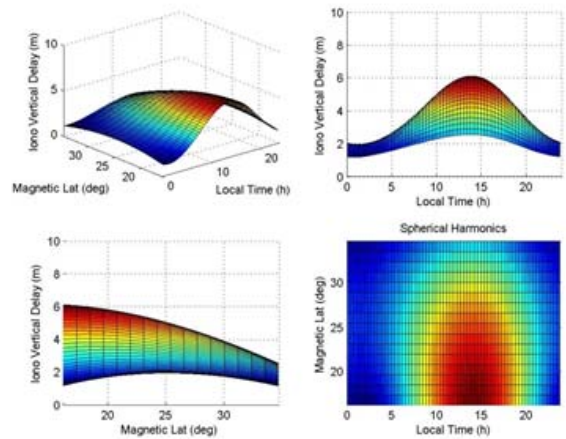


Fig. 10 Satellite orbit and clock errors before and after the applying wide

저위도로 갈수록, 태양 활동이 활발한 오후 시간대 일수록 전리층 지연값이 큰 값을 가지는 것을 확인할 수 있다.

이번에는 최종 결과, 즉 사용자의 측위성능의 분석을 통해 개발된 시스템의 성능을 검증하기로 한다. 아래 그림은 광역보정정보를 적용하지 않았을 때와 적용하였을 때 수평 및 수직 위치오차를 나타낸 그림이다.

Fig. 11에서 파란색은 보정정보를 적용하지 않았을 때의 사용자 위치오차이고 붉은 색과 녹색은 광역보정정보를 적용하였을 때의 사용자 위치오차이다. 녹색은 데이터링크의 제한이 없다고 가정하고 중앙처리국에서 생성된 광역보정정보를 표준형식에 따라 인코딩 및 스케줄링하지 않고 그대로 적용한 결과이고, 붉은 색은 국제 표준에 맞추어 인코딩된 메시지를

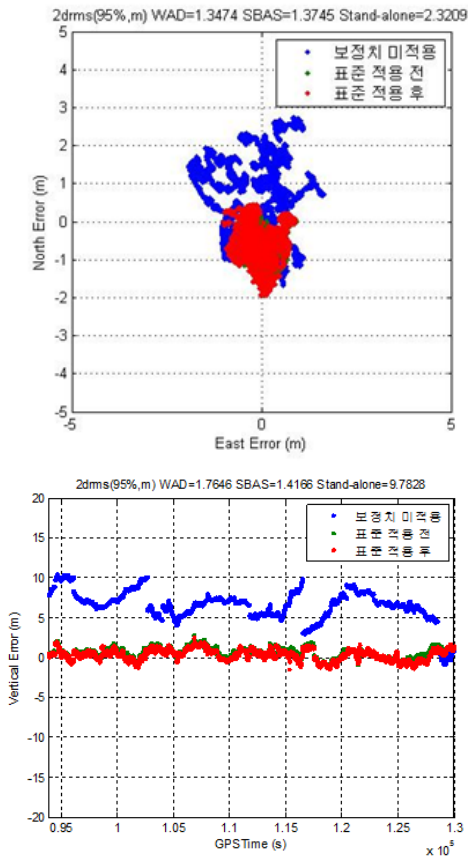


Fig. 11 User Position Errors

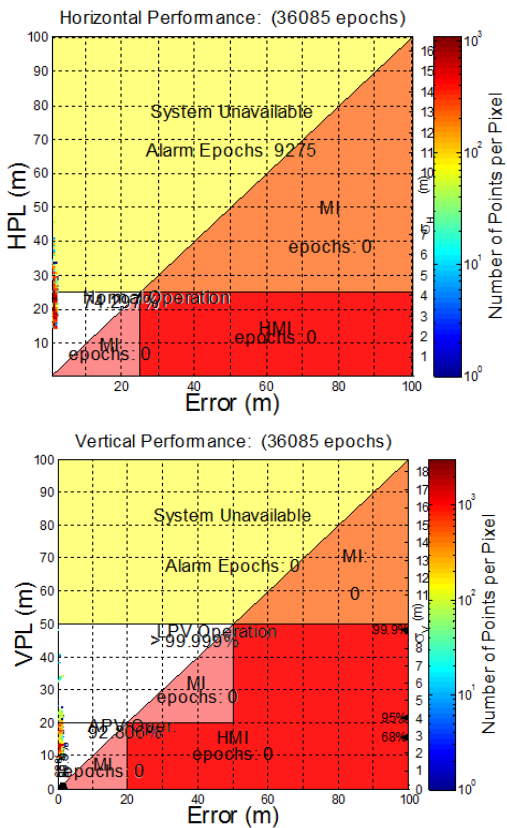


Fig. 12 Horizontal and vertical Stanford plot

최적의 스케줄링을 거쳐 1초에 하나의 메시지만 사용자에게 전송되었을 때의 결과이다. 보정정보를 적용하였을 때와 적용하지 않았을 때의 위치오차를 비교해보면 수평 위치의 경우 2drms 2.32 m에서 1.37 m로 오차가 약 40 % 정도 감소하였고, 수직 위치의 경우 9.78 m에서 1.42 m로 약 85 % 감소하였다. 또한 녹색 점과 붉은 색 점을 비교해 보면 위치오차의 차이가 cm 단위로 차이므로 메시징 및 스케줄링으로 인한 오차는 무시할 수 있을 정도의 수준이라는 것을 확인할 수 있다. 아래 그림은 사용자의 정확성, 가용성 및 무결성을 한 번에 나타낼 수 있는 수평 및 수직 Stanford plot이다 (Todd Walter et al., 2001).

Fig. 12에서 x축은 사용자의 위치 정확도를 나타내고, y축은 사용자의 보호수준을 나타낸다. 또한 점의 색깔은 누적된 도수에 따라 푸른색에서 점점 붉은색 계열로 변하게 된다. 위의 그림에서 대각선의 오른쪽 부분에 점이 찍히게 되면 사용자 위치오차가 보호수준을 초과하게 된 경우이므로 무결성에 문제가 생기게 된다. 또한 사용자 성능 요구조건에 따라 경보 한계가 정해지게 되는데 보호수준이 이 값을 넘게 되면 해당 부분에서 가용성이 상실된다고 할 수 있다. 수평 위치 정확도 및 수평 보호수준은 주로 해양 사용자에게 사용되므로 수평 Stanford plot은 IMO의 입항 및 접안 해양 사용자에게 요구조건을 적용하였고, 수직 Stanford plot은 주로 항공 사용자에게 사용되므로 ICAO의 LPV 항행 요구조건을 적용하였다 (RTCA SC-159, 2006). 성능 분석 결과 수평 성능은 입항 및 접안 Maritime operation 가용성 74.3 %를 만족하는 것을 볼 수 있고 수직 성능은 항공기의 수직 접근에 사용되는 LPV 가용성을 100 % 만족하는 것을 볼 수 있다. 현재 광역보정데모 시스템의 광역기준국이 전국에 고르게 분포하지 않고 사용자가 기준국 네트워크 바깥에 위치하고 있어서 약간 저하된 성능을 보이고 있다. 하지만 마라도 기준국이 추가되게 되면 기준국 네트워크가 전국토를 커버하게 되어 사용자 가용성은 비약적으로 향상될 것으로 기대 된다. 사용자가 기준국 네트워크 바깥에 위치하고 있음에도 불구하고 수평 및 수직 위치 정확도가 보호수준을 초과하는 경우는 한번도 발생하지 않아 무결성은 완벽히 보장되고 있음을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 광역보정시스템 구축기술개발 과제를 통해 개발된 국내 환경에 적합한 정확성, 무결성 및 가용성 향상 기술의 성능을 검증하였다. 본 과제에서는 국내에서 세계 최초로 시도되는 NDGPS 기준국을 활용한 광역보정시스템 구축 기술을 개발하게 되고, 유럽에 이어 세계 두 번째로 개발하게 되는 의사위성을 활용한 광역보정정보 전송기술을 개발하게 된다. 성능 검증 결과 개발된 시스템은 외국에서 운용 중인 광역보정시스템과 동일한 수준의 정확성, 무결성, 가용성 성능을 보였다. 본과제의 기술기반은 앞으로 진행될 정치체도위성을 이용한 광역보정시스템 구축에 활용될 것으로 기대된다.

후 기

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

참 고 문 헌

- [1] Chen, R. Hyttinen, A., Chen, Y., Strom, M., Laitinen, H., Tossaint, M. and Martin, S.(2007). “Development of the EGNOS Pseudolite System.” Journal of Global Positioning Systems, Vol. 6, No. 2, pp. 119-125.
- [2] GNSS Evolutionary Architecture Study(2008), Phase I - Panel Report.
- [3] Kim, D. Y., and Kee, C. D.(2003). “Development & performance analysis of Korean WADGPS positioning algorithm”, Wuhan University Journal of Natural Sciences, Vol. 8, No. 2, pp. 575-580.
- [4] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2011), The 1st Report of Wide Are Differential GNSS Development.
- [5] Walter, T., Blanch, J., and Enge, P.(2009), “Evaluation of Signal in Space Error bounds to Support Aviation Integrity”, Proc. 22nd International Technical Meeting of the ION, pp. 1317-1329.
- [6] Walter, T., Blanch,, J. and Enge, P.(2010), “Vertical Protection Level Equations for Dual Frequency SBAS”, Proc. 23rd International Technical Meeting of the ION, pp. 2031-2041.
- [7] Walter, T., Hansen, A., and Enge, P.(2001). “Message Type 28.” IONNTM 2001, pp. 522-532.
- [8] RTCA(2006). Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment.
- [9] RTCA SC-159(2006), Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment, RTCA publication DO-229D.

원고접수일 : 2012년 09월 27일
심사완료일 : 2012년 12월 20일
원고채택일 : 2012년 12월 24일