

의사위성 기반 광역보정시스템(WA-DGPS) 구축 기술개발 및 성과

† 박항훈 · 조학현* · 윤호** · 기창돈***

† 목포해양대학교 대학원, * 목포해양대학교 해양전자통신공학과, ** 서울대학교 기계항공공학부, *** 서울대학교 기계항공공학부

Pseudolite-based Wide Area Differential GPS (WA-DGPS) Development and Primary Results

† Hwang-hun Park · Hak-hyeon Jo* · Ho Yun** · Changdon Kee***

† Graduate school of Mokpo National Maritime University, Jeonnam, Korea

* Department of Maritime Electron Communication, Mokpo National Maritime University, Jeonnam, Korea

** School of Mechanical Aerospace Engineering, Seoul National University, Seoul, Korea

*** School of Mechanical Aerospace Engineering, Seoul National University, Seoul, Korea

요 약 : 본 논문에서는 현재 국내에서 개발 중인 NDGPS 기준국을 활용한 의사위성 기반 광역보정시스템의 주요 알고리즘 및 성과에 대해서 설명한다. 광역보정시스템은 지상의 기준국 네트워크를 활용하여 전 국토에 적용 가능한 위성 및 전리층 지연 오차의 보정정보 및 무결성 정보를 생성하여 서비스 지역 내의 모든 사용자에게 균일한 수준의 보강 서비스를 제공하는 시스템이다. 본 연구에서는 광역보정시스템의 지상 시스템을 개발하고 이의 성능을 지상에 설치된 의사위성을 활용하여 검증할 계획이다. 또한 2014년부터는 위성기반 광역보정시스템 (SBAS)의 개발이 시작될 예정이고, 본 연구에서 개발된 연구 결과들이 직·간접적으로 활용되어 연구개발이 이루어질 예정이다.

핵심용어 : 광역보정시스템, 광역보강시스템, 보정항법시스템, 글로나스, 갈릴레오

Abstract : This paper describes the progress and the plan of 'Wide Area Differential GPS (WA-DGPS) Development' project supported by Korean Ministry of Oceans and Fisheries. The project develops the main algorithms of the WA-DGPS which guarantees the improved accuracy, availability, and integrity all over the Korean peninsula. After the establishment of WA-DGPS ground infrastructure system, a real-time demonstration using pseudolite installed on the ground will be conducted in the final year. Also, the development of Korean Satellite-based Augmentation System (SBAS) is expected to be started from 2014, and the algorithms and the results in the WA-DGPS project will be used in the SBAS development.

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

1. 서 론

광역보정시스템은 GPS로 대표되는 위성항법시스템의 항법 성능 향상을 위해 개발된 보정항법시스템의 일종이다. 보정항법시스템은 사용자 측정치의 보정 방식 및 시스템 운용 개념에 따라 크게 지역보정시스템과 광역보정시스템으로 분류할 수 있다. 지역보정시스템은 비교적 간단한 방식으로 항법 사용자의 위치정확도를 향상시킬 수 있지만, 기준국별 서비스 영역이 한정되어 있으며 사용자는 보정정보 수신을 위한 별

도의 수신 장비를 갖추어야 한다는 단점이 있다. 이에 비해 광역보정시스템은 동일한 수의 기준국으로 보다 넓은 지역에 보정서비스를 제공할 수 있고 정지궤도 위성을 활용하여 GPS와 같은 주파수인 L1 주파수 신호로 보정정보를 방송하기 때문에 사용자는 보정정보 수신을 위한 별도의 DGPS 수신 장비 없이 서비스를 이용할 수 있다 (RTCA SC-159, 2006). 또한 광역보정시스템은 지상의 기준국 네트워크를 활용하여 보정정보 뿐만 아니라 이에 대한 신뢰수준을 추정하여 무결성 정보를 생성하여 사용자에게 방송하기 때문에, 사용자는 자신

† 교신저자 : 연회원, phh5050@hanmail.net 010-4182-8998

* 연회원, johara@mmu.ac.kr 061)240-7118

** 연회원, yunho3@snu.ac.kr 02)880-7395

*** 연회원, kee@snu.ac.kr 02)880-1912

의 항법해의 무결성을 확보한 상태에서 항법을 수행할 수 있게 된다. 이러한 장점으로 인해 Fig. 1에서 보는 바와 같이 현재 미국, 유럽, 일본 등에서 이미 광역보정시스템을 구축하여 운용하고 있으며, 인도, 러시아, 중국 등 여러 나라에서 개발 중에 있다.

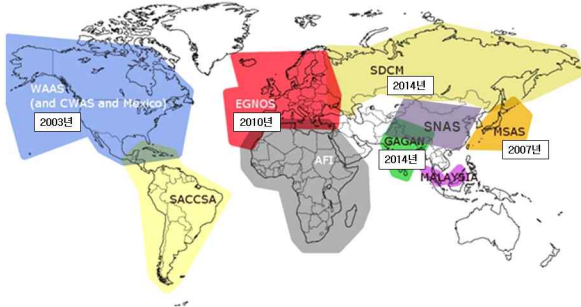


Fig. 1 Status of WA-DGNSS development

우리나라에서도 2003년부터 2005년까지 3년간 당시 해양수산부의 주관으로 ‘한국형 WADGPS 구축기술연구’ 과제를 수행하여 우리나라에서의 광역보정시스템 구현 가능성을 살펴보고 지상의 핵심 알고리즘을 개발하였다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011), (Kun and Kee, 2003) D. Y.(2003), Kee, C. D.(2003). Fig. 2는 우리나라 광역보정시스템 개발계획을 단계별로 나타낸 그림이다.



Fig. 2 WA-DGPS development project milestone

2003년부터 2005년까지의 제1단계에서는 앞서 설명한 대로 광역보정시스템의 지상 시스템을 개발하고, 핵심알고리즘을 개발하여 후처리를 통해 구현 가능성을 테스트 하였다. 이후 2010년부터 연구개발이 재개되어 제2단계는 2010년부터 2014년까지 계획되어 있고 현재 서울대학교를 주관 연구기관으로 하여 1개 연구소, 4개의 대학이 함께 참여하여 활발히 연구를 진행 중에 있다(Yun and Han and Kee, 2013). 2 단계에서는 준실시간 광역보정시스템의 구축을 완료하고 의사위성 기반 데모시스템(Ruizhi and Yuwei and Marten and Heikki and Michel and Sven(2007). 을 구축하여 실시간 테스트를 통해 성능 검증하는 것을 목표로 한다. 제3단계에서는 선행연구 1, 2 단계에서의 연구 성과를 바탕으로 실제 운용될 위성 기반

광역보정시스템을 구축하는 것을 목표로 한다. 3단계에서는 정지 궤도위성을 통해 오픈 서비스를 시작하고, GPS L1 신호뿐만 아니라 L5 신호까지 보강할 수 있는 시험운용시스템을 개발할 계획이다.

2. 광역보정시스템 연구개발의 필요성

위성항법시스템은 경제 사회 전반에 활용되는 국가 기간 망 운영에 필수적인 중요 인프라로 서비스 장애 발생 시 막대한 지장을 초래한다. 유럽의 경우 위성항법시스템 고장 발생 시 국내 총생산(GDP)의 6 ~ 7%인 약 8천억 유로의 피해가 발생할 것이라는 연구 결과가 있었다. 광역보정시스템은 이러한 GPS의 이상 또는 고장 발생 시, 모든 국민에게 신속하게 관련 경보를 실시간으로 제공할 수 있는 수단이 될 수 있다. 기존의 지역보정시스템의 경우 상대적으로 무결성 기능이 취약하기 때문에 위성 항법 시스템의 고장 발생 시 사용자의 무결성을 보장할 수 없는 경우가 발생할 수 있지만, 광역보정시스템은 무결성 정보를 실시간으로 사용자에게 방송하기 때문에, 위성항법시스템의 고장 시에도 사용자의 무결성이 보장되게 된다. 또한 광역보정시스템은 위성기반시스템으로 재난 발생 시에도 활용될 수 있다.

광역보정시스템 구축의 필요성을 기술적 측면에서 살펴보면 아래와 같이 크게 세 가지로 나눌 수 있다.

2.1 광역 정확도 성능 향상

NDGPS와 같은 지역보정시스템은 우리나라에 17개를 구축하여 전 국토에 DGPS 정보를 제공하고 있으며, 하나의 기준국별로 보정정보를 생성하여 방송하게 된다. 이 때 기준국과 사용자 간의 거리가 약 185km 이내일 경우에는 향상된 사용자 위치정확도 성능을 기대할 수 있으나, 기준국과 사용자 간의 거리가 그 이상으로 멀어질 경우에는 기준국과 사용자의 공통 오차의 상관관계가 줄어들기 때문에 정확도 성능을 보장할 수 없게 된다. 그러나 광역보정시스템은 측정치 오차를 스칼라 형식으로 제공하지 않고, 오차 성분 별로 그 오차의 절대적인 값을 추정하여 제공하기 때문에, 사용자의 위치 정확도 성능은 기준국과의 거리와 무관하게 전 국토에 균일한 정확도 수준을 갖게 된다.

2.2 광역 무결성 성능 향상

앞서 설명하였듯이 지역보정시스템은 단일 기준국 기반으로 보정정보 및 무결성 정보를 생성하기 때문에 서비스 제공 영역이 반경 약 185km 정도로 제한되어 있다. 하지만 사용자가 이러한 서비스 영역 범위 내에 있다고 하더라도 지역보정시스템으로 무결성을 완전히 보장받기는 어렵다. 그 이유는 지역보정시스템은 근본적으로 기준국과 사용자 간의 오차 상관관계가 높다고 가정하고 보정정보 및 무결성 정보를 제공하기 때문에 전리층 폭풍과 같은 국지적인 변화가 심한 오차 요

소가 발생하면 사용자와 기준국간의 오차 상관관계가 낮아지게 되고, 따라서 지역보정시스템의 기준국의 정보가 더 이상 유효하지 않게 될 수 있기 때문이다. 반면 광역보정시스템은 위성별 3차원 무결성 정보 및 격자전리층 지연값의 신뢰수준을 함께 제공하기 때문에 지역보정시스템에 비해 높은 무결성 성능을 보장한다. 또한 항법위성이나 전리층지연에 일정 수준의 오차가 발견되어 고장이 발생했다고 판단이 되면 해당 측정치를 사용하지 말라는 경고 메시지를 즉각적으로 방송하기 때문에 사용자의 무결성이 보장되게 된다.

2.3 사용자 저변 확대 및 시스템 가용성 증가

지역보정시스템의 경우 보정 메시지를 중파방송, NTRIP 등 지상의 특정한 데이터 채널로 전송하게 된다. 따라서 사용자가 지역보정시스템을 활용하기 위해서는 GPS 수신기 외에 DGPS수신기나 모뎀 등 해당 데이터 채널에 맞는 별도의 수신 장비를 갖추어야 한다. 따라서 일반 사용자는 장비의 복잡성 및 휴대의 불편함 등으로 인해 지역보정시스템 서비스 이용에 한계가 있다. 현재 NDGPS 서비스의 이용자 수는 약 50만명으로 집계되고 있으며, 이는 NDGPS 서비스가 전 국토에서 사용가능한 서비스라는 점을 고려하였을 때 상대적으로 낮은 수치인 것을 알 수 있다. 그러나 광역보정시스템은 보정 메시지를 GPS 신호와 같은 주파수 신호의 L1 주파수 신호로 방송하기 때문에 사용자는 보정정보 수신을 위한 별도의 수신장치를 구비하지 않아도 해당 서비스를 활용할 수 있게 된다. 따라서 기존의 모든 항법사용자가 잠재적인 서비스 사용자가 되고 사용자 수의 확대가 기대된다. 또한 지역보정시스템은 지상의 데이터 채널을 활용하기 때문에 지형적인 문제로 국지적으로 보정신호의 음영지역이 발생하게 된다. 광역보정시스템은 보정정보를 정지궤도위성에서 방송하기 때문에 이러한 지역보정시스템의 국지적 음영지역 발생 문제를 일부 해소할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 광역보정시스템 정지궤도위성의 신호는 GPS L1신호와 같은 신호를 방송하기 때문에 이 자체로 거리 측정치 역할을 할 수 있다. 따라서 24시간 확보 가능한 거리 측정치가 하나 더 생기는 효과가 발생하고, 이로 인하여 사용자의 가용성 성능이 향상될 수 있다.

3. 광역보정시스템 구축 기술개발 현황 및 주요 연구 성과

Fig. 3과 4는 현재까지 개발된 각각 광역기준국 (Wide area Reference Station, WRS)와 중앙처리국 (Wide area Master Station)의 기능을 블록 다이어그램으로 나타낸 것이다 (ToddWalter and Per, 2001). 광역기준국에서는 GPS의 항법 데이터와 측정치 데이터를 수신하여 신호, 데이터, 측정치의 품질 감시를 수행한다. 품질 검사 결과 이상이 없는 값들에 한해서 중앙처리국에서 필요로 하는 전리층 및 대류층 지연, 의사거리 오차 등을 추정하여 정해진 표준 규격에 따라 중앙처리국으로 전송한다(Telecommunications Technology

Association(2011),

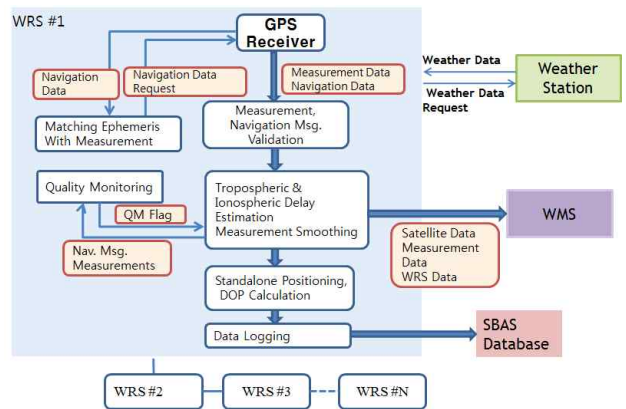


Fig. 3 Functionality of wide area reference station

중앙처리국에서는 다수의 광역기준국으로부터 수신된 메시지의 시각을 동기화하고, 수신된 데이터를 처리하여 한반도 전역의 격자 수직 전리층 지연 및 항법 위성의 3차원 궤도 오차와 시계 오차를 추정한다. 또한 이들 보정정보에 대한 신뢰 수준도 함께 계산하여 사용자에게 방송함으로써 사용자의 무결성을 확보하도록 설계되었다. 생성된 광역 보정 메시지 및 무결성 메시지는 자체 개발된 스케줄링 알고리즘에 따라 우선 순위가 결정되게 되고 1초에 하나씩 사용자에게 방송되게 된다.

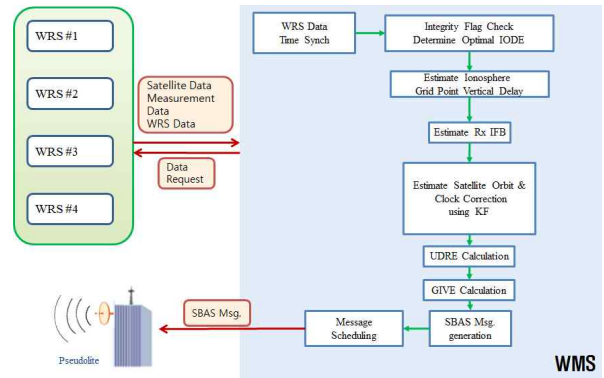


Fig. 4 Functionality of wide area master station

Fig. 5는 현재 운용되고 있는 NDGPS 기준국 및 감시국, 제2단계에서 최종 개발될 의사위성 기반 광역보정 데모시스템의 광역 기준국 배치를 나타낸 그림이다. 의사위성 기반 광역보정 데모시스템은 개발 효율성을 높이고 개발 비용을 절감하기 위하여 기존의 NDGPS 기준국 인프라를 활용하여 광역기준국을 구축하였다. 정확한 전리층 지연 오차 및 위성 관련 오차의 추정을 위해 광역기준국은 최대한 넓은 지역에 배치되어야 한다. 우리나라 국토 전역에 고르게 분포되어 있는 NDGPS 기준국은 이러한 광역기준국의 입지 조건에 부합하기 때문에 본 연구 개발에 직접적으로 활용될 수 있다. 본 연구 개발에서는 여러 NDGPS 기준국 중에서 수신기가 신형으로 교체되었고, 원격 통신이 용이한 팔미도, 마라도 기준국과 독도, 속초 감시

국, 그리고 대전의 위성항법중양사무소를 광역기준국으로 선정하였다.

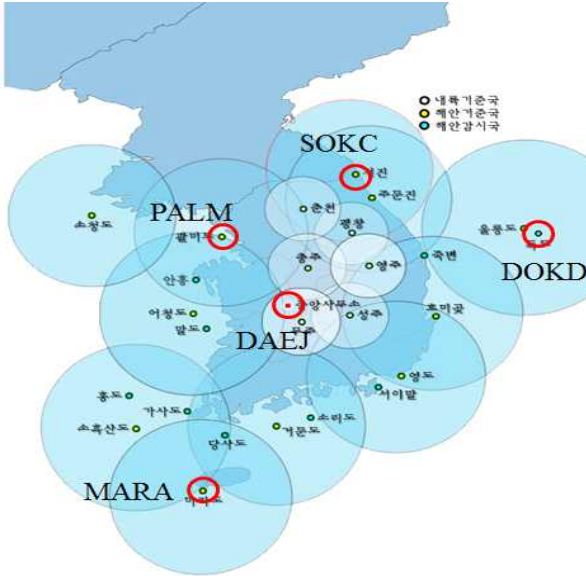


Fig. 5 Wide area reference station using NDGPS infra structures

Fig. 6은 의사위성 기반 광역보정 데모시스템의 구조를 도식적으로 나타낸 그림이다. 광역기준국은 국토 최외곽에 분포하기 때문에 데이터가 빠른 시간 내에 손실 없이 중앙처리국으로 전달되는 것이 중요하다. 현재 위성항법중양사무소에서는 모든 기준국의 데이터를 수집하여 NTRIP 프로토콜을 활용하여 사용자에게 제공하는 서비스를 수행하고 있다. 본 연구개발에서도 이를 활용하여 광역기준국으로 선정된 기준국의 BINEX 형식 측정치 및 항법 데이터를 활용한다. 즉, 여러 기준국의 데이터를 수집하여 방송하는 위성항법중양사무소는 NTRIP caster의 역할을 수행하고, 광역기준국 서버는 NTRIP client 역할을 수행하여 각 기준국의 데이터를 실시간으로 전송받게 된다.

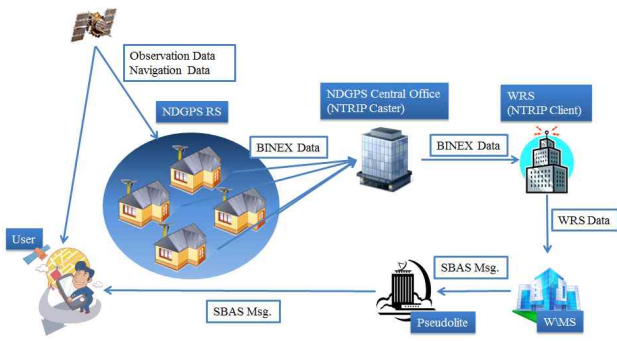


Fig. 6 Pseudolite-based demo system architecture

Fig. 7은 후처리 및 관련 연구를 위한 광역보정시스템 데이터베이스 구축 방안이다. 현재 구축 중인 광역보정 데모시스템은 광역기준국, 중앙처리국 등 지상부문 핵심 시설뿐만 아니라, 성능인자 가시화 소프트웨어, 실시간 기준국 성능 모니터링

소프트웨어, 광역사용자 등 다양한 요소를 포함하고 있다. 이들 각 구성요소는 서로 긴밀한 데이터 교환을 요구하므로 연구개발의 용이성 및 향후 관련 연구에 도움이 될 수 있도록 데이터베이스를 구축하고 있다. 해당 데이터베이스는 버퍼 서버 개념을 도입하여 각 구성요소의 출력 파일을 실시간으로 데이터베이스에 저장하도록 되어있고, Graphic User Interface (GUI) 기반으로 개발되어 사용자가 손쉽게 필요한 데이터를 획득할 수 있도록 설계되었다.

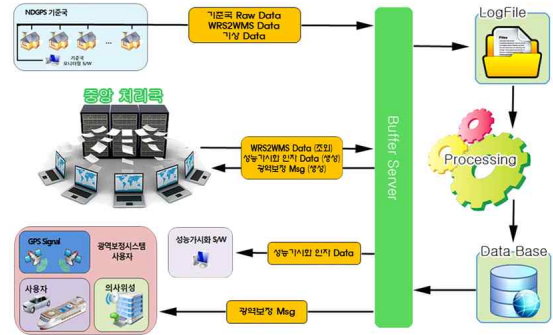


Fig. 7 WA-DGPS database

Fig. 8은 본 연구에서 개발된 광역보정시스템 성능가시화 모니터링 소프트웨어의 실행 화면이다. 본 소프트웨어는 일반적인 위성항법시스템의 소프트웨어와 달리 GPS 단독 성능이 아닌 개발된 광역보정시스템을 적용하였을 때 사용자의 성능을 가시화하는 소프트웨어이다. 왼쪽 위부터 차례대로 DOP 가시화면, 위성 그라운드 트랙, 수평 보호수준, 격자 수직 전리층 지연, 기준국 위치정확도 및 보호수준, 기준국 Stanford plot, 기준국 3D sky plot을 나타낸다. 이 외에도 사용자 가용성, GIVE, 3D 위성 궤도, 국내 주요 항구 및 공항의 보호수준 및 가용성 상태 등 다양한 성능 인자를 가시화할 수 있도록 개발되었다. 이 중에서 특히 전리층 정보나 가용성 정보는 광역보정시스템을 구축하여 적용하였을 때에만 실시간으로 생성할 수 있는 정보로서 전 국토의 광역보정시스템 성능 모니터링에 활용 가치가 높다고 볼 수 있다. 해당 소프트웨어는 향후 운용시스템이 개발된 후 광역보정시스템 감시국 등에서 활용될 수 있다.

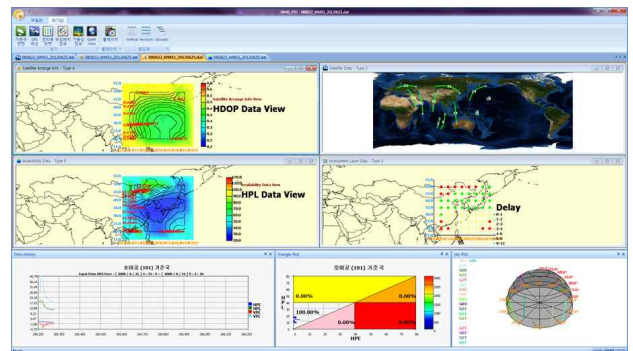


Fig. 8 WA-DGPS performance monitoring software

Fig. 9는 앞서 설명된 모든 연구 개발 결과를 활용한 최종 사용자의 측위 성능을 나타내는 그림이다. 측위 성능의 분석은 본 연구에서 개발된 후처리 소프트웨어를 이용하여 수행되었고 NDGPS 기준국의 24시간 원시측정치 데이터를 활용하여 수행되었다. 그림에서 붉은 색으로 표시된 결과는 GPS만을 사용하였을 때의 사용자 위치오차이고 푸른색으로 표시된 결과는 GPS에 개발된 광역보정시스템의 보정정보를 적용하였을 때의 사용자 위치오차이다. GPS 단독 사용자의 수평 및 수직 위치오차는 각각 2 drms 약 2.3 m, 8.18 m였고, 광역보정정보를 적용한 후에는 수평/수직 위치오차가 1.11 m/2.00 m로 각각 약 50%, 75% 향상 되었다.

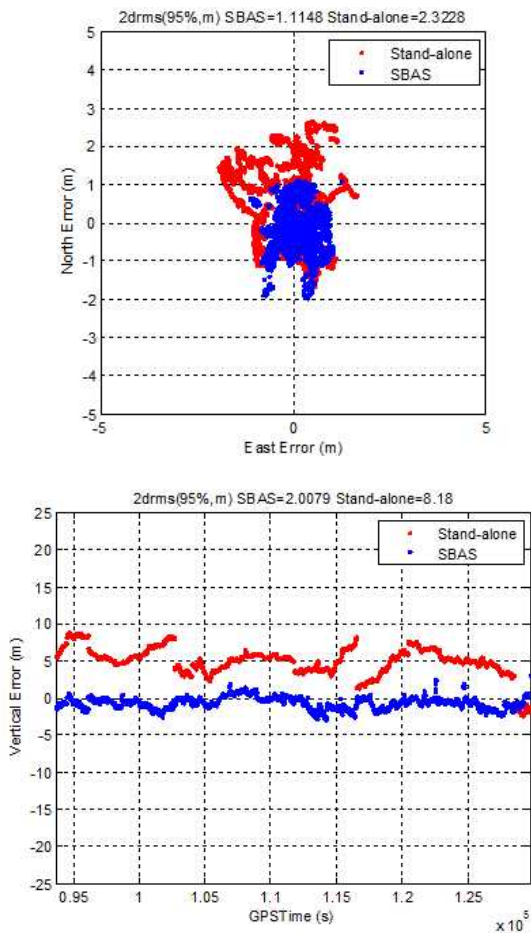


Fig. 9 Positioning results of stand alone GPS user and WA-DGPS user

4. 결 론

본 논문에서는 국내에서 개발 중인 의사위성 기반 광역보정 시스템의 주요 성과와 현황, 그리고 향후 개발 계획에 대하여 살펴보았다. 본 연구에서는 NDGPS 기준국을 활용하여 광역보정 시스템의 지상 기준국 네트워크 및 핵심 알고리즘을 구현 완료하였고, 구축된 시스템의 성능을 상용 수신기를 활용하여 검증

할 예정이다. 2014년부터 진행될 예정인 위성기반 광역보정시스템은 현재 대부분의 선진국에서 개발 및 운용을 추진하고 있는 시스템으로서 전국토의 항법 사용자의 정확성 및 가용성 성능을 비약적으로 향상시킬 수 있어, 항법, 측위 등의 국가 인프라로써 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 향후 정지궤도 위성기반 광역보정시스템 개발이 성공적으로 완료되면 위성 항법시스템 기술 강대국의 반열에 올라설 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Kun, D. Y., Kee, C. D.(2003). "Development & performance analysis of Korean WADGPS positioning algorithm.", Wuhan University Journal of Natural Sciences 8 (2), pp. 575-580.
- [2] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2011), "The 1st Report of Wide Area Differential GNSS Development"
- [3] RTCA SC-159(2006), Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment, RTCA publication DO-229D
- [4] Ruizhi, C., Yuwei C., Marten S., Heikki L., Michel T., Sven M.(2007). "Development of the EGNOS Pseudolite System." Journal of Global Positioning Systems, Vol. 6, No. 2, pp. 119-125.
- [5] Telecommunications Technology Association(2011), Transmission Data Specification for GNSS(GPS) Wide area Reference Station, TTA.KO-06.0266
- [6] ToddWalter, A. H., Per, E.(2001). "Message Type 28." IONNTM 2001, pp. 522-532.
- [7] Yun, H., Han, D. H., Kee, C. D.(2013), Performance Verification of Korean Wide Area Differential GNSS Ground Segment, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 37, No. 1, pp. 17-22.

원고접수일 : 2013년 4월 29일
 심사완료일 : 2013년 6월 24일
 원고채택일 : 2013년 6월 25일