

Test Results of Wide-Area Differential Global Positioning System with Combined Use of Precise Positioning Service and Standard Positioning Service Receiver

Kap Jin Kim^{1,2†}, Jae Min Ahn²

¹Agency for Defense Development, Daejeon 34186, Korea

²Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

ABSTRACT

Most existing studies on the wide-area differential global positioning system (WADGPS) used standard positioning service (SPS) receivers in their observation reference stations which provide the central control station global positioning system (GPS) measurements to generate augmentation data. In the present study, it is considered to apply a precise positioning service (PPS) receiver to an observation reference station which is located in the threatened jamming area. Therefore, the reference station network consists of a PPS receiver based observation reference station and SPS receiver based observation reference stations. In this case, to maintain correction performance PIC1 differential code bias (DCB) should be compensated. In this paper, PIC1 DCB estimation algorithm was applied to the PPS/WADGPS system and performance test results using measurements in the Korean Peninsula were presented.

Keywords: WADGPS, SPS, PPS, differential code bias

1. INTRODUCTION

광역보강정보 생성 시스템은 이온층 지연, 위성오차, 시계 오차 및 무결성 정보를 생성하여 전송하는 시스템으로 대표적으로 위성기반 보강항법 시스템인 SBAS가 있다. SBAS는 현재 유럽, 미국, 일본, 인도에서 운용 중이며, 러시아와 중국에서도 구축하고 있는 중에 있다. 한국에서는 국토교통부 주관으로 KASS 구축 사업을 진행 중에 있다. SBAS로 대표되는 광역보강정보 생성 시스템은 일반적으로 민간 서비스를 위해 운용되고, 또한 생성하는 보정데이터는 민간 SPS 수신기용으로만 제공되고 있다.

이전 연구에서 광역보강정보 생성 시스템의 기준국 네트워크 외부에서도 높은 정확도를 가지는 서비스 제공을 위해 정확도 측면에서 연구가 진행되었다 (Jang et al. 2016, 2018). 또한,

WADGPS 테스트베드를 구축하여 한반도 내에서 기준국 네트워크에 이격된 수신기가 보정항법을 통해 보정항법 성능 1 m 이하를 만족함을 보였다 (So et al. 2016).

한반도에서 운용되는 광역보강정보 생성 시스템에서 적대적 재밍과 기만으로부터 기준국들을 보호해야 할 필요가 있다. 특히, 북한과 인접해서 배치되는 기준국의 경우에 적대적 재밍과 기만으로부터 기준국을 보호할 수 있는 수단이 필요하다. 이에 대해서 암호화 보안코드를 이용하는 PPS 수신기를 북한과 인접한 기준국에 적용함으로써 재밍 대응 능력 향상 (Kaplan & Hegarty 2006)과 암호 기반 신호에 의한 원천적인 기만대응 능력을 확보할 수 있다 (Jafarnia-Jahromi et al. 2012). 이와 같이 PPS 수신기를 일부 기준국에 적용할 경우와 더불어 유사시에 PPS 기준국 네트워크와 상용 기준국 네트워크를 혼합 운용하는 경우도 고려할 수 있다. 따라서 국내에서는 처음으로 PPS 수신기를 광역보강정보 생성 시스템의 일부 기준국에 적용하는 연구를 수행하였고, PPS 수신기를 광역보강정보 생성 시스템의 일부 기준국에 적용하더라도 이전 연구의 SPS 수신기 기반의 광역보강정보 생성 시스템과 같이 기준국 네트워크 내부뿐만 아니라 기준국 네트워크에서 이격된 수신기가 동일하게 1 m 이하의 보정항법 성능을 갖는 것을 목표로 하였다.

Received Feb 20, 2021 Revised Feb 25, 2021 Accepted Mar 05, 2021

[†]Corresponding Author

E-mail: kjkim@add.re.kr

Tel: +82-42-821-3504 Fax: +82-42-823-3400

Kap Jin Kim <https://orcid.org/0000-0001-7078-2376>

Jae Min Ahn <https://orcid.org/0000-0002-6261-0010>

PPS 수신기를 광역보강정보 생성 시스템에 적용하기 위해서는 PIC1 Differential Code Bias (DCB)를 보상해야 한다. PIC1 DCB는 GPS 위성에서 항법 신호를 생성할 때 서로 다른 신호 생성 경로와 RF 소자, 필터, 케이블 등의 특성으로 인해 각 주파수 간에 생기는 시간 지연에 의해 발생한다 (Tetewsky et al. 2009).

이전 연구에서 PIC1 DCB를 추정하는 알고리즘을 제안하고 야의 신호를 이용한 시뮬레이션을 통해 PIC1 DCB 추정 성능을 분석하였다 (Bu et al. 2018, Kim et al. 2019). 또한 PIC1 DCB 추정 알고리즘을 적용한 PPS/WADGPS 테스트베드를 이용하여 성능 시험을 수행하고 PPS 사용자 수신기의 PPS/WADGPS 보정정보 적용 유무에 따른 위치정확도를 분석한 결과를 일부 제시하였다 (Kim & Ahn 2020). 기존 논문들에서는 PPS 기반의 WADGPS의 설계 단계에서의 접근과 간략한 수준의 결과를 제시하였다. 본 논문은 최종적으로 구현 완료된 PPS/WADGPS 시스템에 대해 설명하고, 다양한 사용자 환경에서의 시험 결과 및 시스템 운영 개념에 대해 제시한다. 보안이 요구되는 시스템에서 실제 PPS 수신기와 SPS 수신기의 측정치를 이용해서 외부의 도움 없이 자체적으로 PIC1 DCB를 추정하고 이를 시스템 상에 반영하는 기법을 제시하여 이를 이용한 사용자 항법 결과를 제시하고자 한다.

본 논문에서는 L1 C/A 측정치와 L1 P(Y) 측정치를 모델링하고 측정치 간 차분을 통해 PIC1 DCB를 계산하는 알고리즘을 이전 연구를 참고하여 간략하게 다시 설명하고 새롭게 PIC1 DCB를 추정하기 위한 광역보강정보 생성 시스템의 상세한 설계 및 구현 방법을 제시한다. 또한, PPS 수신기, PPS 수신기 인터페이스, PIC1 DCB 알고리즘 및 PIC1 DCB 전송 메시지 구조 설계 등을 적용한 PPS/WADGPS 테스트베드를 이용하여 성능시험을 수행한 결과를 상세하게 제시한다. 본 논문에서는 SPS 사용자 수신기의 SPS/WADGPS 보정정보 적용 유무에 따른 위치정확도를 함께 분석하여 PPS 수신기에 대한 PPS/WADGPS 보정항법 성능과 SPS 수신기에 대한 SPS/WADGPS 보정항법 성능을 함께 제시함으로써, 최종적으로 PPS 수신기를 광역보강정보 생성 시스템의 일부 기준국에 적용하더라도 SPS 수신기 기반의 광역보강정보 생성 시스템과 동일하게 1 m 이하의 보정항법 성능을 만족하는 것을 보인다.

PPS 수신기는 미국에 의해 관리/통제되고 보안통제가 확보되는 장소에 관리 인원이 요구되는 등, 현재의 연구 단계에서는 전체 기준국에 PPS 수신기를 적용하는데 한계가 존재한다. 따라서 PPS/WADGPS 테스트베드를 1기의 PPS 수신기 기반의 기준국으로 구성하였고 PPS/WADGPS 보정정보 생성을 통한 보정항법의 가용성 검증을 위해 충분한 시스템이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 WADGPS 테스트베드에 PPS 수신기를 적용한 PPS/WADGPS 테스트베드에 대해서 간단히 설명하고, 3장에서는 PIC1 DCB 추정 알고리즘과 PIC1 DCB를 추정하고 메시지화 하는 설계 및 구현 방법을 제시한다. 또한, 장기간의 야의 신호를 이용한 시뮬레이션을 통해 PIC1 DCB가 정상적으로 추정되고 있음을 보인다. 4장에서는 PPS/WADGPS 테스트베드를 이용한 정적 및 동적 성능시험 방법과 결과를 제시한다. 특히 기준국 네트워크 밖에서의 동적 성능 시험을 통해 PPS 수신기를 광역보강정보 생성 시스템의 일부 기준국에 적용하더라도 SPS 수신기만으로 구성된 광역보강정보 생성

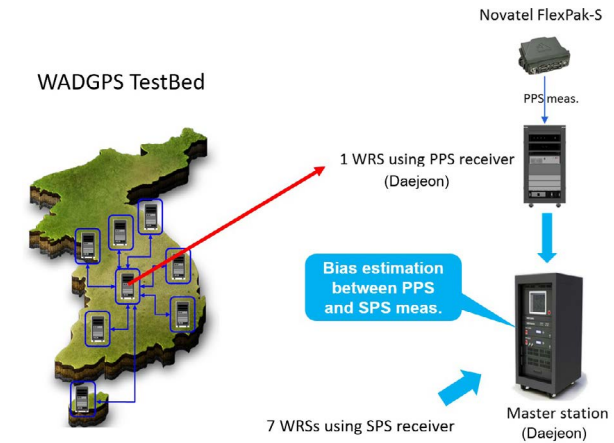


Fig. 1. Conceptual view of PPS/WADGPS testbed.

시스템의 성능과 동일한 성능을 보인다.

2. DEVELOPMENT OF WADGPS AND PPS INTEGRATION SYSTEM

PPS/WADGPS 테스트베드는 기존의 WADGPS 테스트베드를 수정하여 제작되었다. 기존의 WADGPS 테스트베드는 8기의 관측 기준국과 1기의 중앙처리국으로 구성되고 한반도에서 WADGPS의 성능을 평가하기 위해 구축되었다 (So et al. 2016). 특히 남한의 기준국 네트워크를 벗어나는 지역에서도 1 m 이하의 보정 항법 성능을 목표로 하였다. 또한, 위성 기반의 전리층 지연 모델이 대전에 위치한 중앙처리국에 구현되었고 보정 정보 전송을 위해 추가적인 메시지 포맷이 정의되었다 (Park 2015).

PPS/WADGPS 테스트베드는 Fig. 1과 같이 대전에 위치한 1기의 PPS 수신기 적용 기준국과 7기의 SPS 수신기 적용 국토지리정보원 기준국들로 구성된 기준국 네트워크와 대전에 위치한 중앙통제국으로 구성된다. PPS 수신기로는 Novatel사의 FlexPak-S가 적용되었다. 이 수신기는 PPS 측정치와 SPS 측정치를 동시에 제공하는 것을 특징으로 한다. 따라서 PPS 수신기 기반의 WADGPS 결과와 SPS 수신기 기반의 WADGPS 결과를 동시에 획득할 수 있다. 기존의 WADGPS 테스트베드는 실시간으로 보정 정보를 처리 및 송신하고 보정 항법 결과를 획득할 수 있는 반면 PPS/WADGPS 테스트베드는 국토지리정보원 기준국들로부터 측정치를 제공받기 때문에 후처리를 통해 보정 정보 처리 및 보정 항법 결과를 획득하도록 하였다.

3. PIC1 DCB ESTIMATION

GPS 위성에서 항법 신호를 생성할 때 서로 다른 신호 생성 경로와 RF 소자, 필터, 케이블 등의 특성으로 인해 각 주파수 간에 시간지연이 발생한다 (Tetewsky et al. 2009). 이 때 L1 C/A와 L1 P(Y) 간의 바이어스를 PIC1 DCB로 정의한다. PIC1 DCB를 추정하기 위해 L1 C/A 측정치와 L1 P(Y) 측정치를 식 (1), (2)와 같이

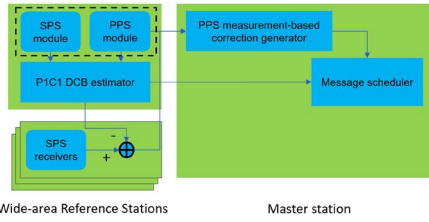


Fig. 2. PPS/WADGPS correction generation block diagram.

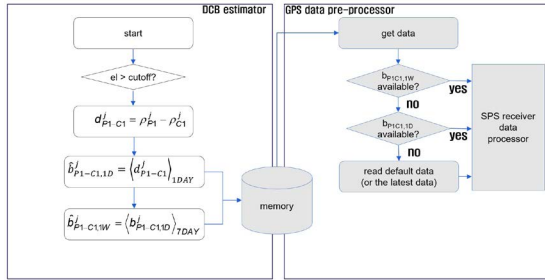


Fig. 3. PIC1 DCB estimator.

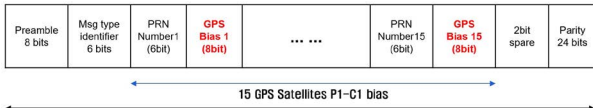


Fig. 4. PPS/SBAS message for PIC1 DCB.

모델링하고 L1 C/A 측정치와 L1 P(Y) 측정치의 차분을 통해 PIC1 DCB는 식 (3)과 같이 계산할 수 있다 (Bu et al. 2018, Kim et al. 2019, Kim & Ahn 2020). 여기서, j 는 위성의 PRN번호, ρ 는 의사 거리 측정치, r 은 위성과 수신기 간의 geometric distance, b 는 위성 clock bias, B 는 수신기 clock bias, I 은 ionospheric delay, T 는 tropospheric delay, d 는 PIC1 DCB, v 는 노이즈를 의미한다. 다중 경로 오차를 포함하는 노이즈는 별도의 계산 과정 없이 스무딩을 통해 간단히 제거하는 방법을 제안하였다.

$$\rho_{C1}^j = r^j - b^j + B + I_{L1}^j + T^j - d_{P1C1}^j + v_{C1}^j \quad (1)$$

$$\rho_{P1}^j = r^j - b^j + B + I_{L1}^j + T^j + v_{P1}^j \quad (2)$$

$$\hat{d}_{P1C1}^j = \rho_{P1}^j - \rho_{C1}^j = d_{P1C1}^j + (v_{P1}^j - v_{C1}^j) \quad (3)$$

PIC1 DCB 추정 알고리즘을 PPS/WADGPS 테스트베드에 구현하였고 Fig. 2에는 PIC1 DCB를 포함하여 보정 정보를 생성하는 블럭다이어그램을 나타내었다. 중앙처리국에서 SPS 수신기 적용 기준국과 PPS 수신기 적용 기준국으로부터의 측정치 및 추정된 PIC1 DCB를 받아서 보정정보 및 메시지를 생성한다. Fig. 2에서의 PIC1 DCB Estimator의 상세 내용은 Fig. 3에 나타내었다. PIC1 DCB Estimator에서는 측정치로부터 PIC1 DCB를 추정하고 스무딩을 통해 1일치 PIC1 DCB와 일주일치 PIC1 DCB를 계산한다. 추정된 PIC1 DCB를 적용할 때에는 일주일치 PIC1 DCB를 우선 적용하고, 가용하지 않을 때에는 1일치 PIC1 DCB, 가장 최신의 PIC1 DCB 순으로 적용한다. 또한 Fig. 2에서의 Message scheduler에서 PIC1 DCB를 전송하기 위한 새로운 메시지 타입을 Fig. 4와 같

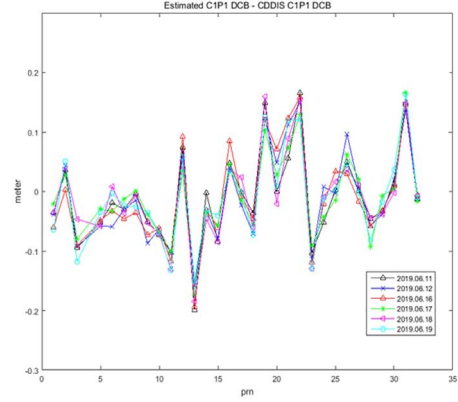


Fig. 5. PIC1 DCB estimation performance.

이 추가로 설계하였다.

PIC1 DCB를 보정하지 않으면 사용자의 보정 항법해에 위치 오차가 유발된다. PIC1 DCB의 경우 최대 4 ns (1.2 m) 정도의 범위에서 발생한다 (Schaer 2008). 야외 신호를 기반으로 PIC1 DCB 추정 성능을 24시간동안 분석한 결과 독일 항공우주연구원에서 제공하는 PIC1 DCB를 기준으로 최대 0.24 m였다 (Kim et al. 2019). 또한, NASA의 Crustal Dynamics Data Information System (CDDIS)에서 제공하는 PIC1 DCB를 기준으로 24시간동안 PIC1 DCB를 분석하였다 (Bu et al. 2018). 본 논문에서는 6일 동안의 야외 신호를 기반으로 PIC1 DCB 추정 성능을 분석하였고 Fig. 5와 같이 최대 0.2 m 이하의 결과를 얻었다. 이는 기준 데이터들 간의 PIC1 DCB 차이를 계산할 때의 오차와 동등 수준이다. 따라서 PIC1 DCB 이 정상적으로 추정되었음이 확인되었다.

4. TEST RESULTS

4.1 Test Setup

먼저 본 논문에서의 성능시험을 위한 시험 구성을 설명한다. 기준국 네트워크는 1기의 PPS 수신기 적용 기준국과 다수의 SPS 수신기 적용 국토지리정보원 기준국들로 구성하고 GPS 측정치를 획득한다. 획득한 GPS 측정치는 중앙통제국으로 전송되고 중앙통제국에서 획득한 GPS 측정치를 이용하여 보정정보를 생성한다. 이 보정정보를 이용하여 사용자 수신기처리기에서 보정항법해를 생성하도록 하였다. PPS 수신기 적용 기준국 및 사용자 수신기는 노바텔사의 FlexPak-S를 동일하게 사용하였다. PPS/WADGPS의 상세한 시험 구성은 Fig. 6에 나타내었다. 대전 기준국에 PPS 수신기를 적용하고 중앙통제국에서는 PPS 기준국 측정치와 7기의 국토지리정보원 기준국 측정치를 이용하여 보정정보를 생성한다. 또한 사용자 수신기의 보정항법을 위해 PPS/WADGPS 사용자 수신처리기를 구성하고 사용자 수신기의 측정치와 보정정보를 이용하여 후처리로 항법해를 계산한다.

성능시험은 크게 정적 성능시험과 동적 성능시험으로 구성된다. 그리고 동적 성능시험은 기준국 네트워크 내에 사용자 수신기가 있을 때와 기준국 네트워크 외에 사용자가 있을 때의 두가

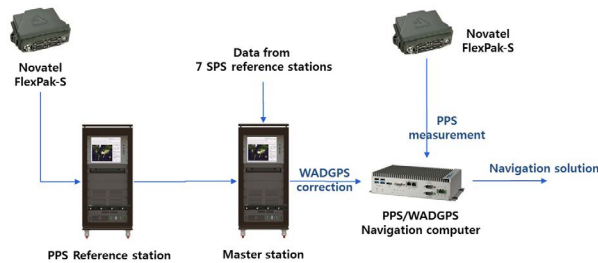


Fig. 6. PPS/WADGPS test setup.

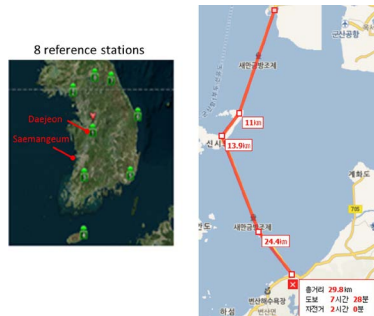


Fig. 7. Dynamic test location and route (inner network test).



Fig. 8. Dynamic test location and route (outer network test).

지 항목으로 구성된다. 정적 성능시험은 PPS 수신기를 적용한 대전 기준국과 강화, 광주, 제주, 부산, 울산, 인제, 철원의 국토지리정보원 기준국 7기로서 구성하였다. 또한 사용자 수신기는 PPS 수신기를 사용하였고 24시간 데이터 로깅 후 후처리 분석을 통해 SPS 사용자 수신기의 SPS/WADGPS 보정정보 적용 유무에 따른 위치정확도와 PPS 사용자 수신기의 PPS/WADGPS 보정정보 적용 유무에 따른 위치정확도를 분석하고 비교하였다. 기준국 네트워크 내의 동적 성능시험은 정적 성능시험과 동일한 기준국 구성으로 도로 주행 시 위성신호 수신을 방해하는 방해물과 차량 이동이 적은 장소로 동적 성능시험을 수행하기에 적합한 장소인 새만금 방조제에서 수행하였다. 기준국 네트워크 내의 동적 성능시험 장소 및 궤적을 Fig. 7에 나타내었다.

기준국 네트워크 외의 동적 성능시험은 제주도에 수행하였으며 제주 국토지리정보원 기준국을 제외한 6기의 국토지리정보원 기준국과 PPS 수신기를 적용한 기준국으로 구성하였다. 동적 성능시험은 정적 성능시험과 마찬가지로 후처리 분석을 통해 SPS 사용자 수신기의 SPS/WADGPS 보정정보 적용 유무에 따

Table 1. Stationary performance test result (SPS receiver).

Test	Horizontal (CEP, m)			Vertical (PE, m)		
	Day1	Day2	Day3	Day1	Day2	Day3
SPS standalone	1.00	1.08	0.80	1.88	2.13	2.15
SPS/WADGPS	0.26	0.25	0.24	0.39	0.37	0.36

Table 2. Stationary performance test result (PPS receiver).

Test	Horizontal (CEP, m)			Vertical (PE, m)		
	Day1	Day2	Day3	Day1	Day2	Day3
PPS standalone	A	B	C	D	E	F
PPS/WADGPS	29% of A	25% of B	32% of C	20% of D	17% of E	16% of F

른 위치정확도와 PPS 사용자 수신기의 PPS/WADGPS 보정정보 적용 유무에 따른 위치정확도를 분석하고 비교하였다. 기준국 네트워크 외의 동적 성능시험 장소 및 시험궤적을 Fig. 8에 나타내었다. 새만금 방조제에서의 동적 성능시험과는 달리 Fig. 8에서 제주도 기준국을 제외한 총 7기의 기준국으로 기준국 네트워크를 설정하여 제주도에에서의 동적 성능시험이 기준국 네트워크 외에서의 시험임을 확인할 수 있다. 본 성능시험은 SPS 수신기로 구성된 기준국 네트워크에 PPS 수신기를 추가하더라도 PPS/WADGPS 보정방법 성능이 기존의 SPS/WADGPS 보정방법 성능인 1 m 이하를 만족하는 것을 보이기 위함이다.

4.2 Static Test Results

24시간씩 3일간 데이터 로깅 후 후처리 분석을 통해 SPS 사용자 수신기의 SPS/WADGPS 보정정보 적용 유무에 따른 위치정확도와 PPS 사용자 수신기의 PPS/WADGPS 보정정보 적용 유무에 따른 위치정확도를 분석하고 비교한 결과를 Tables 1, 2에 나타내었다. PPS 수신기의 데이터는 비밀자료로서 공개가 제한되므로 광역보강정보를 적용한 보정방법 결과를 PPS 수신기 단독방법 결과에 대한 백분율로 표현하였다. PPS/WADGPS 보정방법의 위치오차는 SPS/WADGPS 보정방법의 위치오차와 비교할 때 1 m 이하로 동일한 보정방법 성능을 보였다.

4.3 Dynamic Test Results (inner network)

Fig. 7의 이동경로를 따라서 기준국 네트워크 내에서의 동적 성능시험을 수행하고 후처리 분석을 통해 SPS 사용자 수신기의 SPS/WADGPS 보정정보 적용 유무에 따른 위치정확도와 PPS 사용자 수신기의 PPS/WADGPS 보정정보 적용 유무에 따른 위치정확도를 분석하고 비교한 결과를 Figs. 9, 10과 Tables 3, 4에 각각 나타내었다. Table 4의 두번째 시험에서의 PPS/WADGPS 수평 위치정확도가 98%로 보정효과가 거의 없는 것으로 보이는 것은 PPS 사용자 수신기 단독방법의 수평위치정확도 B가 다른 시험에서의 보정방법정확도 수준으로 오차가 작았기 때문이다. Fig. 11에 두번째 시험의 시간에 따른 위치정확도 변화를 도시하였다. 위성 개수가 6개 이상일 때를 기준으로 하였으며 통계적으로도 문제가 발생하는 구간은 없음을 확인할 수 있다. PPS/WADGPS 보정방법의 위치오차는 SPS/WADGPS 보정방법의 위치오차와 비교할 때 1 m 이하로 동일한 보정방법 성능을 보였다.

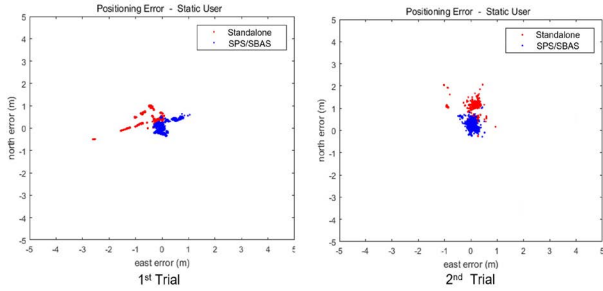


Fig. 9. Horizontal position error in dynamic performance test (SPS receiver).

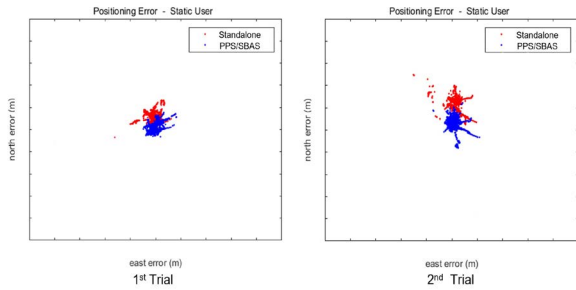


Fig. 10. Horizontal position error in dynamic performance test (PPS receiver).

Table 3. Dynamic performance test result (Inner network, SPS receiver).

Test	Horizontal (CEP, m)		Vertical (PE, m)	
	1st Trial	2nd Trial	1st Trial	2nd Trial
SPS standalone	0.63	0.74	0.96	1.97
SPS/WADGPS	0.28	0.31	0.24	0.29

Table 4. Dynamic performance test result (Inner network, PPS receiver).

Test	Horizontal (CEP, m)		Vertical (PE, m)	
	1st Trial	2nd Trial	1st Trial	2nd Trial
PPS standalone	A	B	C	D
PPS/WADGPS	48% of A	98% of B	33% of C	28% of D

4.4 Dynamic Test Results (outer network)

Fig. 8의 이동경로를 따라서 기준국 네트워크 외에서의 동적 성능시험을 수행하고 후처리 분석을 통해 SPS 사용자 수신기의 SPS/WADGPS 보정정보 적용 유무에 따른 위치정확도와 PPS 사용자 수신기의 PPS/WADGPS 보정정보 적용 유무에 따른 위치정확도를 분석하고 비교한 결과를 Figs. 12, 13과 Tables 5, 6에 각각 나타내었다. PPS/WADGPS 보정방법의 위치오차는 SPS/WADGPS 보정방법의 위치오차와 비교할 때 1 m 이하로 동일한 보정방법 성능을 보였다.

5. CONCLUSIONS

본 논문에서는 광역보강정보 생성 시스템을 적대적 재밍과 기만으로부터 기준국을 보호할 수 있는 PPS 수신기를 적용한 기

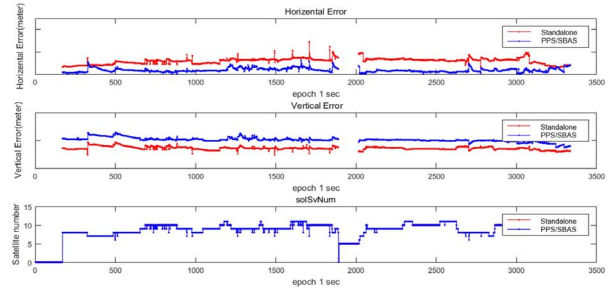


Fig. 11. Position error of the 2nd trial in dynamic performance test (PPS receiver).

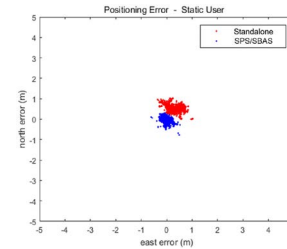


Fig. 12. Horizontal position error in dynamic performance test (SPS receiver).

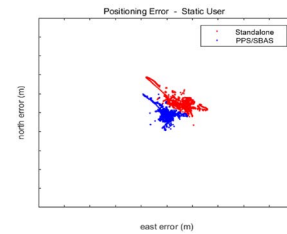


Fig. 13. Horizontal position error in dynamic performance test (PPS receiver).

Table 5. Dynamic performance test result (Outer network, SPS receiver).

Test	Position accuracy (outer network)	
	Horizontal (CEP, m)	Vertical (PE, m)
Standalone	0.56	2.57
SPS/WADGPS	0.14	0.26

Table 6. Dynamic performance test result (Outer network, PPS receiver).

Test	Position accuracy (outer network)	
	Horizontal (CEP)	Vertical (PE)
Standalone	A	B
PPS/WADGPS	35% of A	16% of B

준국과 SPS 수신기를 적용한 기준국들로 구성된 기준국 네트워크로 구성되는 광역보강정보 생성 시스템의 PIC1 DCB 추정 알고리즘과 PIC1 DCB를 추정하고 메시지화 하는 설계 및 구현 방법을 제시하고 장기간의 야외 신호를 이용한 시뮬레이션을 통해 PIC1 DCB가 정상적으로 추정되고 있음을 보였다. 또한, PPS/WADGPS 테스트베드의 구축과 테스트베드를 이용한 성능시험 방법 및 결과를 제시하였다.

성능시험은 정적시험과 동적시험으로 구성되고 동적시험은 기준국 네트워크 내 성능시험과 기준국 네트워크 외 성능시험으로 구성되었다. 각각의 시험을 통해 SPS 사용자 수신기의 SPS/WADGPS 보정정보 적용 유무에 따른 위치정확도와 PPS 사용자 수신기의 PPS/WADGPS 보정정보 적용 유무에 따른 위치정확도를 분석하고 비교하였다.

성능시험 결과 PPS 수신기를 광역보강정보 생성 시스템의 일부 기준국에 적용하더라도 SPS 수신기로만 구성된 광역보강정보 생성 시스템의 성능과 동일함을 확인하였다. 더욱이 기준국 네트워크에서 이격된 수신기에서도 1 m 이하의 보정항법 성능을 만족하는 것을 확인하였다.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization, K.Kim; simulation and test results analysis, K.Kim; writing and editing, K.Kim; review and supervision, J.Ahn.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- Bu, S.-C., So, H., Kim, K. J., Lee, C.-S., Kim, D.-K., et al. 2018, Wide Area Augmentation System Estimating C1P1 DCB, JANT, 22, 400-408. <https://doi.org/10.12673/jant.2018.22.5.400>
- Jafarnia-Jahromi, A., Broumandan, A., Nielsen, J., & Lachapelle, G. 2012, GPS Vulnerability to Spoofing Threats and a Review of Antispoofing Techniques, International Journal of Navigation and Observation, vol. 2012, Article ID 127072, 16 pages. <https://doi.org/10.1155/2012/127072>
- Jang, J., So, H., & Kim, G. 2018, Performance Evaluation for Outer Network SBAS User using CORS data, SASE 2018 Spring Conference, 26, April 2018, Jeju KAL Hotel, Korea, pp.112-113. <http://sase.or.kr/Upload/Session/20/TD3-1.pdf>
- Jang, J., So, H., Lee, K., & Park, J. 2016, Spatial Decorrelation of SBAS Satellite Error Corrections in the Korean Peninsular, Int'l J. of Aeronautical & Space Sci., 17, 73-79. <https://doi.org/10.5139/IJASS.2016.17.1.73>
- Kaplan, E. D. & Hegarty, C. J. 2006, Understanding GPS: Principles and Applications. 2nd ed. (Boston: Artech House)
- Kim, K. J. & Ahn, J. M. 2020, Performance Test Result Analysis for Wide Area Differential GPS and PPS Integration System, IPNT 2020 Conference, 11-13, Nov 2020, Yeosu, Korea, pp.119-122. <http://ipnt.or.kr/2020proc/14>
- Kim, K. J., Ahn, J. M., Jang, J., & So, H. 2019, Differential Code Bias Estimation for Wide-Area DGPS, KIMST 2019 Conference, 13, June 2019, ICC, Jeju, Korea, pp.422-423.
- Park, B. 2015, A study on WADGPS message structure and design, Internal report, Sejong University
- Schaer, S. 2008, Differential code biases (DCB) in GNSS analysis, IGS Analysis Center Workshop, Miami, FL, 2-6, June 2008, [Internet] Available from <https://www.ngs.noaa.gov/IGSWorkshop2008/prog.html>
- So, H., Jang, J., Lee, K., Park, J., & Song, K. 2016, Performance analysis of WADGPS system for improving positioning accuracy, JPNT, 5, 21-28. <https://doi.org/10.11003/JPNT.2016.5.1.021>
- Tetewsky, A., Ross, J., Soltz, A., Vaughn, N., Anzperger, J., et al. 2009, Making Sense of Inter-Signal Corrections, Inside GNSS July/August, 37-48. <https://insidengss.com/wp-content/uploads/2018/01/julyaug09-tetewsky-final.pdf>



technologies.

Kap Jin Kim received B.S. and M.S. degree in control and instrumentation engineering at Hanyang University. He is a principal researcher of the Agency for Defense Development in Korea. His research interests are GNSS signal processing, anti-jamming/spoofing algorithm, and WADGPS



are communication system design and signal processing.

Jae Min Ahn received B.S. degree in electronic engineering at Seoul National University and M.S. and Ph.D. degree in electric and electronic engineering at Korean Advanced Institute of Science and Technology. He is a professor of Chungnam National University in Korea. His research interests