

SDCM의 국내 적용 및 성능 평가를 통한 다중 위성군 SBAS의 효과 예측

Prediction on the Effect of Multi-Constellation SBAS by the Application of SDCM in Korea and Its Performance Evaluation

임철순·석효정·황호연·박병운*

세종대학교 항공우주공학과

Cheol-soon Lim · Hyo-jeong Seok · Ho-yon Hwang · Byungwoon Park*

Aerospace Engineering, Sejong University, Seoul 05006, Korea

[요 약]

러시아는 자국 내 위성기반 보강시스템의 서비스 제공을 위하여 최근 정지궤도 위성을 통하여 SDCM 신호를 송출하기 시작하였다. SDCM용 정지궤도 위성인 LUCH-5A와 LUCH-5B의 영향권에 포함되어 있는 한반도에서도 현재 테스트 중인 PRN (pseudo random number) 140번 메시지가 수신되고 있어 국내 SDCM의 적용 및 그 성능 분석이 가능하다. 본 논문에서는 수신된 SDCM 메시지를 남한 지역의 최북단에 위치한 국토지리정보원 철원 기준국에 적용하였고, 이를 통해 수평 0.8749 m, 수직 0.9589 m (RMS)으로 그 성능이 크게 향상됨을 확인하였다. 또한 GPS와 GLONASS를 동시에 보강하는 SDCM의 특성을 반영하여 분석한 결과, 다중 위성군의 SBAS가 GPS 단독 SBAS에 비해 보호수준은 약 30% 감소시킴으로써, APV-I 가용성 증대에 기여함을 확인하였다. 이를 통해 다중 위성군의 SBAS가 국내 개발될 KASS 시스템의 성능 향상에 기여할 수 있음을 예측할 수 있다.

[Abstract]

Russia recently began broadcasting the SDCM signal in order to provide SBAS service for the civil aviation in the Russian territory using its own geostationary satellites. The service coverage of the SDCM geostationary satellite, LUCH-5A and LUCH-5B, includes Korea peninsula, where the test signal from the pseudo random number (PRN) 140 is received. This paper shows that the position accuracy at the Chulwon GNSS site is improved to 0.8749 m (horizontal) and 0.9589 mm (vertical) by applying the received SDCM message to the RINEX data. Considering that the SDCM augments both GPS and GLONASS, the performance of multi-constellation SBAS was compared to that of GPS-only SBAS, and APV-I availability was improved by decreasing the protection level about 30%. From the results, we can expect that the multi-constellation SBAS can contribute to the performance enhancement of the future KASS.

Key word : Global navigation satellite system, Satellite-based augmented system, System for differential correction and monitoring, Accuracy, Protection level.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2016.20.5.417>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 28 September 2016 Revised 7 October 2016
Accepted (Publication) 20 October 2016 (30 October 2016)

*Corresponding Author; Byungwoon Park

Tel: +82-2-3408-4385

E-mail: byungwoon@sejong.ac.kr

I. 서론

국제민간항공기구 (ICAO; International Civilian Aeronautical Organization)은 1991년 제 10차 총회와 2007년 성능기반 항행 체계 (PBN; performance based navigation) 이행 촉구를 통해 항공기의 안전 운항을 위하여 2025년까지 위성기반 보강시스템 (SBAS; satellite based augmentation system) 도입을 권고한 바 있다 [1]. 이에 미국과 유럽, 일본, 러시아, 인도 등 전세계적으로 SBAS를 구축 및 운영하고 있으며, 우리나라도 2014년 10월부터 한국형 위성항법보강시스템인 KASS (Korea augmentation satellite system)의 개발 및 구축 사업을 착수하였다. 한국형 SBAS인 KASS의 사업 목표는 'ICAO의 요구성능에 부합하는 SBAS 개발'로 1단계 목표는 APV-I급 상용 서비스 제공을 위한 SBAS 개발이고, 2단계 목표는 CAT-I급 시험운영 기술 개발이다 [2]. 현재 SBAS를 운영하고 있는 나라들 중 미국 등 일부 선진국에서만 전 영역의 APV-I 급의 성능 보장이 가능하다고 알려져 있고, 많은 국가들과 연구 기관들이 그 성능을 향상시키기 위한 노력을 기울이고 있다. 그 노력의 일환으로 현재의 GPS (global positioning system)외에도 추가적인 GNSS (global navigation satellite system)에 대한 보강정보를 제공하는 Multi-Constellation SBAS에 대한 연구를 진행하고 있다 [3].

미국의 WAAS (wide area augmentation system)를 비롯하여 현재까지 운영되고 있는 SBAS의 경우 모두 GPS에 대해서만 보정정보와 무결성 정보를 제공하는 반면 [4], 최근 자국내 SBAS 서비스를 시작한 러시아의 SDCM (system for differential corrections and monitoring)은 GPS외에 GLONASS (global navigation satellite system)의 보강정보도 함께 제공하고 있다 [5]. 특히 SDCM 중 PRN140 메시지의 경우 한반도에서도 수신 가능하므로 국내 multi-constellation SBAS의 효과를 확인할 수 있을 것으로 기대된다. 본 논문에서는 국내에서 수신한 SDCM 메시지를 분석하고, 이를 남한 지역의 최북단에 위치한 국토지리정보원 철원 기준국의 RINEX (receiver independent exchange format)에 적용함으로써, GPS-only의 Single-Constellation SBAS와 GPS/GLONASS의 Multi-Constellation SBAS 성능을 비교한다.

II. SBAS 국내의 현황

2-1 국외 SBAS 운영 현황

SBAS는 GNSS의 정확도와 무결성, 연속성과 가용성의 향상을 위하여 광역의 지역에서 운항하는 항공기에 정지궤도 위성으로부터 송출된 L1의 신호를 이용하여 보강정보를 제공하는 시스템이다. 현재 운영되고 있는 SBAS로는 미국의 WAAS, 유럽의 EGNOS (European geostationary navigation overlay service), 일본의 MSAS (multi-functional satellite augmentation

system)가 있으며, 인도의 GAGAN (GPS-aided geo augmented navigation)과 러시아의 SDCM은 최근 메시지 방송을 시작하였다 [6]. 전 세계의 SBAS 구축 현황과 이에 사용되는 정지궤도 위성 및 커버리지는 그림1과 같다 [7].

WAAS는 미국에서 개발한 전 세계 최초의 광역보정시스템으로 2003년 운용을 시작한 이래 LPV (localizer performance with vertical guidance)급 성능의 서비스를 제공하고 있고, 2028년까지 GPS L2, L5신호를 추가하여 이중주파수를 이용한 정밀 접근 (precision approach) 서비스를 제공할 계획이다 [8]. 뿐만 아니라 캐나다와 멕시코 등 미국 외 지역에 기준국을 추가로 설치하고 정지궤도 위성 1기를 추가함으로써 WAAS 서비스 지역 범위를 점차 확대할 예정이다 [9].

EGNOS는 유럽연합에서 개발한 광역 보정시스템으로 2009년부터 Non-SOL (non-safety-of-life) 활용을 위한 공개서비스를 제공하기 시작하였고, 2011년부터는 SOL (safety-of-life) 서비스를 개시하였다 [10]. 유럽우주청 (ESA; European Space Agency)에서는 유럽의 GNSS 현대화 계획에 따라 EGNOS 서비스 지역범위 확대 및 다른 SBAS 시스템과의 연계를 위한 개선작업에 착수하여 2038년까지는 SOL 서비스를 아프리카 전역에 제공할 계획이다 [11].

MSAS는 일본이 미국 Raytheon의 기술을 도입하여 구축한 광역보정시스템으로 '07년 이후 일본 전역에 서비스 중이나, 기준국 수가 부족하고 이온층의 영향이 커서 수직유도 서비스는 제공하지 않는 RNP (required navigation performance) 0.3급의 NPA (non precision approach) 서비스만 제공하고 있다 [12]. 그러나 향후 지속적인 성능개선 작업을 통하여 일본 전역에 대해 LPV-200급 성능의 MSAS 서비스를 제공할 계획이다.

GAGAN은 인도의 ISRO (Indian Space Research Organization)과 AAI (Airports Authority of India)와 함께 구축한 광역보강시스템으로 RNP 0.1의 en route 인증과 APV I의 정밀접근 인증을 각각 2013년과 2015년에 획득하여, 2015년 5월부터 방송을 시작하였다 [13].

SDCM은 러시아에서 구축한 SBAS 시스템으로 타 SBAS와 동일하게 보정정보와 무결성 정보를 제공하지만, GPS이외에 GLONASS정보를 함께 제공한다는 점이 차이점이다 [14]. 2016년부터 자국 내 서비스를 정지궤도 위성을 이용하여 테스트 메시지의 형태로 제공하고 있다.

그림 1. 국외 SBAS 현황
Fig. 1. Status of Worldwide SBAS.

2-2 국내 SBAS개발 현황

이와 같이 전 세계적으로 자국 항공기의 안전하고 효율적인 운항을 위하여 SBAS를 구축하고 이용하는 가운데, 국내에서도 국토교통부가 주관하고 한국항공우주연구원을 중심으로 한국형 SBAS 개발 구축 사업을 진행하고 있다. KASS로 명명된 본 사업은 2014년에 시작되어 2019년 7월부터 항공기를 제외한 모든 영역에 무상으로 정보를 제공하는 Open Service를 시작할 예정이고, 이후 3년간의 검증절차를 거쳐 2022년에는 항공기에 정식 서비스를 제공할 계획이다 [15].

KASS의 개발 목표는 총 2단계로 제 1단계에서는 APV-I급 (수직오차 :20 m, 수평오차:16 m) SBAS 시스템을 개발 구축하고, 제 2단계에서는 CAT-I급 (수직오차:6 m, 수평오차:16 m) SBAS 시스템 개발 구축에 필요한 연구를 병행하여 추진할 계획이다 [16].

본 사업을 통하여 안전하고 효율적인 미래항공교통체계를 구축하고 KASS를 ICAO의 표준 항법시스템으로 등록함으로써 세계 7번째 위성항법서비스 제공국이 되는 것을 목표로 하고 있다. 뿐만 아니라, 최고 수준인 CAT-I 급 SBAS서비스를 제공함으로써 한정된 공역과 공역시설의 제약 조건에서 보다 많은 항공기의 소통과 비행거리를 단축시키는 진보적 항법시스템 구축과 항공 안전 확보 및 국가 경쟁력 강화를 기대하고 있다.

이를 위하여 multi-frequency SBAS, multi-constellation SBAS 등의 방식을 고려하고 있으며, 본 논문에서는 국내에서 수신 가능한 SBAS 메시지 중 multi-constellation SBAS 방식을 사용하고 있는 러시아의 SDCM 메시지를 분석 및 적용함으로써 multi-constellation의 효과를 파악하도록 한다.

2-3 국내 SBAS 신호 수신 현황

SBAS용으로 사용할 수 있는 위성식별코드인 위성 PRN (pseudo random noise)은 120~158번 사이를 사용하고 각 시스템의 사용하는 위성별 PRN과 배치된 경도는 표1과 같다. WAAS 시스템에서 사용하는 위성 PRN은 총 3개로, 갤럭시 위성용으로 할당된 135번, AnikF1R 위성용으로 할당된 138번, 그리고 Inmarsat으로부터 임차해 사용하는 133번이 사용 중이다. 또한 EGNOS 시스템에서 사용하는 위성 PRN은 총 5개로 120, 123, 124, 126, 136 위성번호가 EGNOS에 할당되었다. 일본의 MSAS 시스템에서 사용하는 위성 PRN은 2개로 MTSAT-1R 위성용으로 사용하는 129번과 MTSAT-2 위성용으로 사용하는 137번이다. 인도의 GAGAN 시스템에서 사용하는 위성 PRN은 3개로 현재 발사된 GSAT-8, 10 위성용으로는 128, 127번이 사용 중이고, 향후 발사될 GSAT 위성용으로 사용하는 139번이 할당된 상태이다. 러시아의 SDCM 시스템에서 사용하는 위성 PRN은 125번과 140번, 141번이 할당되어 사용 중이다.

표 1. SBAS용 정지궤도 위성 현황

Table 1. Status of current SBAS Geo-stationary satellites.

PRN	Latitude (°)	SBAS
120	15.5W	EGNOS
123	31.5E	EGNOS
124		EGNOS
125	16W	SDCM
126	64E	EGNOS
127	55E	GAGAN
128	83E	GAGAN
129	140E	MSAS
130		Inmarsat
131		not assigned
132		not assigned
133	98W	WAAS
134		미할당
135	133W	WAAS
136	5E	EGNOS
137	145E	MSAS
138	107.3W	WAAS
140	95E	SDCM
141	167E	SDCM
142~158		not assigned
158		NIGCOMSAT

이상과 같이 고유의 PRN 번호를 할당받아 보강 메시지를 송출하는 SBAS 위성들은 자국의 공역을 서비스 대상으로 하기 때문에, 일반적으로 해당 SBAS 운영국가에 인접한 경도의 적도면 상에 배치된다. 배치된 경도를 중심으로 신호의 세기와 시선각에 따라 일정 영역의 커버리지가 정해지는데, 각 시스템 별 서비스 영역은 그림 2와 같다.

그림2에서 알 수 있듯이 대한민국은 지리적 영향으로 SBAS 보유국 중 일본과 러시아, 인도의 SBAS 위성 영향권에 놓여 있고, 실제 서울 지역에서 GNSS 수신기로 신호를 수신한 결과 MSAS 신호인 PRN 129와 137, GAGAN 신호 중 PRN 128, SDCM 신호 중 PRN 140 이 수신됨을 확인할 수 있다.

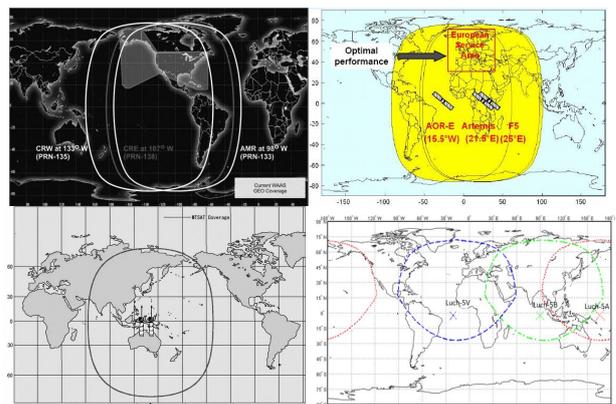


그림 2. SBAS 서비스 영역 (좌상:WAAS, 우상:EGNOS, 좌하:MSAS, 우하:SDCM) [5][17][18]

Fig. 2. Service Coverage of Each SBAS (above left: WAAS, above right: EGNOS, below left: MSAS, below right: SDCM) [5],[17],[18].

III. SBAS 사용자 알고리즘

3-1 정확도 향상 알고리즘

SBAS 보강정보 메시지 형식은 MOPS-DO229D [19]에 총 64개가 할당되어 있으나 일반적으로는 약 19개의 메시지가 이용되고 있다. [20] 현재 방송되고 있는 메시지 중 MT (message type) 1은 SBAS 시스템이 보정정보를 제공하는 항법시스템 위성번호와 IOD를 전송하는데, MT2~5, MT25과 연계하여 위성관련 보정정보인 FC (fast correction), LC (long-term correction)를 생성한다. 유효한 전리층 grid point 정보를 포함하는 MT18과 MT26을 연결하여 전리층 보정정보인 IC (ionospheric correction)를 추정하고, 모델식을 이용하여 대류층 보정정보 TC (tropospheric correction)을 계산한다. 성분별 보정정보를 식(1)에 대입하여 사용자의 위성별 보정정보를 생성하고 이를 사용자 측정치에 적용하여 정확도 성능을 향상시킨다.

$$RC = FC + LC + IC + TC \tag{1}$$

3-2 보호수준 산출 알고리즘

항공기에 탑재된 항법시스템이 만족해야하는 중요한 요구조건으로는 정확도 뿐 아니라 무결성과 가용성도 포함되는데, 이상의 항법성능 평가에 중요한 지표가 보호수준이다. 보호수준은 계산된 위치를 중심으로 실제 위치가 있을 수 있는 한계를 의미하고, 이를 위해 (1)에서 구한 각 오차에 포함된 분산값 계산을 통해 (2)와 같이 오차 수준을 계산한다. [21]

$$\sigma^2 = \sigma_{flt}^2 + \sigma_{UIRE}^2 + \sigma_{air}^2 + \sigma_{tropo}^2 \tag{2}$$

여기서 σ_{flt}^2 , σ_{UIRE}^2 , σ_{air}^2 , σ_{tropo}^2 는 각각 위성관련오차, 전리층, 측정치, 대류층 오차의 분산값을 의미한다.

이후 가시 위성의 기하학적인 배치에 따라 위성별 오차 수준이 위치영역으로 끼치는 영향을 타원 실린더 형태로 가정하여, 수평 오차 타원의 장축(d_{major})과 수직 오차 성분(d_v)으로 분리하여 식(3)에 적용함으로써 수평 보호수준 (HPL)과 수직 보호수준 (VPL)을 계산한다.

$$HPL = K_h d_{major} \quad VPL = K_v d_v \tag{3}$$

여기서 K_h 은 비정밀 접근시의 6.18, 정밀 접근시 6.0으로 설정되고 K_v 은 5.33으로 정한다.

3-3 SDCM 사용자 적용 알고리즘

미국의 WAAS, 유럽의 EGNOS, 일본의 MSAS 등 기존의

SBAS가 GPS에 관련된 보강정보만 제공하는데 반해, 러시아의 SDCM은 자국의 위성항법 시스템인 GLONASS에 대한 정보도 함께 제공한다는 점에서 타 SBAS와 큰 차이가 있다. 이를 위하여 SDCM을 적용할 때에는 여타 SBAS 보강정보 적용 방식과 일부 차이가 있다.

1) 기준 시각 및 좌표계

GLONASS와 GPS는 각 Control Segment에서 생성한 기준시에 근거하여 운영되는데, GPS와 달리 GLONASS는 leap second correction을 통하여 GLONASS Time이 언제나 UTC에 동기화 되도록 조정한다. 또한 GLONASS는 러시아 PZ-90.02 좌표계를 사용하는데, 이는 식(4)에 의해 WGS-84로 변환된다.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{WGS-84} = \begin{pmatrix} -0.36 \\ 0.08 \\ 0.18 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{PZ-90.02} \tag{4}$$

2) PRN Mask

MT1 사용시 가장 큰 문제는 SBAS의 210 bit bandwidth로는 최대 51개의 위성만 보강할 수 있다는 점이다. SDCM을 제외한 SBAS의 경우, GPS 위성만을 보강하였으므로 이러한 제약 조건의 영향을 받지 않았으나, 표2와 같이 38~61에 할당된 GLONASS 정보를 함께 전송하는 SDCM에서는 가시 위성을 중심으로 보강 정보를 생성하고 전송하는 dynamic PRN mask 기법을 사용하고 있다.

3) IOD (Issue of Data)

GPS의 경우, SBAS에서 제공하는 IOD와 GPS의 IODE, IODC가 모두 일치해야만 유효한 LC로 간주하고 적용한다. 그러나 GLONASS IOD의 경우 표3과 같이 validity interval (V)와 latency interval (L)을 의미하므로, 식(5)를 만족할 경우 유효한 LC로 간주하고 사용한다.

$$t_{LT} - L - V \leq t_r \leq t_{LT} - L \tag{5}$$

표 2. SBAS용 PRN 할당

Table 2. PRN assignment for SBAS.

PRN	GNSS Constellation
1~37	GPS
38~61	GLONASS
62~119	Future GNSS
120~138	SBAS
139~210	Future GEO

표 3. GLONASS 위성 IOD

Table 3. IOD for GLONASS satellites.

Data	Bits	Range	Resolution
Validity Interval (V)	5	30~960	30s
Latency Interval (L)	3	0~120	30s

IV. SDCM 메시지 및 국내 성능 분석

4-1 실험 환경

SDCM 메시지 및 국내 성능 분석을 위해 관측데이터로는 2016년 9월 21일 국토지리정보원에서 운영하는 철원 기준국(CHUL)에서 수신된 GPS 및 GLONASS 관측데이터를 사용하였고, SDCM 메시지는 동일날짜에 세종대학교에서 수신된 SDCM 메시지를 사용하였다. 데이터 처리 시, epoch interval은 30초, elevation mask angle은 5° 로 설정하였다.

4-2 SDCM 메시지 분석

그림 3과 그림 4는 각각 WAAS 메시지 타입별 방송비율과 SDCM 메시지 타입별 방송비율을 나타낸 것이다. 이를 통해 SDCM 메시지의 몇 가지 특징을 알 수 있다.

첫 째, fast corrections과 UDRE 정보를 제공하기 위해 사용되는 MT2~5 방송비율의 차이가 있다. SDCM의 경우, MT2~5의 방송 비율이 약 75.5%이고 WAAS의 경우, 약 50%로 SDCM이 WAAS에 비해 MT2~5의 방송 비율이 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 GPS만을 지원하는 WAAS는 최대 51개의 위성만 보강 가능한 제약조건에 영향을 받지 않아 MT5를 제외한 MT2~4 만 방송하여도 시스템 운영 상 문제가 발생하지 않고, GPS 뿐만 아니라 GLONASS도 지원하는 SDCM은 위의 제약 조건에 영향을 받아 MT2~5를 모두 방송해야 GPS/GLONASS 다중 위성군 SBAS를 유지할 수 있기 때문이다.

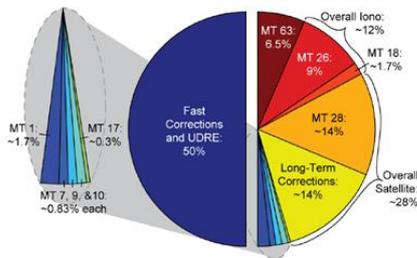


그림 3. WAAS 메시지 타입별 방송 비율 [22]
Fig. 3. Relative occurrence of WAAS messages [22].

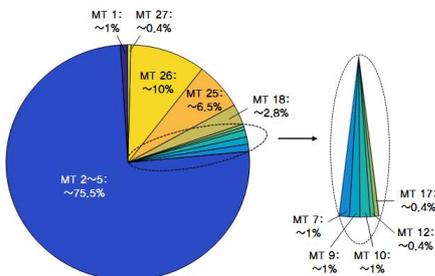


그림 4. SDCM 메시지 타입별 방송 비율
Fig. 4. Relative occurrence of SDCM messages.

둘 째, GLONASS time offset 제공을 위해 사용되는 MT12의 방송여부이다. GLONASS time offset은 GPS time과 GLONASS time 간의 offset으로 GPS 단독 SBAS에는 고려할 필요가 없지만 GPS/GLONASS 다중 위성군 SBAS에는 반드시 고려되어야 하는 성분이다. 위에서 언급하였듯이 WAAS는 GPS만을 지원하기 때문에 MT12를 방송할 필요가 없지만 SDCM은 GLONASS를 지원하므로 GPS/GLONASS 다중 위성군 SBAS 보정정보 생성에 반드시 고려되어야 하는 GLONASS time offset, 즉, MT12를 방송하여야 한다.

마지막으로 식 (2)의 σ_{flt} 를 계산하는데 사용되는 $\delta UDRE$ 제공을 위해 사용하는 MT의 종류와 이 때 사용되는 MT 방송 비율의 차이가 있다. WAAS의 경우, 사용자가 직접 $\delta UDRE$ 값을 계산하는 방식을 사용하고 있으며, 이를 위해 clock-ephemeris covariance matrix 구성에 필요한 파라미터가 포함된 MT28를 MT25 (long-term corrections)와 비슷한 비율(약 14%)로 방송하고 있다. SDCM의 경우, WAAS와 달리 $\delta UDRE$ 값을 사용자에게 직접 제공하고 있으며, 이를 위해 SBAS Service 메시지인 MT27을 WAAS의 MT28보다는 훨씬 낮은 비율(약 0.4%)로 방송하고 있다.

4-3 SDCM 정확도 분석

그림 5는 GPS 단독 SBAS에서의 SDCM 보정정보의 성능을 확인하기 위해 GPS 관측데이터에 SDCM 보정정보를 적용하기 전과 적용한 후의 사용자 위치 수평오차와 수직오차를 나타낸 것이다. SDCM 보정정보를 적용하지 않은 GPS 단독측위의 경우, 수평오차와 수직오차의 RMS 는 각각 1.2740 m, 2.3266 m 였는데, SDCM 보정정보를 적용한 경우, 수평오차와 수직오차의 RMS는 각각 0.8749 m, 0.9589 m로 감소하였다. 이를 통해 국내에서도 SDCM 보정정보를 적용함으로써 사용자 위치 정확도를 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

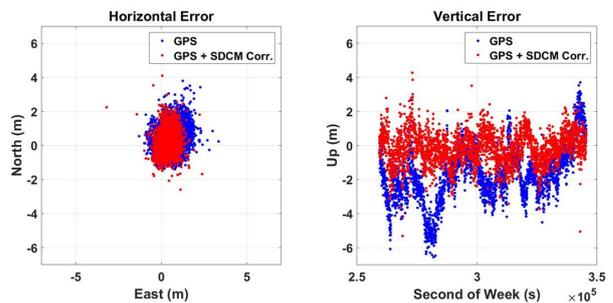


그림 5. SDCM 보정정보 적용 전후 사용자 위치오차
Fig. 5. Position error before and after the application of SDCM corrections.

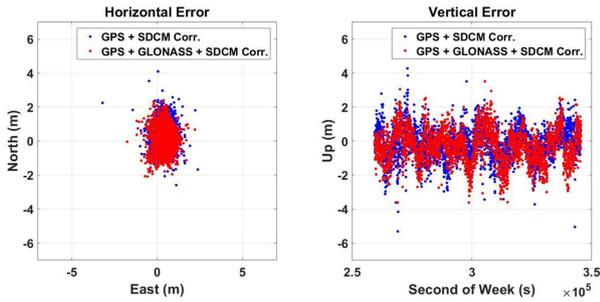


그림 6. GPS 단독 SBAS와 GPS/GLONASS 다중 위성군 SBAS 사용자 위치 오차

Fig. 6. Position error for GPS-only SBAS and GPS/GLONASS SBAS.

그림 6은 GPS/GLONASS 다중 위성군 SBAS가 사용자 위치 정확도 향상에 끼치는 영향을 확인하기 위해 GPS 및 GLONASS 관측데이터에 SDCM 보정정보를 적용하여 계산한 GPS 단독 SBAS와 GPS/GLONASS 다중 위성군 SBAS의 사용자 위치 수평오차와 수직오차를 나타낸 것이다. GPS 단독 SBAS의 경우, 수평오차와 수직오차의 RMS 는 각각 0.8749 m, 0.9589 m였는데, GPS/GLONASS 다중 위성군 SBAS의 경우, GPS-단독 SBAS에 비해 가용 위성 수가 증가하고 DOP가 감소 하였음에도 불구하고 수평오차와 수직오차의 RMS는 각각 0.8621 m, 1.0449 m로 수평오차는 소폭 감소하였고 수직오차는 소폭 증가하였다. 이를 통해 사용자 위치 정확도 측면에서는 GPS/GLONASS 다중 위성군 SBAS의 효과가 예상에 비해 뚜렷 하지 않음을 확인하였다.

4-4 SDCM 보호수준 및 APV-I 가용성 분석

그림 7-(a)와 그림 7-(b)는 SDCM를 이용한 GPS 단독 SBAS의 APV-I 가용성 분석을 위해 사용자 위치오차(PE)와 보호수준(PL), 경보한계(AL)를 나타낸 것이다. APV-I 항공기 정밀접근 요구조건(수평 40 m/수직 50 m)에 대해 수평 방향으로는 약 96.458 %의 가용성을 보였고, 수직 방향으로는 약 98.985%의 가용성을 보였다. 이는 ICAO 요구규격(99% ~ 99.999%)을 만족하지 못하는 수치이므로 국내에서는 SDCM를 이용한 GPS 단독 SBAS의 경우, APV-I급 서비스 이용은 힘들 것으로 판단 된다.

그림 8-(a)와 그림 8-(b) SDCM를 이용한 GPS/GLONASS 다중 위성군 SBAS의 APV-I 가용성 분석을 위해 사용자 위치오차와 보호수준, 경보한계를 나타낸 것이다. APV-I 항공기 정밀 접근 요구조건에 대해 수평 방향과 수직 방향 모두 24시간, 가용성 조건을 만족하여 약 99.999%의 가용성을 보였고, 이는 ICAO 요구규격을 만족하는 수치이다. 이를 통해 사용자는 위치 정확도보다 가용성 측면에서 GPS/GLONASS 다중 위성군 SBAS가 효과적임을 확인하였다.

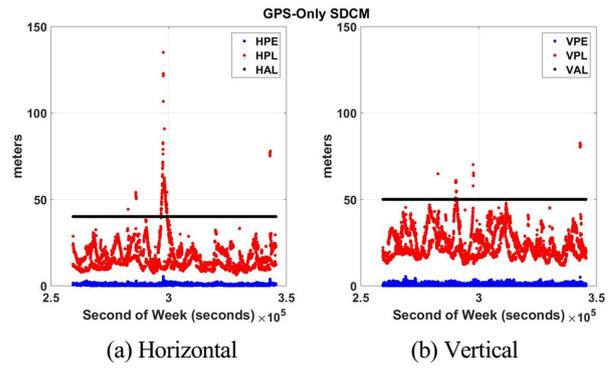


그림 7. GPS-단독 SBAS에서의 위치오차와 보호수준, 경보한계

Fig. 7. Position error (PE) and protection level (PL), alert limit (AL) for GPS-only SBAS.

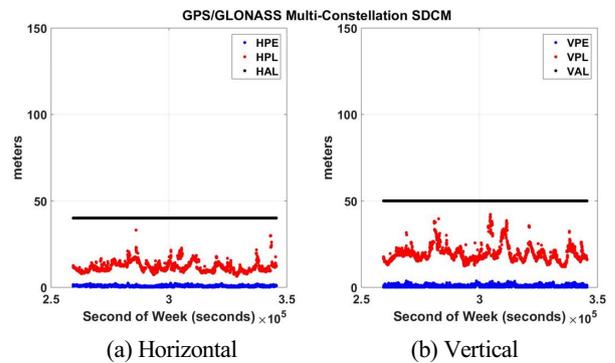


그림 8. GPS/GLONASS 다중 위성군 SBAS에서의 위치오차와 보호수준, 수직 경보한계

Fig. 8. Position error (PE) and protection level (PL), alert limit (AL) for GPS/GLONASS multi-constellation SBAS.

V. 결 론

본 논문에서는 현재 국내에서 수신 가능한 SDCM 메시지를 분석하고 국토지리정보원 철원 기준국에서 수신된 GPS와 GLONASS 관측 데이터에 적용하여 GPS 단독 SBAS와 GPS/GLONASS 다중 위성군 SBAS의 성능을 분석하였다. 분석 결과, SDCM 보정정보를 적용하지 않은 경우 수평오차와 수직 오차의 RMS는 각각 1.2470 m, 2.3266 m였는데, GPS 단독 SBAS의 경우 수평오차와 수직오차의 RMS는 0.8749 m, 0.9589 m로 감소하여 국내에서도 SDCM 보정정보를 이용하여 사용자 위치 정확도를 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 정확도와 가용성 측면에서의 GPS/GLONASS 다중 위성군 SBAS의 성능 분석 결과, GPS/GLONASS 다중 위성군 SBAS의 수평오차와 수직오차의 RMS는 각각 0.8621 m, 1.0449 m로 GPS 단독

SBAS의 오차 수준과 큰 차이가 없었으며 이를 통해 다중 위성군 사용이 정확도 측면에 끼치는 영향이 크지 않음을 확인하였다. 하지만 GPS 단독 SBAS에서는 이용이 불가능했던 APV-I급 서비스가 GPS/GLONASS 다중 위성군을 사용함으로써 서비스 이용이 가능해져 가용성 측면에서는 큰 효과가 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(15TBIP-C094424-01)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] J. H. Han, et al, A basic study for development of safety technologies in aviation - focusing on development of airspace safety assessment model, The Korea Transport Institute, Gyeonggi-do, Research Series, 2011-14, 2011
- [2] KASS [Internet]. Available: <http://kass-eng.re.kr/>
- [3] Sakai, Takeyasu, Yamada, Hideki, Hoshino, and Kazuaki, "GPS/GLONASS multi-constellation SBAS trial and preliminary results for East-Asia region", in *Proceedings of the International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, Nashville: TN, pp. 854-866, September 2012.
- [4] D. Lawrence, "Global SBAS status", in *Proceedings of ION 24th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, pp. 1574-1602, Portland: OR, Sept. 2011.
- [5] Russian system of differential correction and monitoring [Internet]. Available: <http://www.sdcn.ru/>
- [6] Y. Yun, Interoperability between multiple SBAS systems in the overlaid region, SBAS Trend Report, 2016
- [7] SBAS South Africa [Internet]. Available: <http://sbas-africa.avantiplc.com/>
- [8] J. Burns, Wide area augmentation system (WAAS) - program status update, RTCA Working Group 2, 2013
- [9] C. S. Sin, et al, Technical development trends of satellite based augmentation system, 2014 Electronics and Telecommunications Trends, pp. 74-85 2014.
- [10] P. D. Smet, "The European GNSS programmes EGNOS and Galileo", in *Proceeding of the 6th ICG Conference*, Tokyo: Japan, 2011.
- [11] EGNOS Africa JPO : Support to EGNOS in Africa, in *Proceeding of the ACAC GNSS Workshop*, Rabat: Morocco, 2016
- [12] G. Nam, et al, Final report on the foundation plan for the implementation of SBAS, KAIA, 2014
- [13] A.S. Ganeshan, et al, GAGAN-India's SBAS, Technical article, InsideGNSS, 2016
- [14] Russian Space Systems, Radio signals and digital data structure of GLONASS wide area augmentation system, system of differential correction and monitoring, Interface Control Document, Edition 1, 2012.
- [15] KARI [Internet]. Available: http://www.kari.re.kr/kor/sub03_06.do
- [16] KONI, Report on establishment of the management and operation system of the GNSS augmentation system for the aviation, MOLIT, 2013.
- [17] FAA-navigation programs [Internet]. Available: http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/waas/news/
- [18] ESA Navipeida [Internet]. Available: http://www.navipedia.net/index.php/EGNOS_Signal_Structure
- [19] RTCA, Inc. document, DO-229(D), Minimum operational performance standards for global positioning system/ wide area augmentation system airborne equipment.
- [20] H. Seok, Study on the accuracy improvement and integrity information generation of the low-cost GPS receiver for the expansion of drone operation, M. S. Thesis, Sejong University, Seoul, Korea, 2016.
- [21] H. Yun, et al, Availability performance analysis of Korea wide area differential GNSS test bed, *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 15, No. 4, pp. 510~516, 2011.
- [22] T. Walter, J. Blanch, and P. Enge, "L1/L5 SBAS MOPS to support multiple constellations", in *Proceedings of the 25th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, Nashville: TN, pp. 1287-1297 Sept. 2012.



임철순 (Cheol-Soon Lim)

2015년 2월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학사)
2015년 3월 ~ 현재 : 세종대학교 대학원 항공우주공학과 석사과정
※ 관심분야 : GNSS, SBAS, PPP



석효정 (Hyo-Jeong Seok)

2014년 8월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학사)
2016년 8월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학석사)
※ 관심분야 : GNSS, SBAS, Integrity



황호연 (Hoyon Hwang)

1993년 5월 : 미국 Georgia Institute of Technology 항공우주공학과 (공학박사)
2000년~ 현재 : 세종대학교 항공우주공학과 교수
2012년~현재 : 세종대 부설 항공산업연구소 연구소장
※ 관심분야 : Aviation Emission, Solar Aircraft Design, Vibration Control



박병운 (Byungwoon Park)

2008년 2월 : 서울대학교 항공우주공학과 (공학박사)
2012년 9월 ~ 현재 : 세종대학교 항공우주공학과 조교수
※ 관심분야 : DGPS, WADGPS, RTK, Network RTK, GPS