

드론의 저가형 GPS 수신기용 SBAS 보강 정보 전송 시스템 제안

Suggestion on the SBAS Augmentation Message Providing System for the the Low-cost GPS Receiver of Drone Operation

석효정¹ · 윤동환² · 임철순³ · 박병운^{3*}

¹한국항공우주연구원 무인이동체 미래선도 핵심기술 개발사업단

²한국정보통신기술협회 소프트웨어시험인증연구소

³세종대학교 항공우주공학과

Hyo-jeong Seok¹ · Dong-hwan Yoon² · Cheol-soon Lim³ · Byung-woon Park^{3*}

¹Unmanned Vehicle Advanced Research Center, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon, 34133, Korea

²Software Testing Laboratory, Telecommunication Technology Association, Seongnam, 13591, Korea

³Department of Aerospace Engineering, Sejong University, Seoul, 05006, Korea

[요 약]

비행환경에서의 드론 운용에 있어서 ICAO가 규정한 성능 요구조건을 만족하기 위해서는 SBAS와 같이 보강정보를 제공하는 시스템이 필요하다. 하지만 드론이 SBAS 신호를 지속적으로 수신할 수 없는 환경에서는 드론의 운용 범위가 제한될 수 있다. 본 논문에서는 드론 운용범위 확대를 위하여 SBAS 위성 신호 차폐지역에 위치한 드론을 가정하여 기준국 서버에서 별도의 통신 채널을 이용하여 SBAS 보강정보를 송출하는 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템을 구현하고 정적 환경에서 검증 수행한 결과 DGPS 측위 결과는 약 10cm 정도의 성능 차이를 보여 그 성능이 매우 유사함을 확인할 수 있었다. 또한 시스템에서 계산한 보호수준 역시 항공용 수신기에서 계산한 값 대비 2m 이내의 성능차이를 보임으로써 실시간 소프트웨어에 적용된 알고리즘의 적절성을 검증하였다.

[Abstract]

In order to meet performance requirements specified by the ICAO in drone operation, a system that provides augmentation information such as SBAS is needed. However, the operating range of the drone is limited in situation where the drone can not received the SBAS message continuously. In this paper, we propose a system to transmit SBAS augmentation message using a separate communication channel assuming the SBAS satellite signal to the drone has been shielded. We implemented the proposed system and verified its performance in the static environment. The DGPS positioning results showed that the accuracy difference is about 10cm, which means the accuracy performance was very similar. In addition, the protection level calculated by the system also shows the difference within 2m from the value calculated by the airborne receiver.

Key word : Drone, SBAS, Accuracy, Integrity, Protection Level.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.3.272>



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 6 June 2017; Revised 12 June 2017
Accepted (Publication) 24 June 2017 (30 June 2017)

*Corresponding Author; Byung-woon Park

Tel: +82-02-3408-4385

E-mail: byungwoon@sejong.ac.kr

1. 서론

2015년 2월 15일 미국 FAA (federal aviation administration) 가 발표한 드론과 관련된 새로운 규정에 따르면, 무게 25 kg 이하, 최대 항속 100 mph, 최대 고도 500 피트 및 조종사 가시 환경을 유지하는 무인기에 한하여 운용을 허락하고 있는데 [1], 가시거리 내에서 운용만으로는 무인 택배, 무인 농경, 의료, 재해 감시 등 다양한 적용 분야에서의 사업성을 보장할 수 없다.

드론이 비가시영역 운용을 거쳐 궁극적으로 비행환경에 사용하기 위해서는 유인기 수준의 엄격한 항공기 간의 분리 거리 (separation range)가 확보되어야 하며, 감지 및 회피(sense & avoidance) 기술이 적용되어야 한다. 이를 위하여 드론에 사용되는 항법 센서인 GPS(global positioning system) 수신기의 위치 정확도와 무결성 등의 성능이 향상되어야 하고, 표 1과 같이 유인기에 적용되는 엄격한 요구조건을 만족하여야 한다. [2]

현재의 기술로는 보강항법을 사용하지 않고 GPS 수신기만으로 위치 정확도 향상과 무결성 정보의 제공이 불가능하기 때문에 SBAS(satellite-based augmentation system)이나 GBAS (ground-based augmentation system) 등의 보강항법을 이용하여 위성항법의 항행 관련 성능을 향상시켜야 한다.

본 논문에서 연구 대상으로 하는 드론의 경우 GBAS의 사용을 위해서는 별도의 VHF (very high frequency) 모듈을 설치해야 할 뿐 아니라, 드론에 탑재된 저가형 GPS 수신기는 일반적으로 GBAS의 보정정보를 지원하지 않으므로 GBAS의 적용은 현실적이지 않다. 반면, SBAS의 경우 GPS 신호와 동일한 주파수로 보강 메시지를 전송하여 별도의 통신 모듈의 사용이 불필요하므로 저가형 수신기들도 기본 기능으로 탑재하고 있다. 다만, 저가형 수신기들이 대부분 비행공 응용 분야를 대상으로 설계가 되어 있으므로, SBAS의 정확도 향상 기능만 제공할 뿐, 무결성 관련 기능은 지원하지 않는다. 또한 SBAS 보강 메시지를 송출하는 GEO (geosynchronous) 위성의 시야각이 차단된 경우에는 SBAS 기능을 사용할 수 없으므로, 고층빌딩, 산악 등에서 활용이 매우 제한적이다. [3]

표 1. 항행 절차 별 ICAO 성능 요구조건 [2].

Table 1. ICAO performance requirements [2].

Phase of Flight	Accuracy (95% error) (m)	Time-to-Alert (sec)	Alert Limit (H: Horizontal V: Vertical) (m)	Availability
LPV (APV 1.5)	H:16 V:20	10	H:40 V:50	0.99 to 0.99999
APV-2	H:16 V:7.6	6	H:40 V:20	
CAT-1	H:16 V:4 to 7.6	6	H:40 V:10 to 12	
CAT-2	H:6.9 V:2.0	2	H:17.4 V:5.3	
CAT-3	H:6.1 V:2.0	1 to 2	H:15.5 V:5.3	

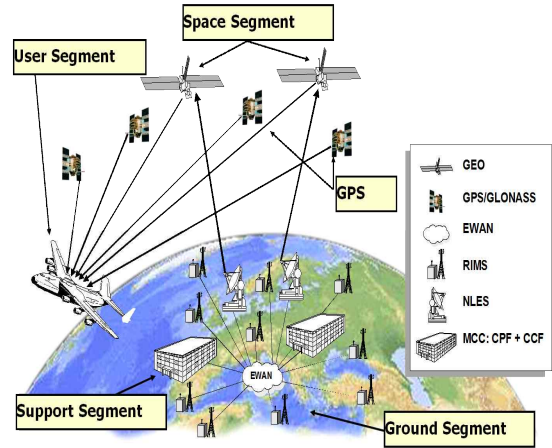


그림 1. SBAS 구성도.

Fig. 1. SBAS configuration.

따라서 본 논문에서는 드론에 실제로 탑재되는 저가형 비행 공용 GPS 수신기를 대상으로 SBAS용 GEO 위성의 시야각이 가려진 상황에서도 안정적으로 보강메시지를 수신하여 그 정확도를 향상시키고, 보호수준(PL; protection level)과 같은 무결성 정보를 제공하는 방법에 대해 제안하도록 한다.

II. SBAS 보강시스템 개요

SBAS는 위성 기반의 보강항법시스템으로 그림 1과 같이 넓은 지역에 흩어져 위치해 있는 지상 기준국을 통해 GPS 오차를 보정하여 정확성과 무결성이 확보된 정보를 생성하고, 정지궤도위성을 통하여 사용자에게 제공하는 국제민간항공기구가 정한 항공항법 국제표준 시스템이다.

SBAS는 250 bps의 비교적 느린 속도로 보정정보를 송신하는데, 각 보정정보의 종류는 MT (Message Type)으로 구분하여 명명하며, 1초당 1개의 MT씩 순차적으로 송신한다. 각 MT는 메시지 관련 기본 정보를 제외하면, 212bit의 보정정보 데이터를 포함하고 있으며, 표2와 같이 64개로 나누어진 MT 중 현재는 19개가 이용되고 있다[4].

2-1 SBAS 보정 정보 생성 알고리즘

SBAS는 위성항법의 오차 성분별로 나누어 보정정보를 전송하므로, 사용자는 이들을 재조합하여 거리 영역에서의 보정정보(RC; range correction)를 산출한 후 이를 코드 측정치에 적용한다. RC 생성에 필요한 보정정보는 FC(fast correction), LC (long-term correction), 전리층 지연(IC; ionospheric correction)과 대류층 지연(TC; tropospheric correction)이다. FC의 산출을 위해서는 MT1의 PRN(pseudo random noise)과 MT2~5의 PRC

표 2. SBAS 보강 정보 message type.

Table 2. SBAS message type.

MT	Contents
0	Don't use for safety applications
1	PRN Mask assignments
2 to 5	Fast corrections
6	Integrity information
7	Degradation factor
8	Reserved
9	GEO navigation message (X, Y, Z, time, etc)
10	Degradation Parameters
11	Reserved
12	SBAS Network Time/UTC offset parameters
13 to 16	Reserved
17	GEO satellite almanacs
18	Ionospheric grid point masks
19 to 23	Reserved
24	Mixed fast corrections/long term satellite error corrections
25	Long term satellite error corrections
26	Ionospheric delay corrections
27	SBAS Service Message
28	Clock-Ephemeris Covariance Matrix Message
29 to 61	Reserved
62	Internal Test Message
63	Null

(pseudo range correction)이 필요하고, 연속된 데이터를 이용하여 RRC (range rate correction)을 산출한 후 식(1)로 구한다.

$$FC = PRC + RRC \cdot \Delta t \tag{1}$$

여기서 Δt 는 보정정보 적용 시각과 SBAS 메시지 수신 시각 사이의 차이를 의미한다.

LC의 경우 MT25의 정보를 이용하여 3차원 위성궤도 오차 (DX, DY, DZ)와 시계 오차($\delta b(t)$) 보정정보를 생성하는데, velocity code가 1인 경우 속도 성분을 이용하여 식(2), (3)과 같이 모델링하고, 0인 경우 속도를 이용한 보상을 하지 않는다.

$$DX(t) = DX + \dot{DX}\Delta t, \tag{2}$$

$$DY(t) = DY + \dot{DY}\Delta t,$$

$$DZ(t) = DZ + \dot{DZ}\Delta t.$$

$$\delta b(t) = \delta a_{f0} + \delta a_{f1}\Delta t \tag{3}$$

최종적으로 위성궤도 및 시계오차 보정정보는 위성의 시선 벡터에 위성 궤도 오차 보정정보 성분을 투영시킨 값과 위성 시계 오차 보정정보에 빛의 속도를 곱한 값의 합으로 계산할 수 있으며 이는 식(4)와 같다.

$$SC^i = e^i \cdot \delta R^i + c \cdot \delta b^i \tag{4}$$

여기서 e 는 위성 별 시선벡터, δR 은 위성 위치오차 보정정보 벡터 $[DXDYDZ]$ 를 의미하며 c 는 빛의 속도, δb 는 위성 시

계 오차 보정정보를 뜻하며 상 첨자 i 는 위성번호를 의미한다.

전리층 보정정보는 MT18과 26을 이용하여 계산할 수 있는데, 사용자가 계산한 위성별 IPP (ionospheric pierce point)를 둘러싸고 있는 IGP (ionospheric grid point)별 가중치를 기하학적 관계에 따라 계산하고 이를 적용하여 IPP에서의 전리층 수직 지연값(I_v)을 계산한다. 이후, 식(5)를 적용하면 위성별 전리층 오차 보정정보를 생성할 수 있다.

$$IC = \left(1 - \left(\frac{R_e \cos(E_i)}{R_e + h_I} \right)^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \cdot I_v \tag{5}$$

여기서 h_I 는 전리층 단일 막의 고도, R_e 는 지구반경이다.

TC는 여타 다른 정보들과 달리 위성을 통해 보정정보를 송신하지 않고 수신기에서 직접 계산하여 적용한다.

2-2 SBAS 보호수준 산출 알고리즘

SBAS 시스템은 광역의 사용자 위치정확도를 향상시킬 뿐 아니라 무결성 성능 향상을 위해 필수적인 보호수준 계산에 필요한 정보를 함께 제공한다.

현재 실시간으로 제공된 위치정보를 보장할 수 있는 범위를 부피로 표현한 것을 보호수준이라고 한다. 사용자는 보호수준 크기에 따라 항공기 위치정보의 이용가능여부를 판단하는데, 이때의 판단 기준을 경보한계치(alert limit)라 한다. 보호수준이 경보한계치 이내에 포함된다면 해당 위치정보는 신뢰도가 확보되어 사용할 수 있고, 보호수준이 경보한계치를 넘는다면, 해당 위치정보는 사용할 수 없다.

수평(HPL; horizontal PL), 수직 보호수준(VPL; vertical PL) 계산은 식(6)에 따른다.

$$HPL = K_h d_{major} \quad VPL = K_v d_v \tag{6}$$

여기서 K_h 와 K_v 는 상수인데, 그 중 K_h 는 비정밀접근, 정밀접근 모드 수행 여부에 따라 다른 값을 가진다. 그리고 d_{major} 와 d_v 는 식(7)-(10)과 같이 관측 행렬 H 와 가중치 행렬 (weight matrix) W 를 이용하여 계산된다.

$$(H^T W H)^{-1} = \begin{bmatrix} d_E^2 & d_{EN} & d_{EU} & d_{ET} \\ d_{EN} & d_N^2 & d_N & d_{NT} \\ d_{EU} & d_{UN} & d_U^2 & d_{UT} \\ d_{ET} & d_{NT} & d_{UT} & d_T^2 \end{bmatrix} \tag{7}$$

$$W^{-1} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \tag{8}$$

여기서 d_v 는 식(7)의 d_U 에 해당하고, d_{major} 는 식(9)로 계산할 수 있다.

$$d_{major} = \sqrt{\frac{d_{east}^2 + d_{north}^2}{2} + \sqrt{\left(\frac{d_{east}^2 - d_{north}^2}{2}\right)^2 + d_{EN}^2}} \quad (9)$$

식(8)의 W 행렬에 정의된 위성별 가중치인 σ^2 은 식(10)으로 계산되는데, 여기서 σ_{flt} 는 fast-long term correction의 오차수준, σ_{UIRE} , σ_{air} , σ_{tropo} 는 각각 전리층 오차, 사용자 수신기 오차, 대류층 오차의 오차 수준을 의미한다.

$$\sigma^2 = \sigma_{flt}^2 + \sigma_{UIRE}^2 + \sigma_{air}^2 + \sigma_{tropo}^2 \quad (10)$$

보호수준 계산에 필요한 일련의 계산 과정은 그림2와 같다.

III. 드론용 SBAS 보강정보 전송 시스템 제안

3-1 드론용 SBAS 보강정보 전송 시스템

SBAS는 GPS와 동일한 신호의 형태로 사용자에게 송출되므로 별도의 수신 장비를 구축하지 않더라도 보강시스템을 사용할 수 있다는 장점이 있는 반면, 정지궤도 위성의 특성상 한 지점에서는 고정된 방향에 위치하므로, 해당 방향으로 시야각이 확보되지 않으면 SBAS 보강정보의 수신에 불가능하다. 한국형 SBAS 시스템인 KASS (Korea augmentation satellite system)에 사용될 것으로 가장 유력한 Inmarsat 4-F1의 위성 위치정보(위도:0도, 경도:143.5도)를 적용하면 서울시 강남구 테헤란로에서는 해당 위성의 고도각이 43.3도에 지나지 않는다. 다양한 임무를 수행하여야 하는 드론의 특성상 이러한 제약 조건은 그 활용도를 저하시킬 우려가 있으므로 본 논문에서는 안정적인 SBAS 보강정보의 전송을 위한 서버를 제안하고 이를 드론에 적용할 수 있는 방법을 제안한다.

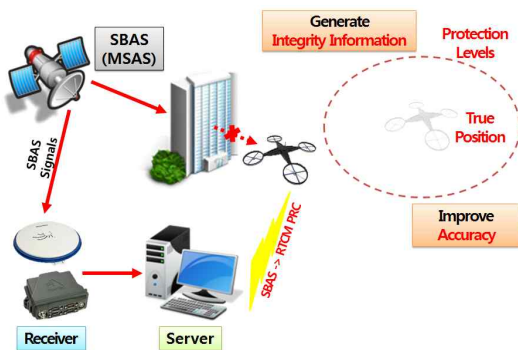


그림 2. 시스템 제안 개념도.
Fig. 2. Concept of suggested system.

그림 3에 도시한 바와 같이, SBAS 보강정보를 안정적으로 수신할 수 있는 지역에 SBAS 보강정보의 수신 및 메시지화할 수 있는 수신기를 설치하고, 이를 서버를 통해 인터넷으로 사용자에게 전송하는 시스템을 구성하면, SBAS 위성 비가시 지역에 있는 드론에도 안정적으로 서비스할 수 있다.

3-2 SBAS 보강정보 적용 및 보호수준 산출용 사용자 시스템

드론에 탑재된 저가형 GPS 수신기의 경우 대부분 SBAS 기능을 지원하지 않지만, L1 주파수를 통하여 수신된 SBAS 보강정보만 사용이 가능하므로, 본 논문에서 제안한 서버를 통하여 수신된 보강정보는 적용이 불가능하다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 저가형 GPS 수신기가 사용할 수 있는 또 다른 보정정보 프로토콜인 RTCM(radio technical commission for maritime service) 보정정보의 형태로 변환하여 사용자 GPS 수신기의 정확도를 향상시키는 시스템을 제안한다. 또한 대부분의 저가형 수신기에는 PL을 계산하는 기능이 없으므로, 수신기가 표준 형태로 제공하는 NMEA(national marine electronics associate) 정보를 통하여 현재 사용 중인 위성 정보를 획득한 후 이를 이용하여 보호수준을 산출하는 알고리즘을 제안하여 적용한다.

IV. 사용자 시스템 상세 알고리즘

4-1 RTCM 보정정보 메시지 프로토콜

RTCM 보정메시지는 전 세계의 해양 DGPS(differential GPS) 서비스를 위하여 사용되는 프로토콜이다. 해양 서비스용으로 개발되었음에도 불구하고 저가의 수신기를 포함한 대다수의 상용 수신기에서 RTCM 보정정보를 지원하기 때문에 활용도가 매우 높은 메시지이다.

메시지는 30비트 워드 단위로 이루어져 있으며, 워드는 통신 에러 검출을 위한 6비트의 Parity를 포함하고 있다. 그림 4와 같이 각 보정메시지는 크게 header와 본체로 구성되며, header는 메시지 유형에 상관없는 공통 header와 메시지 유형에 따른 부가적인 정보를 제공하는 1워드의 header로 구성되어 있다. header에 뒤이어 각 메시지 별 핵심 성분을 포함하는 메시지 별 본체가 이어진다.

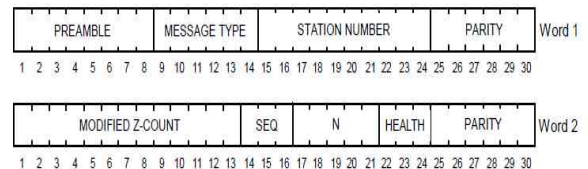


그림 3. RTCM 메시지 헤더 [4].
Fig. 3. RTCM message header [4].

표 3. SBAS 메시지의 RTCM 포맷 변환 방안.

Table 3. Conversion of SBAS message to RTCM format.

	Aviation	Non-Aviation
	SBAS Correction Information	RTCM Correction Message
Range Correction (RC)	$RC = FC + SC + IC + TC$	$PRC(t) = PRC(t_0) + RRC \times (t - t_0)$
User Differential Range Error (UDRE)	$\sigma^2 = \sigma_{fit}^2 + \sigma_{UDRE}^2 + \sigma_{air}^2 + \sigma_{tropo}^2$	$\sigma^2 = \alpha^2(\sigma_{fit}^2 + \sigma_{UDRE}^2) + \sigma_{air}^2 + \sigma_{tropo}^2$

4-2 SBAS 보정정보의 RTCM 포맷 변환 방안

버전 2.x의 RTCM 메시지를 사용하여 DGPS 서비스를 이용하기 위해서는 기준국 3차원 위치를 사용자에게 송신하는 메시지 3번과 함께 의사거리 보정정보(PRC)가 포함된 메시지 1번을 비롯한 추가적인 메시지를 수신하여야 한다.

표3은 SBAS 보정정보를 비행공용 메시지 프로토콜인 RTCM 보정정보로 변환함에 있어 주목할 만한 2가지 항목을 명시한 내용이다. 먼저 RTCM에서 PRC로 정의하고 있는 값은, 위성 궤도 및 시계오차 보정정보, 전리층 지연, 대류층 지연 보정정보 값을 모두 포함한 값이나, SBAS에서의 PRC는 고의잡음이 존재했던 시절에 주로 빠른 속도로 변화였던 위성시계오차만을 보정한 값만을 포함한다.

또한 SBAS 시스템에서의 UDRE는 의사거리와 위성궤도 및 시계오차 보정정보에 대한 오차 추정 값의 분산 값, 전리층 보정정보에 대한 오차 추정 값의 분산 값, 노이즈 및 반송파 오차 추정 값의 분산 값, 대류층 보정정보에 대한 오차 추정 값의 분산 값의 합이다. 그런데 이 값은 항공분야의 특성 상 매우 보수적으로 계산된 값이므로, 비행공용 보정정보 메시지인 RTCM 포맷에 그대로 적용하기에는 무리가 있다. 일반적인 경우의 RTCM 메시지 UDRE 값과 비교했을 때 SBAS의 UDRE는 지나치게 큰 값이기 때문에 적절한 조절이 필요하다.

4-3 NMEA 정보를 활용한 보호수준 계산 방안

드론에 사용되는 위성항법 수신기는 대부분 원시데이터 측정치를 배제하고 위치해만을 제공한다. 항공용 시스템에서 필수적으로 확보해야하는 PL 계산을 위해서는 위치해 산출에 사용된 위성 조합에 대한 정보가 필요한데, 이는 수신기의 위치해 관련 표준인 NMEA 정보 중 GPGSA를 헤더로 하는 sentence에 포함되어 있고, 각 위성의 고도각 정보는 GPGSV의 sentence에서 확인하여 사용하도록 한다.

V. 알고리즘 검증 실험 및 결과분석

5-1 실험 장치 구성

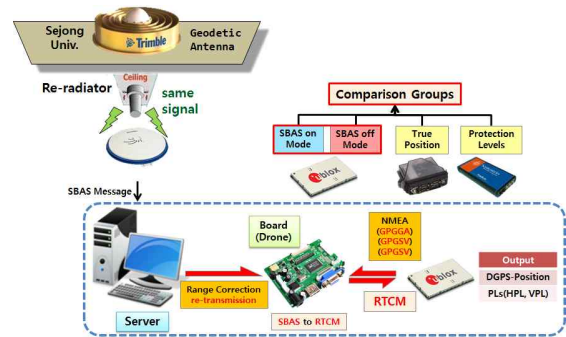


그림 4. 실험 구상도. Fig. 4. Configuration of experiment.

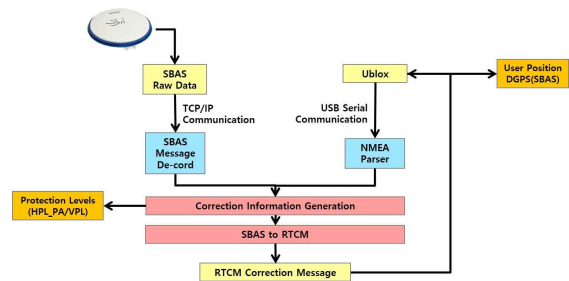


그림 5. 사용자 실시간 소프트웨어 개념도. Fig. 5. Concept for real-time user software.

표 4. 성능 검증용 실험군.

Table 4. Experimental group for performance verification.

	Accuracy	HPL & VPL	Accuracy vs PL
Experimental group	Ublox (SBAS to RTCM)	Python S/W	Ublox (SBAS to RTCM) : Accuracy
Comparison group	Septentrio Receiver (True)	Septentrio Receiver (True)	Septentrio Receiver/Python S/W : HPL, VPL
Comparison group	Ublox (SBAS Enable Mode)		

그림5는 본 논문에서 제안하는 시스템의 알고리즘 검증용 실험 구상도이다. 먼저 세종대학교 충무관 옥상에 설치되어 있는 Trimble Zephyr Geodetic II 안테나를 통해 GPS와 SBAS 위성신호를 수신하고, 이 신호를 실내에 설치된 Re-radiator를 통해 재송출한다.

재송출된 신호 중 SBAS 보정정보는 서버 컴퓨터가 TCP/IP 통신으로 재송신하고, 보드에서는 수신한 SBAS 보정정보를 앞서 제시한 바와 같이 RTCM 보정정보 포맷으로 변환하는 작업을 수행한다. 변환된 RTCM 보정정보 메시지를 저가형 GPS 수신기인 U-blox 6 항법 모듈에 입력하여 해당 수신기가 DGPS를 수행할 수 있도록 하여 U-blox DGPS를 통해 수평과 수직 정확도가 향상되도록 한다. 보호수준은 NMEA GPGSA로부터 위치해 산출에 사용된 위성조합에 대하여 그림2에서 제시한 알고리즘에 따라 별도의 절차를 거쳐 실시간으로 산출하도록 하였

다. 그림6은 그림5의 실험 구상도 중 사용자용 소프트웨어 순서도를 간략히 도시화하여 나타내었다.

5-2 알고리즘 검증 결과 분석

결과분석을 위한 데이터는 표4와 같이 3대의 수신기를 이용하여 실험군(Ublox : SBAS to RTCM), 비교군1(Septentrio : True), 비교군2(Ublox : SBAS)로 나누어 수집한다. 여기서 비교군1은 저가형 수신기로도 항공용 수신기인 Septentrio 수신기와 대등한 성능이 제공되는지 그 가능성을 확인하고자 하는 것이며, 비교군2는 별도의 알고리즘을 통해 변환한 RTCM 정보의 적절성 및 실험군과 동일 기종에 대한 DGPS 성능을 검증하고자 하는 것이다. 결과는 가장 먼저 실험군의 위치오차를 통한 측위성능을 비교군1, 비교군2에 대하여 비교한다. 다음으로 수평, 수직 보호수준 계산 결과를 실험군과 비교군1에 대하여 비교하였고, 마지막으로 보호수준 산출 결과값 이내에 실험군의 위치오차가 안정적으로 포함되는지를 확인하였다.

2016년 6월 10일 금요일 오전 00:00부터 01:00까지 약 1시간 동안 진행된 결과에 따르면, 항공용 수신기인 Septentrio의 수평 오차 RMS (Root Mean Square)는 0.67m, 수직 RMS는 0.83m였던 반면, U-blox 수신기의 SBAS 결과는 각각 0.67m와 0.90m였으며, 본 연구에서 제안한 시스템은 0.76m와 0.95m로 두 비교군에 비해 약간은 저하되나 오차율이 수평과 수직 각 13%와 5% 수준으로 확인되었다. 특히 stand-alone 위치의 bias 오차를 제거하여 오차의 평균값이 50cm 이내로 보정정보가 적절하게 적용됨을 확인할 수 있었다.

그림 8은 Septentrio 수신기에서 계산된 수평, 수직 보호수준과 Python S/W에서 산출된 수평, 수직방향의 보호수준을 비교하고, Python S/W에서 계산된 DGPS 측위 시 위치오차가 보호수준 이내에 포함되는지를 확인한 결과이다. 실시간 프로그램에서 산출된 수평, 수직 보호수준은 Septentrio 수신기와 비교했을 때 그 차이가 수평 최대 1m, 수직 최대 2m 이내로 매우 작음을 확인할 수 있었다. 또한 제안한 시스템에서 계산한 수평, 수직방향의 보호수준이내에 RTCM으로 변환된 보정정보를 적용한 U-blox 위치오차가 안정적으로 포함되므로, 제한된 시간이지만 실험 구간 내에서는 무결성 조건을 만족함을 확인하였다.

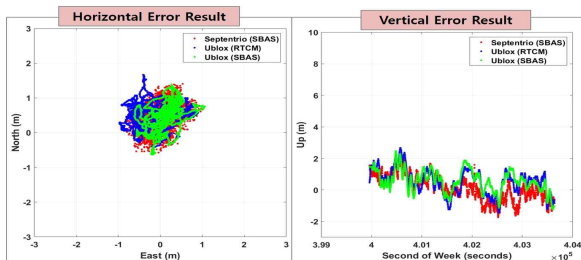


그림 6. 정확도 평가 결과(좌: 수평, 우: 수직).
Fig. 6. Result of position accuracy(left: horizontal, right: vertical).

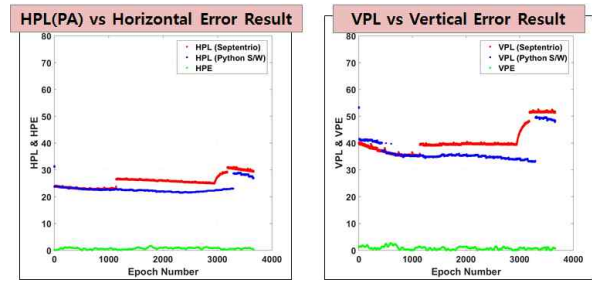


그림 7. 수평/수직 보호수준 및 위치오차 분포.
Fig. 7. Horizontal/vertical protection level and position error distribution.

VI. 결 론

본 논문에서는 SBAS 위성의 시야각 미확보시에도 SBAS 보강 정보를 드론에 적용하기 위하여 지상의 별도 통신채널로 보정정보를 송신하고 이를 수신하여 적용할 수 있는 사용자 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템을 적용한 결과 기존 SBAS 보강 메시지를 직접 적용한 저가형 수신기와 성능 차이가 약 10% 수준으로 나타남을 확인하였고, 기존 수신기는 제공할 수 없는 보호수준도 고가의 항공용 수신기와 약 1-2m 차이없는 수준으로 제공할 수 있음을 확인하였다. 본 연구는 드론의 운용 범위 확대를 위해서 필수적인 기술을 현실적으로 제시하였다는 점에서 향후 드론의 유인기 영역 운영에 기술적인 기초가 될 것으로 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(15CTAP-C097385-02)에 의해 수행되었습니다.

This research was supported by a grant(15CTAP-C097385-02) from Infrastructure and transportation technology promotion research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

References

[1] S. H. Kim, "Frustration of Amazon's Drones," [Internet]: Available: http://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2015/02/17/2015021703046.html

[2] J. Y. Lee, "GPS-based aircraft landing systems with enhanced performance : Beyond accuracy," Ph.D dissertation, Graduate school of the Stanford University,

Stanford, CA, 2005.

- [3] H. J. Seok, and B. W. Park, "Prediction of the available time for the SBAS navigation of a drone in Urban Canyon with various flight heights," *Journal of Cadastre & Land Informatix*, Vol. 46, No. 1, pp 133-148, June 2016.
- [4] RTCA SC-159, Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area

Augmentation System Airborne Equipment, DO-229D, 2006.

- [5] H. J. Seok, Study on the Accuracy Improvement and Integrity Information Generation of the Low-cost GPS Receiver for the Expansion of Drone Operation, M.S. dissertation, Sejong University, Seoul, Korea, 2016.



석 호 정 (Hyo-jeong Seok)

약력

2014년 8월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학사)

2016년 8월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학석사)

2017년 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 무인이동체 미래선도 핵심기술 개발사업단

※ 관심분야 : GNSS, SBAS, Integrity



윤 동 환 (Dong-hwan Yoon)

약력

2014년 8월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학사)

2016년 2월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학석사)

2016년 ~ 현재 : 한국정보통신기술협회 소프트웨어시험인증연구소

※ 관심분야 : DGPS 응용, 네트워크 보정 메시지, 소프트웨어 GNSS 수신기



임 철 순 (Cheol-soon Lim)

약력

2015년 2월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학사)

2017년 2월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학석사)

2017년 3월 ~ 현재 : 세종대학교 항법시스템연구실 전임연구원

※ 관심분야 : GNSS, SBAS, PPP



박 병 운 (Byung-woon Park)

약력

2008년 2월 : 서울대학교 항공우주공학과 (공학박사)

2012년 9월 ~ 현재 : 세종대학교 항공우주공학과 조교수

※ 관심분야 : DGPS, WADGPS, RTK, Network RTK, GPS