

KASS 활용을 위한 위성기반 보강항법시스템(SBAS) 비규격 데이터 전송 방법 연구

박재익[°], 이은성^{*}, 허문범^{*}, 남기욱^{**}

SBAS Non-Standard Data Transmission Method for Korea Augmentation Satellite System Applications

Jae-ik Park[°], Eunsung Lee^{*}, Moon-beom Heo^{*}, Gi-wook Nam^{**}

요약

지난 2014년 한국형 SBAS (satellite based augmentation system)인 KASS (korea augmentation satellite system) 개발·구축 사업을 본격적으로 착수하였다. SBAS는 항공용으로 제정된 규격이지만, 비항공 분야에서도 활용이 가능하다. SBAS 규격으로 정해져 있는 메시지에 전송되는 정보의 종류 및 내용이 한정되어 있다. 전송되는 정보를 통해 센티미터 수준의 고정밀 위치 정보가 요구되는 분야에서 활용하기에는 정확도 수준이 낮기 때문에 추가적인 정보 제공이 필요하다. 비항공 분야에서 활용되는 정보를 항공기 항법에 영향을 주지 않으면서 안전하게 전송하기 위해서는 이에 대한 방법이 필요하다. 따라서, 이 논문에서는 항공용 SBAS 수신기에 대한 안전을 확보 하면서 비항공 분야에서 활용할 수 있는 비규격 SBAS 데이터를 전송하는 방법에 대해 고찰하였다.

Key Words : Satellite Based Augmentation System, Korea Augmentation Satellite System, Data Transmission, Non-aviation Applications

ABSTRACT

Korea augmentation satellite system (KASS), which is a satellite-based augmentation system tailored for Korea, was launched for development in 2014. SBAS is a standard for aviation but it can also be utilized in non-aviation applications. The type and content of transmitted in SBAS data format are restricted. In order to utilize SBAS in fields that require the precision within centimeters, additional information has to be transmitted. It is important that data transmitted in non-standard SBAS data not affect any operation of SBAS equipment. In this paper, we propose a non-standard SBAS data transmission method applicable to non-aviation applications that does not affect aviation SBAS receivers.

I. 서론

SBAS (satellite-based augmentation system)는 민간 항공기의 항법에 GPS (Global Positioning

System) 및 GLONASS (global navigation satellite system)를 이용하기 위해 필요한 위성기반 보강항법 시스템으로, 국제 민간 항공 기구 (ICAO : International Civil Aviation Organization)에 의해 국

※ 본 연구는 국토교통부 항공안전기술개발사업의 연구비지원(16ATRP-A087579-03)에 의해 수행되었습니다.

° First & Corresponding Author : Lunar Exploration System Team, Korea Aerospace Research Institute, jpark@kari.re.kr, 정희원

* Satellite Navigation Team, Korea Aerospace Research Institute, koreagnss@kari.re.kr, 정희원, hmb@kari.re.kr

** SBAS Program Office / Satellite Navigation Application Technology R&D Center, Korea Aerospace Research Institute, gwnam@kari.re.kr

논문번호 : KICS2016-08-220, Received August 31, 2016; Revised December 6, 2016; Accepted December 20, 2016

제 표준으로 규격화 되어있다. GPS 및 GLONASS는 항공용 위치 정보에 대한 무결성이 충분하지 않기 때문에 보강 시스템은 이를 보완하여 항공기의 항법에 필요로 하는 성능 요구사항을 충족시킨다. 항공용 GNSS 수신기는 SBAS에서 얻은 보강 정보를 GPS 또는 GLONASS 측정 데이터에 적용하여 항법에 필요한 성능을 확보한다.

SBAS는 항공용으로 제정된 규격이지만, 자동차, 철도, 선박, 정보통신, 물류, 응급구조 등 다양한 비항공 분야에서도 활용이 가능하다. SBAS 신호는 암호화되어 있지 않기 때문에, 정지궤도 위성에서 방송되는 SBAS 신호로부터 보강 정보를 얻을 수 있다. 현재 시장에 나와 있는 수신기 대부분은 이미 SBAS 신호가 방송되면 자동으로 이를 수신할 수 있다. 일반적으로 SBAS 보강을 통해 3m 이내 위치 오차 정확도 향상이 가능하다. WAAS의 경우 1m(1σ) 이내의 위치 오차 정확도 향상이 가능하다^[1]. 그러나 SBAS를 이용한 정확도 향상은 센티미터 수준의 고정밀 위치 정보가 요구되는 분야에서 활용하기에는 정확도 수준이 낮기 때문에 추가적인 정보 제공이 필요하다. 그런데, SBAS 규격으로 정해져 있는 메시지에 전송되는 정보의 종류 및 내용이 한정되어 있다. 비항공 분야에서 활용되는 정보를 SBAS를 이용한 항공기 항법에 영향을 주지 않으면서 안전하게 전송하기 위해서는 이에 대한 방법이 필요하다.

따라서, 이 논문에서는 항공용 SBAS 수신기에 대한 안전을 확보하면서 비항공 분야에서 활용할 수 있는 비규격 SBAS 데이터를 전송하는 방법에 대해 고찰하였다. 2장에서는 SBAS 현황에 대해 설명하고, 우리나라가 개발하고 있는 KASS 시스템을 소개한다. 3장에서는 SBAS 신호 규격을 분석하고, 4장에서는 SBAS의 비항공 분야 활용을 위해 SBAS 데이터를 전송하는 방법에 대해 고찰한다. 마지막 5장에서는 논문을 정리하면 끝을 맺는다.

II. 위성기반 보강항법시스템(SBAS)

이번 장에서는 SBAS 현황과 우리나라가 개발·구축하고 있는 KASS 시스템에 대해 설명한다.

2.1 SBAS 현황

ICAO는 모든 체약국에게 성능기반 항행 (PBN; performance based navigation) 매뉴얼에서 제시한 새로운 PBN 개념에 맞추어 지역항법 (RNAV; area navigation) 및 필수항행성능 (RNP; required

navigation performance) 도입 촉구한 이래 SBAS는 현재 미국 WAAS (wide area augmentation system), 유럽 EGNOS (European geostationary navigation overlay service), 일본 MSAS (MTSAT satellite based augmentation system), 인도 GAGAN (GPS aided GEO augmented navigation) 등이 개발·구축되어 운영되고 있다. 러시아 SDCM (GLONASS system for differential correction and monitoring), 중국 BDSBA (beidou satellite-based augmentation system)은 자체적으로 개발·구축을 진행중에 있다. 우리나라도 한국형 SBAS 시스템인 KASS (Korea augmentation satellite system) 개발·구축 사업을 수행 중에 있다. 그 밖에 남아메리카, 중앙아메리카, 카리브해 중남미 지역의 SBAS 도입을 위해 ICAO 프로젝트인 SACCSA (solución de aumentación para caribe, centro y sudamérica)와 ACAC (arab civil aviation commission)이 있으며 ASECNA (agency for aerial navigation safety in africa and madagascar) 지역에서 EGNOS 서비스 확장을 목적으로한 SIRAJ 프로젝트 등이 있다^[2].

2.2 KASS 시스템

우리나라는 지난 2014년 10월 국토교통부를 주관 부처로 한국형 SBAS 개발·구축 사업에 착수하였다. 한국형 SBAS는 KASS라 명명되었으며, 정밀 접근 (PA; precision approach)에 근접한 수직유도접근절차 (APV; Approach procedure with vertical guidance)인 APV-I급 (수평 16m, 수직 20m, 결심고도 75m) SBAS 시스템 개발·구축과 CAT-I급 (수평 16m, 수직 6m, 결심고도 60m) SBAS 시스템 시험운영 기술 개발을 목표로 한다. 개발·구축 기간은 2014년부터 2022년까지 총 8년 동안 수행될 예정이다. KASS 시스템은 3단계에 걸쳐 개발·구축되며, 1단계는 시스템 설계, 2단계는 시스템 제작, 통합 및 검증, 3단계는 공개서비스를 통해 시스템 인증 및 항공용 서비스 운영을 준비하는 단계를 거쳐 2022년 10월부터 항공용으로 정식 운영 서비스를 제공할 계획이다. 또한 2020년부터는 L1/L5 이중주파수 기반의 CAT-I급 시험운영 기술 개발이 동시에 수행된다. KASS 아키텍처는 그림 1과 같이 5기 이상의 기준국 (KRS; KASS reference station), 2기의 중앙처리국 (KPS; KASS processing station), 2기의 통합운영국 (KCS; KASS control station), 4기의 위성통신국(KUS; KASS uplink station) 그리고 2기의 정지궤도 위성으로 구성된다. KASS 성능 요구사항은 표 1과 같이 ICAO 표

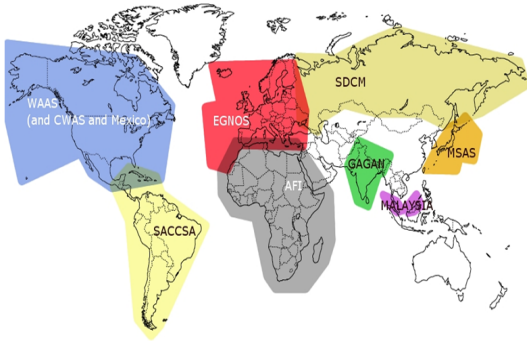


그림 1. 해외 SBAS 구축 현황
Fig. 1. Overseas SBAS Status

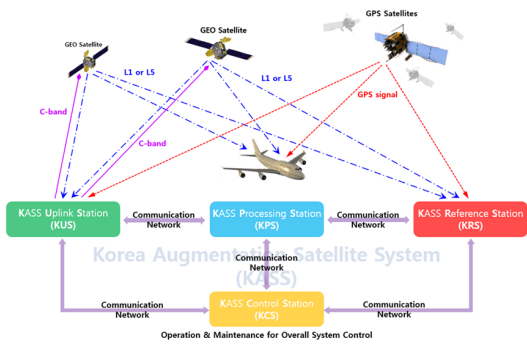


그림 2. KASS 아키텍처 구성
Fig. 2. KASS architectures

표 1. KASS 성능 요구사항
Table 1. KASS performance requirements.

Requirements		Mode	NPA	APV-I
Accuracy (95%)	Horizontal		220 m	16 m
	Vertical		-	20 m
Integrity Risk			$10^{-7}/h$	$2 \times 10^{-7}/appr.$
Time To Alert			10 s	10 s
Alert Limit	Horizontal		0.3 NM	40m
	Vertical		-	50m
Continuity Risk			$10^{-5}/h$	$1^{-8} \times 10^{-6}/15 s$
Availability			99.9%	99%

준을 준수하는 성능 요구사항을 가진다^{3,4)}.

III. SBAS 규격

SBAS 규격은 ICAO Annex 10 표준 및 권고사항 (SARPs; standards and recommended practices)에 정

의되어 있다. SARPs는 민간 항공기의 항법에 필요한 기능 및 성능을 충족하는 위성항법시스템을 GNSS라 하며, 구체적으로는 GPS 또는 GLONASS에 적절한 보강을 실시하여 사용하도록 정의되어 있다⁵⁾.

SBAS 관련 표준으로 RTCA DO-229D GPS/SBAS 최저성능기준 (MOPS; minimum operational performance standards)이 참조된다. 이것은 수신기 제조를 위한 미국 내 표준이지만, SBAS 관련 실질적인 표준이라고 할 수 있다. MOPS에는 SBAS 수신기의 기능 및 성능 요구 사항이 규정되어 있고 부록A에 SBAS 신호 규격에 대한 내용이 포함되어 있다⁶⁾.

3.1 SBAS 신호 규격

SBAS 신호 규격은 표 2와 같이 규정되어 있다. 방송 주파수는 GPS L1 신호와 같은 1575.42 MHz이다. 주파수 및 변조 (modulation) 방식은 GPS C/A 신호와 동일한 위상편이방식 (BPSK; binary PSK)이기 때문에, GPS와 동일한 안테나 및 수신 회로를 공유할 수 있다. 즉, GPS 신호를 수신하고 처리하는 수신기라면, 하드웨어를 추가하지 않고 SBAS 신호를 수신할 수 있다. 수신 신호 강도 (reception power)는 GPS L1 C/A 신호의 -158.5 dBW에서 -161 dBW 로 다소 낮게 규정되어 있다. 확산 부호 (spreading code)는 GPS L1 C/A 신호와 같은 골드 코드가 사용된다.

PRN (pseudo random noise) 코드는 120 번에서 138 번까지 할당되어 있다. 확산 변조 속도 (chip rate)는 1.023 Mcps (chips per second)으로 GPS L1 C/A 신호와 동일하다. GPS와 다른 것은 항법 메시지의 변조 속도(modulation rate)이다. SBAS는 500 sps (symbols per second)의 속도로 심볼 변조가 이루어지고 있다. 또한 데이터 부호화는 부호화율 1/2 FEC

표 2. SBAS 신호 규격
Table 2. SBAS RF Specification

Specification Item	Value
Frequency	1575.42
Modulation	BPSK
Spreading Code	GPS C/A
Chip Rate	1.023 Mcps
Modulation Rate	500 sps
Data Rate	250 bps
Carrier Frequency Stability	$\leq 5 \times 10^{-11} @ 10s$
Bandwidth	$\geq 2.2 MHz$
Minimum Reception Power	-161 dbW

(forward error correction) 부호가 채용되고 있으며, 2 심볼로 1 비트의 정보가 표시된다. 이보다 데이터 전송 속도는 250 bps (bits per second)이며, GPS와 비교하면 5 배의 속도로 데이터를 전송할 수 있도록 설계되어 있다. 또한 FEC 부호에 의해 3dB의 부호화 이득이 얻어진다⁶⁾.

3.2 SBAS 데이터 포맷

SBAS 데이터는 메시지 단위로 전송된다. 데이터의 전송 포맷은 그림 3과 같다. 프리앰블 (preamble)로 시작하며 총 250 비트로 구성되어 있다. 데이터 전송 속도가 250 bps 이기 때문에, 1 개의 메시지를 전송하려면 1 초가 필요하고, 초당 1 개의 메시지가 전송된다. 모든 메시지는 프리앰블 8 비트, 메시지 타입 (MT; message type) ID 6 비트, 데이터 영역 212 비트 및 CRC 패리티 (parity) 24 비트로 구성되어 있다. 프리앰블은 '01010011', '10011010', '11000110'의 3 종류가 순서대로 반복 사용된다. '01010011'의 시작 비트(왼쪽)는 GPS 신호의 항법 메시지 서브 프레임 선두에 동기화되는 타이밍으로 송출된다.

메시지 타입 ID는 메시지의 내용을 확인하기 위하여 사용되며, 0 ~ 63의 메시지 타입이 표 3과 같이 정

표 3. SBAS 메시지 타입
Table 3. SBAS Message Types

Type	Contents
0	SBAS Testing
1	PRN Mask assignments
2 to 5	Fast corrections
6	Integrity information
7	Fast correction degradation factor
8	Reserved for future message
9	GEO navigation message
10	Degradation parameters
11	Reserved for future messages
12	SBAS network time /UTC offset parameters
13 to 16	Reserved for future messages
17	GEO satellite almanacs
18	Ionospheric grid point masks
19 to 23	Reserved for future messages
24	Mixed fast/long term satellite corrections
25	Long term satellite error corrections
26	Ionospheric delay corrections
27	SBAS service message
28	Clock-Ephemeris covariance matrix
29 to 61	Reserved for future messages
62	Internal test message
63	Null message

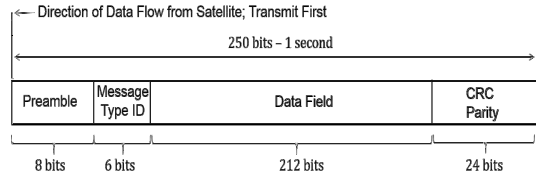


그림 3. SBAS 데이터 블록 포맷
Fig. 3. SBAS Data Block Format

의 되어 있다. 데이터 영역의 내용은 메시지 타입에 따라 정해져 있으며, 구체적인 보강 정보는 이 부분에 포함된다⁷⁾.

SBAS 신호 메시지의 CRC (cyclic redundancy check) 패리티는 메시지 전송의 무결성 확보를 위해 제공된다. 즉, SBAS 수신기는 수신된 메시지에 대해 CRC 패리티가 일치하는지 확인하고 사용하게 되어 있으며, CRC 패리티가 일치하지 않는 메시지는 폐기한다⁸⁾.

IV. 비규격 SBAS 메시지 전송 방법 고찰

비항공 분야에서 SBAS 활용을 위해 규격화 되지 않은 메시지를 방송하기 위해서는 반드시 SBAS 신호 형식을 유지하면서 메시지를 포함해야 한다. 반드시 표준을 준수해야 하는 항공용 SBAS 수신기에 영향을 미치지 않아야 하며, 향후 SBAS 규격이 개정이 되는 경우에도 문제가 없어야 한다. 이번 장에서는 앞서 언급한 고려사항을 유지하며 비규격 SBAS 메시지를 전송하는 방법에 대해 고찰한다.

4.1 정의되지 않은 메시지 타입 전송

SBAS 메시지 내용은 타입마다 정해져 있기 때문에 비규격 메시지를 방송하는 가장 간단한 방법은 사용하지 않는 메시지 타입을 이용하는 것이다. 앞서 언급한 표 3과 같이 MT8, MT13~16, MT19~23, MT29~61 에는 현재 내용이 정의 되어 있지 않다. 그러나 미국의 WAAS는 MT8 메시지 타입을 방송 하고 있다. 또한 MT62는 SBAS 제어국 내부적인 목적으로 사용할 수 있는 메시지 타입으로 WAAS는 이 메시지를 TTA (time to alert) 측정에 사용하고 있다. MT63 은 보낼 정보가 없는 경우에 송신하는 내용이 없는 메시지 타입으로 시험을 목적으로 사용된다⁹⁾.

MT62와 MT63을 제외하고는 정의되지 않은 메시지 타입을 사용하게 되면 향후 SBAS 규격이 개정되어 사용하게 될때 문제가 발생할 여지가 있다. 현재 항공용 SBAS 수신기는 MT62와 MT63은 그 내용이

없는 것으로 간주하기 때문에 이를 이용하여 방송이 가능하다. 또한 앞으로 MT62, MT63의 정의가 변경될 계획이 없기 때문에 원하는 정보를 방송 할 수 있다.

4.2 CRC 패리티를 변경하여 전송

모든 SBAS 메시지에는 24비트 CRC 패리티가 첨부되고 있으며, 수신기 측에서는 수신한 메시지에 대해서 계산한 CRC 패리티가 송신된 내용과 일치하지 않을 경우 그 메시지를 사용해서는 안 된다. 이는 메시지의 데이터 무결성을 확보하기 위한 것이며 앞서 언급한 ICAO SARPs와 RTCA MOPS에 그 내용이 규정되어 있다.

비규격 SBAS 메시지를 보내기 위해서 일반적으로 사용하는 CRC 패리티 계산 방법을 수정하여 기존 값과 다른 값을 메시지에 붙여서 전송하면, 항공용 SBAS 수신기는 해당 메시지를 사용하지 못하기 때문에 데이터 영역에 임의의 내용을 기재가 가능하다. 따라서 정의되지 않은 메시지 타입을 사용하여 비규격 메시지를 전송할 때 CRC 패리티를 변경해서 보낸다면 비규격 SBAS 메시지를 보다 안전하게 방송할 수 있다.

4.2.1 CRC 패리티

CRC 패리티는 생성 다항식 (1)로부터^[10]

$$g(X) = \sum_{i=0}^{24} g_i X^i \quad (1)$$

이다. 여기서, SBAS 메시지의 경우 $g_i = 1$ 일 때, $i=0,1,3,4,5,6,7,10,11,14,17,18,23,24$ 조건을 가진다. 이 식으로부터 24 비트 CRC 부호가 얻어진다. 수신기는 메시지가 전송되면 CRC 패리티가 일치하는지 확인하고 사용한다.

4.2.2 CRC 패리티 변경

KASS 활용을 위한 비규격 SBAS 메시지의 CRC 패리티 생성 다항식을 다음과 같이 변경할 수 있다^[11].

$$g(X)' = \sum_{i=0}^{24} g_i X^i \quad (2)$$

여기서, $g_i = 1$ 일 때, $i = 0,1,3,6,7,8,10,11,13,14,16,18,19,20,22,24$ 으로 변경한다. 식 (1)을 이용하여 CRC 패리티 검사를 실시하는 항공용 SBAS 수신기는 식 (2)로부터 생성되는

CRC가 포함된 메시지를 사용할 수 없다. 만일 SBAS 규격이 개정되어 비규격 메시지를 사용하고 있는 메시지 타입에 새로운 내용이 할당되더라도 해당 메시지를 사용할 수 있다.

4.2.3 CRC 패리티 검사

CRC 패리티를 제외한 SBAS 비규격 메시지를 전송할 때,

$$m(X) = \sum_{i=1}^{226} m_i X^{i-1} \quad (3)$$

전송해야 할 250 비트의 부호는 식 (2)에서 변경된 생성 다항식을 통해 생성된 CRC 패리티를 붙여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$t(X) = X^{24}m(X) + p(m(X)|g'(X)) \quad (4)$$

여기서 24 비트 CRC 패리티는 다음과 같다.

$$p(X) = \sum_{i=1}^{24} p_i X^{i-1} \quad (5)$$

$X^{24}m(X)$ 를 생성 다항식으로 나눈 몫을 $q(X)$ 라고 할 때 나머지 부분이다,

$$X^{24}m(X) = q(X)g'(X) + p(m(X)|g'(X)) \quad (6)$$

이 관계에 따라

$$p(m(X)|g'(X)) = X^{24}m(X) + q(X)g'(X) \quad (7)$$

이다. 수신기에서 수신하는 부호를 $t(X)$ 라 하면, 전송되는 부호와 생성 다항식 사이의 관계식은 다음과 같다.

$$t(X) = q(X)g'(X) \quad (8)$$

여기서 $t(X)$ 를 변경된 생성 다항식 $g'(X)$ 로 나눈 나머지가 '0'이 되면, 전송 오류가 없는 것으로 판단한다.

4.2.4 전송 용량

SBAS 메시지의 데이터 영역은 212 비트이기 때문에, 적어도 35bps 정도의 전송 용량 사용이 가능하다. KASS 성능을 유지하기 위해서는 비규격 메시지를 연속적으로 전송하는 것은 피해야한다. 일반적으로 항공용 SBAS 수신기는 4초 이상 정상적인 메시지를 수신할 수 없는 경우 접근 절차 항법을 중단하는 규정이 있다.

4.2.5 CRC 패리티 평가

앞서 언급된 CRC 패리티 생성 다항식을 변경하고 비규격 메시지를 방송하는 방식에 대해서는 식 (2)의 생성 다항식으로 생성된 CRC 패리티가 식 (1)을 토대로 한 CRC 패리티 검사를 통과할 가능성이 문제가 된다. 비규격 메시지를 수신 할 때 전송 오류가 발생하기 때문에 이 문제도 고려해야 한다. 일반적으로 CRC 패리티 오차 검출 특성은 송수신 양쪽에서 동일한 생성 다항식을 사용하는 것을 가정하고 검토되고 있으며, 변경된 생성 다항식에 대해 어느 정도의 오류 내성이 있는지는 명확하지 않다. 따라서 어느 정도의 안전성을 확보하는지 평가를 통해 검토가 필요하다.

V. 결 론

SBAS는 항공 분야에서 사용을 목적으로 제정된 규격이지만, 비항공 분야에서의 사용이 가능하다. SBAS 신호의 활용에 따라 비규격 메시지를 전송할 필요가 있기 때문에, 항공용 SBAS 수신기에 대한 안전을 확보하면서 비규격 메시지를 전송하는 방법에 대해 고찰하였다.

규격화된 SBAS 데이터 중 현재 정의되지 않은 메시지 타입을 사용하는 방법이 있다. 그렇지만 향후 SBAS 규격이 변경되면 문제가 발생할 우려가 있기 때문에 정의되지 않은 메시지 타입을 사용하여 메시지를 전송할 때 기존의 CRC 패리티를 변경하는 방법에 대해 제안하였다. 추후 해미거리에 따른 몬테카를로 방법을 통한 평가를 수행할 예정이다. 이 논문에서 제안된 방법을 통해 기존의 항공용 SBAS 수신기에 대한 안전성을 확보하면서 비규격 메시지를 안전하게 전송할 수 있을 것으로 기대한다.

References

[1] NSTB/WAAS T&E Team, *WAAS Performance Analysis Report #57*, Retrieved Jul., 15,

2016, from <http://www.nstb.tc.faa.gov/reports/waaspan57.pdf>

[2] J.-I. Park, E. S. Lee, M.-B. Heo, and G.-W. Nam, "Latest technology trending for satellite based augmentation system," *Current Ind. and Technol. Trends in Aerospace*, vol. 14, no. 1, pp. 191-202, Jul. 2016.

[3] J.-I. Park, E. S. Lee, M.-B. Heo, and G.-W. Nam, "Study on technical standard of aviation GNSS for SBAS performance based navigation," *J. Advanced Navig. Technol.*, vol. 20, no. 4, Aug. 2016.

[4] KASS Program Office, *What is SBAS Program*, Retrieved Aug. 30, 2016, from <http://www.kass.re.kr>.

[5] ICAO, *International Standards and Recommended Practices (SARPs) Annex 10-Aeronautical Telecommunications Vol. I, Radio Navigation Aids, International Civil Aviation Organization*, 6th Ed., Jul. 2006.

[6] RTCA SC-159, *DO-229D with Change 1 Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Satellite-Based Augmentation System Airborne Equipment*, RTCA Inc., Feb. 2013.

[7] D.-H. Han, H. Yoon, and C.-D. Kee, "A study of message scheduling algorithm for wide area differential GNSS considering international standard," *J. Advanced Navig. Technol.*, vol. 15, no. 4, pp. 517-522, Aug. 2011.

[8] T. Sakai and T. Aso, "Evaluation of the shortened preamble for SBAS message," *J. Inst. Positioning, Navig. and Timing of Japan*, vol. 15, no. 2, pp. 7-11, 2015.

[9] M. M. M. Tossaint, J. C. De Mateo, P. D. F. Da Silva, and J. Ventura-Traveset, "Verification techniques for the assessment of SBAS integrity performances: a detailed analysis using both ESTB and WAAS broadcast signals," *GNSS 2002*, Copenhagen, Denmark, May 2002.

[10] J. K. Wolf and R. D. Blakeney II, "An exact evaluation of the probability of undetected error for certain shortened binary CRC codes," *MILCOM '88*, vol. I, paper 15-2, pp. 287-292,

Washington, D.C, 1988.

[11] G. Castagnoli, S. Brauer, and M. Herrmann, "Optimization of cyclic redundancy-check codes with 24 and 32 parity bits," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 41, no. 6, pp. 883-892, Jun. 1993.

박 재 익 (Jae-ik Park)



2004년 2월 : 연세대학교 천문우주학과 (이학석사)

2010년 2월 : 연세대학교 천문우주학과 (이학박사)

2010년 2월~2016년 10월 : 한국항공우주연구원 위성항법팀 선임연구원

2016년 10월~현재 : 한국항공우주연구원 달탐사체계팀 선임연구원

<관심분야> 위성항법시스템, 위성기반 보강항법시스템, 위성항법 고정밀 위치결정, 우주비행역학, 우주비행체 유도항법제어

이 은 성 (Eunsung Lee)



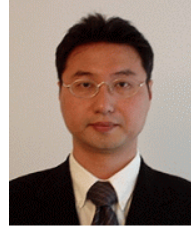
1998년 2월 : 건국대학교 기계공학과 (공학석사)

2005년 2월 : 건국대학교 항공우주공학과 (공학박사)

2007년 7월~현재 : 한국항공우주연구원 위성항법팀 선임연구원

<관심분야> 위성항법 정밀위치결정, 위성항법 고장검출, 위성기반 보강항법시스템

허 문 범 (Moon-beom Heo)



1997년 2월 : 미국 Illinois Institute of Technology 기계항공공학과 (공학석사)

2004년 2월 : 미국 Illinois Institute of Technology 기계항공공학과 (공학박사)

2005년~현재 : 한국항공우주연구원 위성항법팀 책임연구원

<관심분야> 위성항법 정밀위치결정, 위성항법 고장검출, 위성기반 보강항법시스템

남 기 옥 (Gi-wook Nam)



1988년 2월 : 한국항공대학교 항공공학과 (공학석사)

2004년 2월 : 영국 Cranfield University 항공공학과 (공학박사)

1996년~현재 : 한국항공우주연구원 위성항법·응용기술센터

센터/SBAS 사업단 책임연구원
<관심분야> 위성기반 보강항법시스템