

KASS 시스템 운영을 위한 상태감시 도구 개발

Development of status monitoring tools for KASS system operation

손민혁^{1*} · 이병석²

¹한국항공우주연구원 SBAS사업단 체계종합팀

²한국항공우주연구원 SBAS사업단

Minhyuk SON^{1*} · ByungSeok LEE²

¹SBAS System Engineering & Integration Team, SBAS Program Office, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon 34133, Korea

²SBAS Program Office, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon 34133, Korea

[요 약]

한국형 위성항법보정시스템 KASS(Korea Augmentation Satellite System)은 2023년 12월 국제민간항공기구 표준의 항공용 서비스 제공을 목표로 개발 중인 SBAS 시스템이다. KASS 서비스의 지속적인 제공을 위해서는 시스템의 상태감시가 필수적이며 이를 위해 상태감시 도구가 개발되어야 한다. 상태감시 도구 개발은 목적에 따라 실시간 상태감시, 장기간 상태감시로 구분되어 개발되었다. 도구 개발은 요구사항 정의, 설계, 개발, 검증의 일련의 절차를 통해 완료하였다. 상태감시 도구 검증을 위해 실제 KASS 시스템의 2023년 8월 데이터를 활용하여 검증하였고 그 결과를 통계적으로 분석하여 운영시간, 운영률을 도출하였다. 2023년 이후부터 시작되는 항공용 서비스에 이 도구들을 활용하여 지속적 서비스 제공을 지원할 계획이다.

[Abstract]

The Korea Augmentation Satellite System is an SBAS system being developed with the goal of providing SoL (Safety of Life) in accordance with ICAO (International Civil Aviation Organization) standards by December 2023. Monitoring the status of the system is essential for the continuous provision of KASS services, and a status monitoring tool should be developed for this purpose. The development of a status monitoring tool was divided into SYSRT (SYStem Real Time monitoring tool), SMSPP (Subsystem Monitoring Statistics tool for Post Processing) depending on the purpose. Tool development was completed through a series of procedures: requirements definition, design, development, and verification. To verify the status monitoring tool, the KASS system's real data (August 2023) were used to verify it, and the results were statistically analyzed to derive operating time and operating rate. It plans to use these tools to support continuous service provision for SoL service starting after this year.

Key word : SBAS, KASS, System status, Realtime, Monitoring.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2023.27.5.643>



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 27 September 2023; Revised 12 October 2023
Accepted (Publication) 24 October 2023 (30 October 2023)

*Corresponding Author

Tel: +82-42-870-3991

E-mail: mhson@kari.re.kr

I. 서 론

전 세계적으로 항공용 위성항법보정시스템 SBAS (Satellite Based Augmentation System)를 개발·구축하여 운영하는 국가가 증가하는 추세이다. 미국 WAAS (Wide Area Augmentation System)를 시작으로 유럽 EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), 인도 GAGAN (GPS-aided GEO augmented navigation), 일본 MSAS (MTSAT Satellite-based Augmentation System) 등은 이미 개발이 완료되어 항공용 서비스로 이용하고 있으며 호주/뉴질랜드, 러시아, 중국은 현재 개발을 진행하고 있다[1].

국내에서는 KASS (Korea Augmentation Satellite System)로 2014년 본격적인 개발을 시작하였다. 2022년 12월 시험을 위한 1차 신호 제공을 시작하여 2023년 7월 일반 사용자를 위한 2차 신호 제공, 2023년 항공용 사용자를 위한 3차 신호 제공인 SoL (Safety of Life) 신호를 제공을 목표로 하고 있다[2].

SBAS는 국제민간항공기구 국제표준에 정의된 정확성, 무결성, 연속성, 가용성의 4대 지표를 충족하는 신호 서비스를 제공하여야 하며 이러한 서비스의 지속적인 제공을 위해서는 각 단위 유닛으로 구성된 각 하위시스템이 강건하고 안정적으로 동작하여야 함을 보장하여야 한다.

유럽 EGNOS, 미국 WAAS 등은 시스템 모니터링 기능, 실시간 모니터링 소프트웨어 (RTM, Real-time EGNOS subsystem monitoring software) 등을 통해 지속적으로 각 하위시스템의 운영 상태, 성능 등을 이용자에게 제공하고 있으며 월간, 연간 리포트 등을 홈페이지를 통해 제공하고 있다 [3][4].

상태감시는 SBAS 서비스의 지속적인 제공을 위해 시스템 단위는 물론 각 하위시스템, 각 단위 유닛 단위로 수행되어야 하며 주기적이고 지속적으로 수행하여야 하므로 별도의 자동화된 소프트웨어를 통해 수행하는 것이 적절하다. 이를 통해 획득된 상태정보에 대한 다각적인 분석을 통해 시스템 점검 및 예방 유지보수 주기, 예방교체 주기 등의 결정 활용할 수 있다.

본 연구에서는 KASS의 지속적인 운영을 위한 실시간, 장기간 상태감시 도구 개발의 요구사항 분석, 설계, 구현, 검증에 이르는 일련의 과정을 제시하며 이 도구들은 2023년 12월부터 시작되는 항공용 서비스에 활용되어 안정적인 운영에 활용될 예정이다.

II. 정 의

2-1 KASS 시스템 정의

KASS는 위성항법 보정정보를 생성하여 사용자에게 제공하기 위한 기준국 (KRS, KASS Reference Station) 7식, 중앙처리국 (KPS, KASS Processing Station) 2식, 위성통신국 (KUS, KASS Uplink Station) 3식, 항공위성 1식과 이러한 하위시스템

을 모니터링하고 제어하기 위한 통합운영국 (KCS, KASS Control Station) 2식으로 구성된다. 그림 1은 KASS 시스템의 전체적인 구성을 도식화한 것이다[5][6].

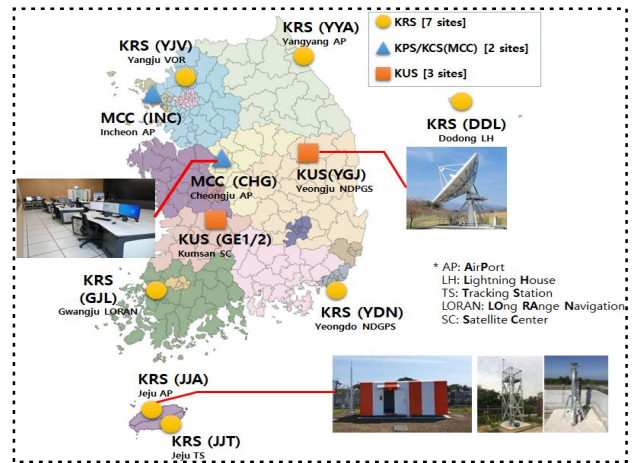


그림 1. KASS 주요 시스템 구성
Fig. 1. KASS system configuration

각 하위시스템 중 일부는 기능으로 세부 구분된다. 중앙처리국은 위성항법 보정정보를 생성하기 위한 처리부 (PS, Processing Set)와 생성된 정보를 검증하기 위한 검증부 (CS, Check Set)로 구분되며 위성통신국은 중앙처리국으로부터 전달된 데이터를 항공위성으로 전달하기 위해 신호로 변경하는 신호생성부 (SGS, Signal Generation Section)와 항공위성으로 전달하기 위해 신호를 송수신하는 무선신호부 (RFS, Radio Frequency Segment)로 구분된다. 통합운영국은 모니터링 및 제어를 위한 통합제어부 (CCF, Central Control Function), 데이터 취합, 구성 관리 등을 위한 지원부 (SF, Support Function)로 구분된다.

KASS의 모든 하위시스템은 교체 가능 하드웨어 (LRU, Line Replacement Unit) 단위로 구성되며 모니터링, 제어, 연산을 담당하는 핵심컴퓨터, 무결성컴퓨터, 수신기 등에는 교체 가능 소프트웨어 (SWRU, SoftWare Replacement Unit)가 탑재되어 있으며 이 소프트웨어는 매초 각 하위시스템의 단위 유닛의 상태 정보와 자체 모니터링 및 제어정보, 연산 결과 정보를 취합한다.

2-2 상태감시 정보 구성

기준국의 핵심컴퓨터, 중앙처리국의 처리부 컴퓨터, 검증부 컴퓨터, 위성통신국의 핵심컴퓨터 및 무결성컴퓨터는 각 단위 유닛의 모니터링 정보를 매초 취합하여 네트워크를 통해 통합 운영국으로 전달한다. 이때 제공되는 정보는 주기적 모니터링 (CM, Cyclic Monitoring) 정보와 하위시스템 주기적 출력 (CO, Cyclic Output) 정보로 구분된다.

표 1은 주기적 모니터링 정보를 각 하위시스템 단위로 세부

적으로 도식화한 것이다.

표 1. KASS 주기적 모니터링 상세 정보

Table 1. Detailed Information on cyclic monitoring data from the KASS

S/S	Type	Details
KRS	Mode	KRS mode (FAILED, LOADED, INITIALISED, RUNNING, OPERATIONAL)
	LRU	Frequency Standard (FS), Receiver, Core computer (CC), Environment Monitoring Equipment (EME)
	SWRU	CC SW, Receiver SW, KRS system parameter, KRS Critical parameter, LRU tracking data
	Function	Non-Critical SW, Interface (CC-Receiver, CC-FS, CC-EME)
KPS	Mode	KPS PS/CS mode (FAILED, LOADED, INITIALISED, RUNNING, OPERATIONAL), KPS-PS submode (GEO_OFF, GEO_OK, GEO_ACQUISITION)
	LRU	KPS-PS: Processing Set, IRIG KPS-CS: RTMC Master, RTMC Slave 1~4, IRIG (KPS-CS)
	SWRU	Boot Loader, Executive file Configuration file
	Function	KPS-PS/CS function monitoring information (communication, processing status, etc.)
KUS -SGS (RFS)	Mode	SGS mode (FAILED, LOADED, INITIALISED, RUNNING, OPERATIONAL), SGS submode (ACTIVE, HOLD, BACKUP)
	LRU	GNSS DO, Receiver, Signal Generator, Integrity box, RF converter 1~6, Cabinet, CC, RF station
	SWRU	CC SW, Receiver SW, SGS non-critical parameter, critical parameter, LRU tracking data
	Function	CC non-critical, M&C, Selection, Long Loop processing, Selection Health Check

여기서 모드 (Mode)는 하위시스템의 동작 상태를 의미하며 이는 핵심컴퓨터, 처리부 컴퓨터, 검증부 컴퓨터, 무결성 컴퓨터로부터 획득할 수 있다. LRU는 각 하위 유닛의 상태정보이며 SWRU는 소프트웨어의 상태정보, 기능 (Function)은 핵심 알고리즘의 정보이다.

표 2는 각 하위시스템의 주기적 출력 정보를 상세하게 도식화한 것이다.

표 2. KASS 주기적 출력데이터 상세 정보

Table 2. Detailed Information on cyclic output data from the KASS

S/S	Type	Details
KRS	Output	GPS/GEO raw measurement, Signal Quality & timing
KPS (PS)	Output	Status, KASS Message, GEO PRN, Validity flag
KPS (CS)	Output	Status, Integrity flag, Checked SBAS Message ID, Quality and Validity flag
KUS -SGS	Output	Status, Validity flag, GEO message chosen and clock drift, selected KPS(N), GEO Uplink previous cycle and selected KPS (N-1, N-2, N-3)

기준국 출력데이터는 GPS 및 GEO 위성으로부터의 원본 데이터 및 신호품질, 타이밍 데이터로 구성되며 중앙처리국 처리

부는 처리상태, KASS 메시지, GEO PRN, 유효성 플래그, 중앙처리국 검증부는 처리상태, 무결성 플래그, 검증된 SBAS 메시지 ID, 품질 및 유효성 플래그, 위성통신국 신호생성부는 처리상태, 유효성 플래그, 선택된 GEO 메시지, GEO 시계 이격, 선택된 KPS 정보, 이전 위성통신국 및 선택된 중앙처리국 정보 등으로 구성된다.

III. 상태감시 도구 설계 및 구현

3-1 상태감시 도구 요구사항 정의

상태감시 도구는 KASS 안전 운영지원을 위해 각 하위시스템의 상태정보를 하드웨어, 소프트웨어, 기능으로 구분하여 실시간, 장기간 기록하고 분석하기 위한 목적을 가진다.

이러한 목적을 기반으로 상태감시 도구를 실시간 상태감시 도구 (SYSRT, SYStem Real Time monitoring tool), 장기간 상태감시 도구 (SMSPP, Subsystem Monitoring Statistics tool for Post Processing)로 구분하였고 입력인터페이스, 활용 데이터, 기준 시각, 주요 기능, 사용자 인터페이스로 구분된 요구사항을 정의하였다. 표 3은 상태감시 도구의 요구사항 일부를 도식화한 것이다.

표 3. 상태감시 도구 요구사항

Table 3. Requirements for SYSRT/SMSPP

Tool	Req. ID	Contents	Description
SYSRT	REQ-SYSRT-00010	Input /Interface	Using KASS Archive data (from INSPIRE)
	REQ-SYSRT-00020	Segregation	Server : separate from Internet, located on an LAN network
	REQ-SYSRT-00030	Data acquisition	Acquire data with INSPIRE every seconds
	REQ-SYSRT-00040	Data message sections	Visually distinct color (defined)
	REQ-SYSRT-00050	Database	-1: Mission data, 0: UNKNOWN, 1~3: According to sub-system sub-mode definition

SMSPP	REQ-SMSPP-00010	Input /Interface	Using KASS Archive data (from INSPIRE)
	REQ-SMSPP-00020	KASS time	Using KASS time, Type: YYYY/mm/dd hh:mm:sss
	REQ-SMSPP-00030	KASS Status	-1: Missing data, 0: UNKNOWN, 1: LOADED, 2: INITIALISED, 3: RUNNING, 4: OPERATIONAL, 5: FAILED
	REQ-SMSPP-00040	Status colors	Visually distinct color (defined)
	REQ-SMSPP-00050	KASS Submode	-1: Mission data, 0: UNKNOWN, 1~3: According to sub-system sub-mode definition

REQ-SMSPP-00480	Archive output	Daily processing result / report files (to KASS Archive)	

실시간 상태감시 도구의 요구사항은 35개, 장기간 상태감시 도구의 요구사항 39개로 정의되었다.

3-2 상태감시 도구 설계

상태감시 도구는 요구사항 정의를 모두 만족할 수 있도록 설계하였으며 요구사항과 설계가 일치하지 않을 경우, 설계를 업데이트하였고 설계계약이 발생하는 경우, 요구사항의 완화, 개선 절차를 수행하였다. 이를 통해 사전에 정의된 74개의 요구사항을 만족하는 설계를 완료하였다.

그림 2는 상태감시 도구의 구성 및 기능을 나타내고 있다.

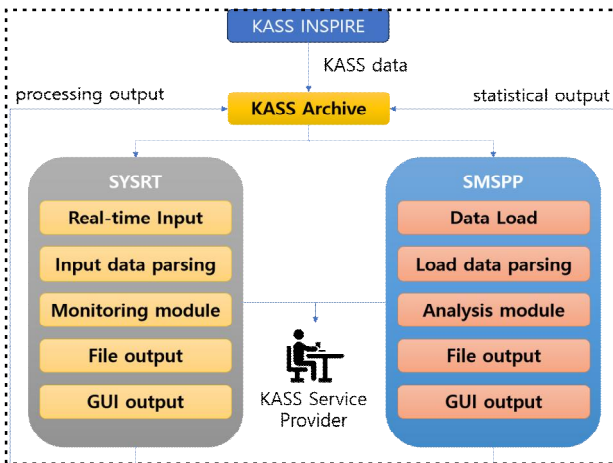


그림 2. 상태감시 도구 구성 및 기능
Fig. 2. Configuration and function of KASS status monitoring tool

실시간 상태감시 도구는 KASS Archive로부터 실시간 데이터를 입력 (Load), 분석 (Parsing)하여 모니터링 모듈을 통해 파일과 사용자 인터페이스로 출력한다. 장기간 상태감시 도구는 KASS Archive에 사용자가 요청한 분석 기간의 데이터를 입력, 분석하여 분석 모듈을 통해 통계적인 파일과 사용자 인터페이스로 출력한다.

3-3 상태감시 도구 개발

도구 요구사항 및 설계에 따라 실시간 상태감시 도구 요구사항 및 3.2절의 설계에 따라 실시간 상태감시 도구 및 장기간 상태감시 도구를 개발하였다.

그림 3은 실시간 상태감시 도구의 주요 화면을 나타내고 있다. 실시간 상태감시 도구는 KASS 데이터를 실시간으로 받아 사이트 지도에 전체 시스템의 상태를 표출할 수 있으며 세부적으로 각 하위시스템의 모드 및 LRU, SWRU, 기능에 대한 상태가 포함된다.

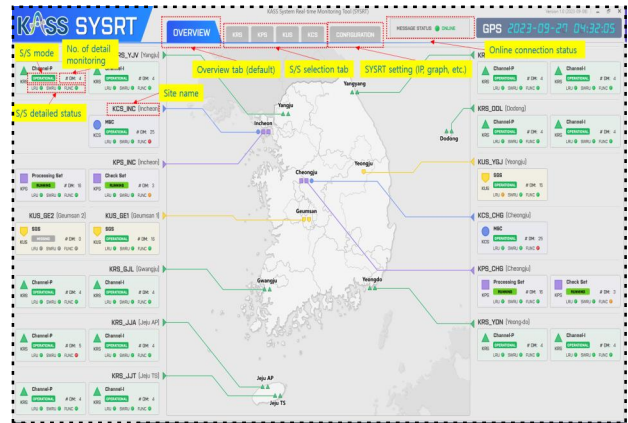


그림 3. 실시간 상태감시 도구 주요 화면
Fig. 3. Main screen of SYSTR

그림 4는 장기간 상태감시 도구의 위성통신국 상세 모니터링 일간 조회화면을 나타내고 있다. 이 도구는 각 하위시스템의 모드 및 LRU, SWRU, 기능을 일간, 월간으로 조회할 수 있으며 누적 운영시간 단위의 그래프 표출 및 통계 데이터 출력이 가능하다.

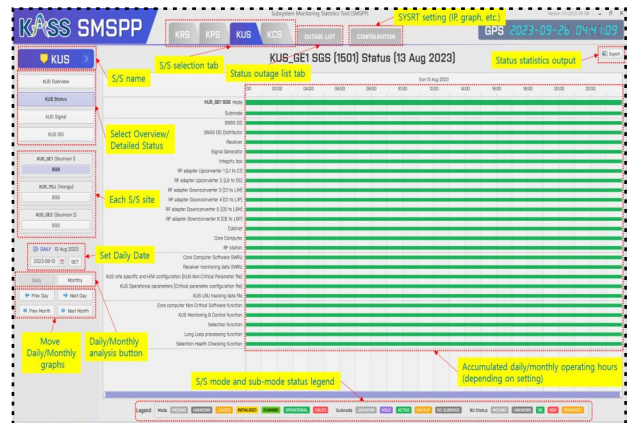


그림 4. 장기 상태감시 도구 위성통신국 상세 모니터링 결과
Fig. 4. KUS-SGS detailed monitoring results in SMSPP

IV. 상태감시 도구 구현 및 단위 검증

4-1 상태감시 도구 단위 검증

개발된 상태감시 도구를 실제 운영 중인 KASS에 연동하였으며 이를 통해 도구의 기능을 단위 검증하였다. 표 4는 2023년 8월 한 달간 도구를 통해 식별된 이상 상태를 도식화한 것이다.

표 4. 도구를 통해 식별된 이상 상태
Table. 4. Abnormalities identified by the tool

ID	Abnormal occurrence period	Subsystem	Assessment
1	2023-08-01 00:00:00 ~ 2023-08-07 07:10:17	KRS DDL Channel 1	Antenna failure
2	2023-08-08 11:20:58 ~ 2023-08-08 22:48:58	SGS GE1 SGS YGJ	L5 signal threshold exceeded, switch failure
3	2023-08-09 17:33:21 ~ 2023-08-09 23:11:26	SGS GE1	L5 signal threshold exceeded
4	2023-08-20 19:15:50 ~ 2023-08-20 23:18:48	SGS GE1	
5	2023-08-22 14:07:01 ~ 2023-08-22 23:20:40	SGS GE1	
6	2023-08-25 06:47:11 ~ 2023-08-25 07:51:24	SGS GE1	
7	2023-08-30 11:19:14 ~ 2023-08-31 00:19:58	SGS GE1 SGS YGJ	L5 signal threshold exceeded, switch failure
8	2023-08-31 21:18:43 ~ 2023-09-01 01:04:53	SGS GE1 SGS YGJ	

위와 같이 기록된 이상 상태에 대해 세부적인 분석 및 평가를 수행한 결과 ID 1의 경우, 7월부터 울릉 기준국에서 발생한 안테나 고장으로 인해 발생한 문제이며 8월 7일 복원이 완료됨을 알 수 있다. ID 2, 7, 8은 금산 위성통신국에서 발생한 이상 상태로 알고리즘에서의 L5 신호 임계값 초과로 인한 FAILED 모드 전환, 실패에 따른 백업 영주 위성통신국 전환 실패가 복합적으로 발생하였다.

4-2 상태감시 결과 분석

실시간, 장기간 상태감시 도구를 통해 발견된 이상 현상들은 이상이 발견된 하위시스템을 운영 상태(OPERATIONAL 모드)가 아닌 실패 상태(FAILED 모드)로 전환 시킨다. 따라서 운영 상태가 아닌 상태는 운영시간에서 제외한다. 이는 운영률을 저하하는 결과를 나타낸다.

그림 5는 2023년 8월 한 달 동안의 각 하위시스템에 대한 운영시간을 도식화한 것이다.

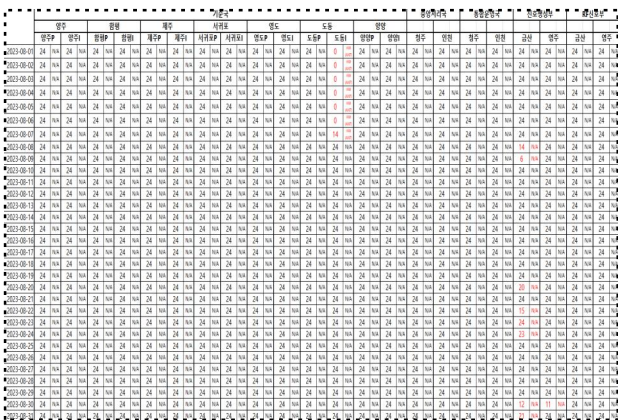


그림 5. KASS 시스템 2023년 8월 상태감시 결과
Fig. 5. KASS system status monitoring result (2023.8)

도동 기준국의 경우, 안테나 이상으로 인해 운영은 583시간으로 약 78.4% 정상적으로 운영되었으며 금산, 영주 위성통신국 신호생성부의 경우 639시간, 706시간으로 약 93.1%, 94.9% 정상적으로 운영되었다. 그 외의 하위시스템은 744시간 운영되었으며 100%를 나타내었다.

V. 결론

2023년 12월 이후 항공용 서비스 개시를 목표로 한 KASS의 안정적인 운영을 위해서는 시스템의 상태감시가 중요하다.

이를 위해 실시간, 장기간 분석이 가능한 상태감시 도구 2종을 개발하기 위해 요구사항 정의, 설계, 구현 및 검증에 이르는 일련의 과정을 통해 초기 개발을 완료하였다.

실시간, 장기간 상태감시 도구의 74개의 요구사항을 충족하는 설계 및 개발을 완료하였고 2023년 8월 한 달 동안 KASS 시스템을 감시한 결과 8건의 이상 현상을 발견할 수 있었다. 한 달 간의 운영시간을 산출한 결과 도동 기준국 78.4%, 금산, 영주 위성통신국 신호생성부 93.1%, 94.9%를 제외한 다른 하위시스템은 100%의 운영시간을 달성함을 확인할 수 있었다.

본격적인 KASS 운영에 상태감시 도구를 활용하여 지속적인 서비스 제공을 지원할 예정이며 월간, 분기, 년 단위의 시스템 상태감시 결과를 사용자에게 제공할 예정이다.

Acknowledgment

본 연구는 국토교통부 위성항법보정시스템 안전운용기술개발 사업의 연구비지원(RS-2021-KA164208)에 의해 수행되었습니다.

References

- [1] ICAO, "Report of the fifth meeting of ICAO asia/pacific GBAS/SBAS implementation task force (GBAS/SBAS ITF/5), International Civil Aviation Organization, June, 2023.
- [2] Korea Augmentation Satellite System. Overseas trends for SBAS operation [Internet]. Available: <http://kass.re.kr>
- [3] FAA. Welcome to the William J. Hughes technical center WAAS test team [Internet]. Available: <https://www.nstb.tc.faa.gov/index.htm>
- [4] EUSPA. EGNOS user support [Internet]. Available: <https://egnos-user-support.essp-sas.eu/>
- [5] M. H. Son, Y. S. Yun, and B. S. Lee "Development of

maintenance concept and procedure for KASS”, *Journal of Advanced Navigation Technology*, vol. 26, no.6, pp. 373-379, Dec. 2022.

KASS reference station Site”, *Journal of Advanced Navigation Technology*, vol. 24, no.4, pp. 273-279, Aug. 2020.

[6] M. H. Son, Y. S. Yun, and B. S. Lee “The development for



손민혁 (Minhyuk Son)

2009년 2월: 대구대학교 전자공학 공학사

2011년 2월: 대구대학교 전자공학 공학석사

2011년 9월~현재: 한국항공우주연구원 선임연구원

※관심분야: 위성항법보강시스템, 위성항법 정밀위치결정, 위성항법시스템 운영



이병석 (ByungSeok Lee)

2002년 2월: 서울시립대학교 전자전기공학사

2009년 2월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학 석사

2015년 2월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학 박사

2011년 9월~현재: 한국항공우주연구원 선임연구원

※관심분야: 위성항법보강시스템, 최적 및 강인 제어, SWARM Control