

KASS 시스템 통합 및 검증 활동

Integration, Verification, Qualification Activities for KASS System

정 환 호^{1*} · 손 민 혁¹ · 이 병 석²

¹한국항공우주연구원 SBAS 사업단 체계종합팀

²한국항공우주연구원 SBAS 사업단

Hwanho Jeong^{1*} · Minhyuk Son¹ · 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]

KASS (korea augmentation satellite system) 시스템 통합 및 검증 (IVQ; integration, verification, qualification) 활동은 시스템 및 하위시스템 요구사항 검증 활동으로 IART(inspection, analysis, review of design, test) 기반으로 상세설계 (CDR; critical design review) 이후 하위시스템 공장수락시험 (FAT; factory acceptance test)부터 현장수락시험 (SAT; site acceptance test) 그리고 시스템 통합 검증 시험 (TRR; test readiness review) 까지 수행하였다. FAT 단계의 활동은 개발된 장비를 테스트 플랫폼에 설치하고 각 장비별 인터페이스 검증과 통합운영국 (KCS; kass control station)과의 연동시험을 통해 성능을 검증하였다. SAT 단계의 활동은 FAT 단계에서 검증된 KRS (kass reference station), KPS (kass processing station), KUS (kass uplink station), KCS를 운영 현장에 설치하고 검증하는 단계이며 개발 일정 및 여건을 고려하여 3단계로 구분하여 수행하였다. TRR 단계의 활동은 항공위성1호기에서 방송되는 SBAS (satellite based augmentation system) 메시지를 이용하여 SAT을 통해 검증된 장비를 FAT 단계에 수행했던 시험 항목과 추가 시험 항목 검증을 통해 전체 시스템에 대한 성능 검증을 완료하였다.

[Abstract]

Korea augmentation satellite system (KASS) integration, verification, qualification (IVQ) activity is verification of requirements for KASS system and its sub-system that were performed based on the inspection, analysis, review of design, test (IART) method from factory acceptance test (FAT) to test readiness review (TRR) after critical design review (CDR) was closed. In the FAT phase, developed equipment was installed on the test platform and we were verified interfaces between sub-systems and coupling test with the kass control station (KCS). In the site acceptance test (SAT) phase, on-site verification was conducted by installing equipment verified by FAT such as kass reference station (KRS), kass processing station (KPS), kass uplink station (KUS), KCS. However, considering the developed plan and status, SAT was divided into 3 phases and coupling test was performed. In the TRR phase, the KASS system verification was performed through FAT's test list and additional test list using the satellite based augmentation system (SBAS) broadcast signal from geostationary earth orbit (GEO) 1.

Key word : KASS, KASS system IVQ, SBAS.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2023.27.6.782>



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 24 November 2023; Revised 5 December 2023
Accepted (Publication) 18 December 2023 (29 December 2023)

*Corresponding Author; Hwanho Jeong

Tel: +82-42-870-3548

E-mail: hhjeong@kari.re.kr

I. 서론

한국형 항공위성서비스 (KASS; korea augmentation satellite system)는 2022년 6월 항공위성 1호기 발사 및 하위시스템 현장수락시험 (SAT; site acceptance test) 완료를 기점으로 2022년 12월 중순부터 1차 KASS 신호 제공이 시작되었고 KASS 시스템 통합 검증 시험 (TRR; test readiness review) 완료 후 2차 KASS 신호 제공이 시작되었다. 이후 시스템 적합성 검토 (SQR; system qualification review)를 통해 시스템 요구사항 만족 및 적합 여부를 검토하고 성능적합증명이 완료되면 2023년 말 이후 항공용 서비스 (SoL; safety of life)인 3차 KASS 신호 제공이 시작될 예정이다.

KASS 시스템은 GPS (global positioning system) 신호를 수신하는 기준국 (KRS; kass reference station) 7개소, 수신된 신호를 기반으로 SBAS (satellite based augmentation system) 메시지를 생성하는 중앙처리국 (KPS; kass processing station) 2개소, 생성된 보정신호를 정지궤도위성 (GEO; geostationary earth orbit)으로 전송하는 위성통신국 (KUS; kass uplink station) 3개소, 실시간으로 하위시스템 및 KASS 시스템 상태 정보를 확인할 수 있는 통합운영국 (KCS; kass control station) 2개소로 구성되며 각 하위시스템은 KASS 통신네트워크 (WAN; wide area network)를 통해 연결된다. KUS는 항공위성 2호기 발사 전까지는 2개소의 장비를 이용하여 항공용 서비스를 제공하고 항공위성 2호기가 준비되면 금산에 1개의 장비가 추가로 설치되어 운영될 예정이다.

각각의 하위시스템은 KASS 시스템 통합 전 공장수락시험 (FAT; factory acceptance test)을 통해 기능적 이상 유무를 확인하고 현장 설치 및 연동 시험인 현장수락시험 (SAT; site acceptance test)을 완료해야만 통합 검증 시험을 수행할 수 있다.

본 논문에서는 KASS 시스템에 대해서 FAT, SAT, TRR 단계에서 수행한 통합 및 검증 활동에 대해 기술하였다.

II. 시스템 통합 및 검증 개요

KASS 시스템에 대한 요구사항은 시스템 요구서 (SRD; system requirement document)에 기술되어 있으며 SRD를 기반으로 시스템 개발과 관련된 세부 요구사항은 시스템 사양 문서 (SSD; system specification document)에 기술되어 있다. 각각의 하위시스템은 SSD 요구사항을 기반으로 개발 요구사항을 구체화 하고 검증을 통해 시스템에 대한 성능을 입증해야 한다. 따라서 KASS 시스템에 대한 통합 및 검증 (IVQ; integration, verification, qualification) 활동은 요구사항마다 검증 방법이 부여된 IART (inspection, analysis, review of design, test)를 기반으로 시스템 현장 설치전 통합 및 검증하는 FAT 단계, 현장 설치 및 검증하는 SAT 단계, 정지궤도위성이 포함된 KASS 시스템

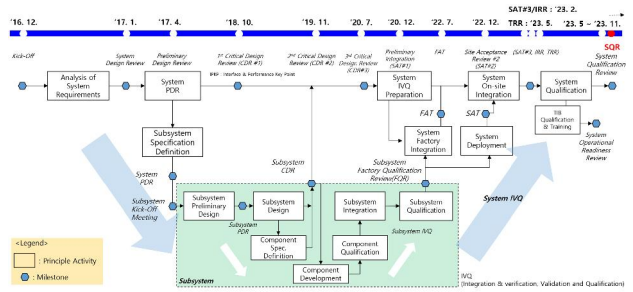


그림 1. KASS 개발 절차 및 IVQ 활동
Fig. 1. KASS development process & IVQ activities

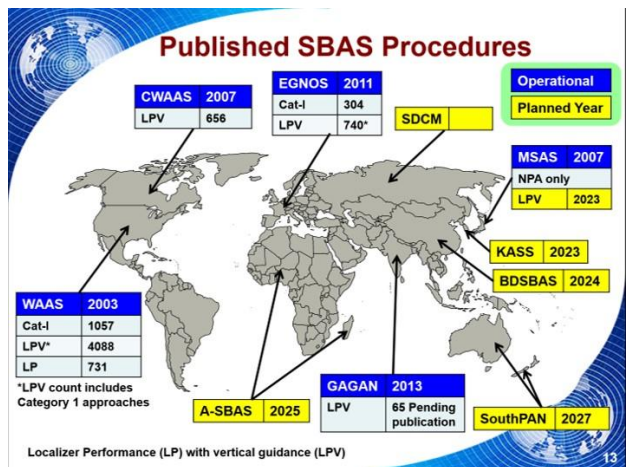


그림 2. SBAS 개발 현황
Fig. 2. Global SBAS status

통합 및 검증하는 TRR 각각의 마일스톤 단계에서 확인하였고 SAT은 그림 1과 같이 개발 일정 및 개발 여건을 고려하여 3번에 걸쳐 수행하였다[1].

미국 WASS (wide area augmentation system)는 2003년 항공용 서비스를, 유럽 EGNOS (european geostationary navigation overlay service)는 2011년, 일본 MSAS (multi-function satellite augmentation system)는 2007년 항공용 승인 획득 후 NPA (non precision approach) 서비스를 제공, 인도 GAGAN (gps aided geo augmented navigation)은 2013년 항공용 승인 획득 후 2015년부터 항공용 서비스를 제공하고 있으며 KASS 시스템은 성능적합증명이 완료되면 그림 2와 같이 전 세계에서 6번째로 항공용서비스를 제공할 수 있으며 아프리카, 러시아, 중국 등에서도 현재 SBAS 시스템이 개발 중에 있다 [2], [3].

2-1 FAT

FAT 단계에서는 개발된 하위시스템을 테스트 장소에 설치 및 조립하고 각 하위시스템 간 물리적/전기적 인터페이스를 검증하고 최종 수락된 SW를 설치하여 기능 및 성능 점검을 수행한다. 하지만 FAT 단계에서는 생성된 보정신호를 정지궤도위성으로 전송하는 RFS (radio frequency section) 장비 없이 기능

및 성능 검증을 수행해야 하기에 RFS 장비는 시뮬레이터로 대신한다.

2-2 SAT

SAT 단계는 FAT을 통해 검증된 하위시스템을 실제 운영하는 장소에 설치 후 통합 시험을 수행하는 단계이며 설치되는 사이트 요구사항 검증 단계인 사이트 부대시설 수락 검토(SIAR; site infrastructure acceptance review)가 완료되어야 장비를 설치할 수 있다. 따라서 SAT의 경우 SIAR을 통해 설치 장소의 적합성이 검증되고 장비의 배송, 설치, 조립이 완료되어 모든 시스템이 운영 가능한 상태에서 KCS를 통해 원격으로 연동시험을 수행한다

2-3 TRR

TRR 단계는 SAT을 통해 검증된 각각의 하위시스템을 통합하고 연동시험을 수행하는 단계이며 FAT 단계와는 다르게 실제 항공위성 1호기에서 방송되는 SBAS 신호를 사용하여 테스트를 수행한다.

III. 시스템 통합 및 검증 활동

KASS 시스템 마일스톤에 대한 통합 및 검증 활동 일정은 표 1과 같다. KASS 하위시스템 중 초기에 개발된 KRS는 현장 설치전 사전 검증을 통해 현장에 설치되고 SAT#1을 수행하였다. 그 이후 개발된 KCS, KPS, KUS를 KRS와 함께 테스트 플랫폼에 설치 후 FAT 단계를 통해 현장 설치전 검증을 완료하였다. 검증이 완료된 KCS, KPS는 SAT#2 단계에 설치되어 검증을 하였고 KUS는 SAT#3 단계에 설치되어 KCS와의 연동 및 하위시스템과의 연동시험을 통해 검증하였다.

시스템 통합 및 검증 항목들은 다수의 시험 항목(test case)과 세부 단계로 구성되어 있으며 세부 단계의 예상 결과와 동일한 결과를 획득하지 못하게 되면 다음 세부 단계를 검증할 수 없다 [4].

표 1. KASS 시스템 통합 및 검증 일정

Table. 1. IVQ Schedule for KASS system

Milestone	IVQ test period	Review date
SAT#1	4 weeks	2020.12.17
FAT	7 weeks	2022.07.19
SAT#2	2 weeks	2022.12.01
SAT#3	2 weeks	2023.02.06
TRB	4 weeks	2023.07.07

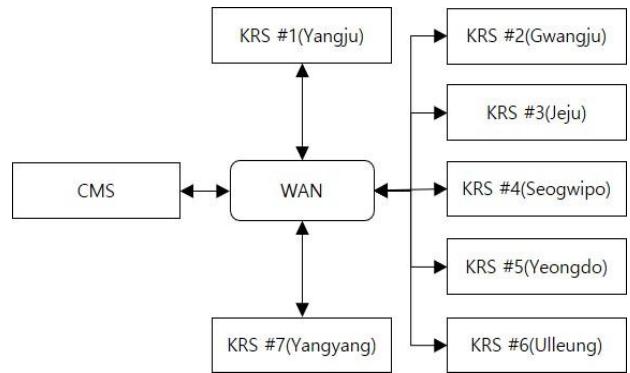


그림 3. SAT#1 구성도
Fig. 3 Configuration of the SAT#1

3-1 SAT#1

SAT#1은 KRS와 WAN을 통해 중앙처리·통합운영국(MCC; mission control center)에서 KRS에서 수신된 GPS 신호 수신 및 KRS 하위시스템(S/S; sub system) 상태 정보 모니터링 및 제어 가능여부를 확인하는 시험이다 [4].

SAT#1 시험은 그림 3과 같이 구성하였으며 7개의 KRS를 KCS 기능 중 모니터링 및 제어 기능을 제공하는 CMS (central monitoring and control simulator)를 사용하여 실시간으로 7개의 기준국 동시 모니터링 및 데이터 수집, 분석을 통해 성능을 검증하였다.

3-2 FAT

FAT은 SAT#1을 통해 검증된 KRS와 개발 완료된 KCS, KPS, KUS 하위시스템을 실제 운용되는 환경과 다른 환경에서 검증을 수행했다. 하지만 실제 항공위성 1호기에서 방송되는 SBAS 신호가 없는 제약조건으로 인해 FAT 단계에서 SBAS 신호 기반으로 검증해야 하는 항목들은 TRR 단계에서 검증을 수행하였다. 테스트를 위한 시스템 구성은 그림 4와 같으며 KRS와 KUS의 경우 KASS 시스템 구성과 동일하게 장비를 설치할 수 없는 제약조건으로 각 1개의 KRS와 KUS를 시험에 사용하였으며 KCS의 경우 SAT#1에서 사용한 CMS를 추가하여 KASS 시스템과 동일하게 구성하였고 시스템 통합 및 검증 항목은 표2와 같다.

3-3 SAT#2

SAT#2에서는 SAT#1의 CMS를 사용하지 않고 FAT 단계에서 검증된 KCS를 청주와 인천 MCC에 설치 후 연동시험을 수행하여 시스템에 대한 기능 및 성능을 검증하였다. 하지만 FAT 단계에서 1개소의 KRS가 KCS에 연결되어 테스트 되었기에 SAT#2를 수행하기 전 7개소의 KRS 연결하여 KCS에서 실시간으로 모든 KRS 상태 및 데이터 모니터링 기능 정상 동작

여부를 확인하였다.

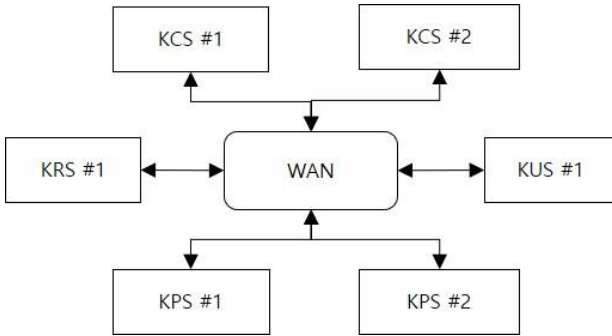


그림 4. FAT 구성도
Fig. 4. Configuration of the FAT

표 2. FAT 시험 항목
Table 2. FAT test list

No.	Test list
1	Configuration change test
2	Hot configuration update test
3	External data management test
4	Data archiving management test
5	Failure detection display test
6	INSPIRE I/F test
7	Maintenance from KCS-CCF test
8	System monitoring test
9	Remote power management test
10	SOL/Non SOL mode transition test
11	KPS switch test

SAT#2는 그림 5와 같이 2개의 KPS를 청주 (CHG; cheongju)와 인천 (INC; incheon) MCC에 설치 후 표 3과 같은 순서로 KCS와의 연동시험을 수행하였다. KASS 시스템은 24시간 항공용 서비스를 제공하기 위해 KCS, KPS, KUS는 이중으로 설계되어 하나의 하위시스템에 이상이 생기더라도 다른 장비를 통해 서비스를 제공할 수 있도록 설계되었다. 따라서 표3의 7번과 8번은 그림 6의 테스트 절차를 통해 주/부의 KCS로부터 KPS 원격제어 기능을 확인하였다.

3-4 SAT#3

SAT#3는 그림 6과 같이 2개의 KUS를 금산 (GE; geumsan)과 영주 (YGJ; yeongju)에 설치 후 표 4와 같은 순서로 KCS와의 연동시험을 수행하였다. KPS의 경우 장비 설치부터 SAT 단계에 포함되었지만 KUS의 경우 장비 취급상의 제약조건으로 사전 전담 조직에 의해 장비 설치 및 기능 검증을 완료하였다. SAT#3 단계는 KASS 시스템을 구성하는 하위시스템 설치와

완료되는 단계이므로 KUS 연동시험 이외에 표 4의 5~7번 장비간 전환시험과 KCS에서 획득하는 시스템 데이터 통합 시험을

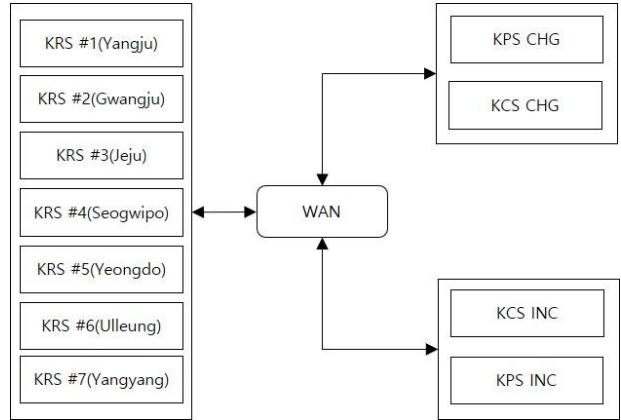


그림 5. SAT#2 구성도
Fig. 5. Configuration of the SAT#2

표 3. SAT#2 시험 순서
Table 3. SAT#2 test order

Order	Activity
1	KPS CHG HW installation
2	KCS CHG test
3	KPS CHG test from MCC Cheongju
4	KPS INC HW installation
5	KCS INC test
6	KPS INC test from MCC INC
7	KPS CHG test from MCC INC
8	KPS INC test from MCC CHG



그림 6. KPS 원격제어 기능 검증
Fig. 6. KPS remote control verification

수행하였다.

KASS 시스템의 경우 KPS에서 생성되는 2개의 보정신호를 비교하여 최상의 신호를 KUS가 선택을 할 수 있게 설계되어 있기에 5번의 시험을 통해 KPS에서 생성되는 신호 전환을 검증하였다. 또한 운영중 KUS 장비의 고장 또는 이상으로 인해 정지케도위성으로 신호 방송이 불가능하여 서비스 제공 불가

를 방지하기 위해 6번의 KUS 전환을 수행하여 KPS에서 생성되는 보정신호가 정상적으로 동작 중인 KUS로 전환됨을 확인하였다.

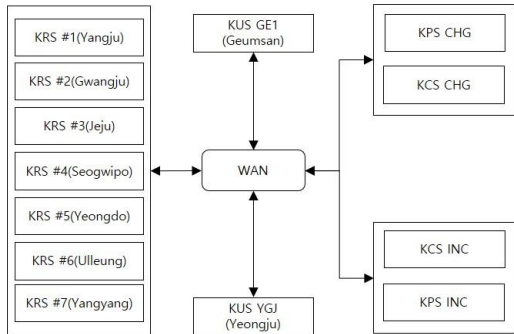


그림 6. SAT#3 구성도
Fig. 6. Configuration of the SAT#3

표 4. SAT#3 시험 순서
Table 4. SAT#3 test order

Order	Activity
0	KUS GE1/YGJ HW installation
1	KUS GE1 test from MCC CHG
2	KUS YGJ test from MCC CHG
3	KUS GE1 test from MCC INC
4	KUS YGJ test from MCC INC
5	KPS switch test
6	KUS switch test
7	KCS switch test
8	Data archiving management test

표 5. TRR 시험 항목
Table 5. TRR test list

No.	Test list
1	Configuration change test
2	Hot configuration update test
3	External data management test
4	Data archiving management test
5	Failure detection display test
6	INSPIRE I/F test
7	Maintenance from KCS-CCF test
8	System monitoring test
9	Mission monitoring test
10	MOPS compliance test
11	Remote power management test
12	KCS switch test
13	KPS switch test
14	KUS switch test
15	TTA test

KCS는 청주가 주 (Master) 인천이 부 (Backup)로 운영이 되며 장비의 유지보수 또는 이상으로 인해 주/부가 전환될 수 있기 때문에 7번의 시험을 통해 KCS 운영권 전환에 대한 성능 검증을 수행하였다. 또한 주/부로 운영되는 KCS에 동일한 시스템 데이터 획득 여부와 상호 간의 데이터 교차 확인을 통해 하나의 장비가 비운용 중인 기간에서 획득하지 못한 데이터를 운용 중인 KCS에서 확인 후 데이터를 동기화하는 기능을 검증하였다.

3-5 TRR

TRR 단계는 KASS 시스템에 대한 요구사항을 검증하는 단계로 FAT 단계에서 제약사항으로 시험하지 못한 항목을 추가하여 표 5와 같이 시스템의 성능 검증을 수행하였다.

MOPS (minimum operational performance standards) 시험을 통해서 정지궤도위성에서 방송되는 SBAS 메시지 갱신 주기가 MOPS의 최대 갱신 주기 기준 만족 여부를 검증하였고 TTA (time-to-alarm) 시험을 통해서 KPS에서 허위 정보가 포함된 메시지 타입 (MT; message type) 6 메시지 생성 시간과 정지궤도위성을 통해 KRS에 수신된 MT6 메시지 수신 시간의 차이를 계산하여 성능 검증을 완료하였다.

TRR 단계에서는 FAT 단계에서 검증한 테스트를 실제 운용 환경에서 재검증을 하여 KASS 시스템의 안정적인 동작을 확인하였고 GPS 신호를 기반으로 SBAS 보정신호 생성 및 항공위성 1호기로 송신 및 SBAS 신호 방송수신을 통해 KASS 전체 시스템에 대한 검증을 완료하였다. 특히 하위시스템 장비의 오류로 인한 장비 중단 상황을 가정한 스위치 테스트를 통해 SBAS 신호 중단없이 KASS 시스템이 정상적으로 동작함을 확인하였다.

IV. 시스템 통합 및 검증 활동 결론

KASS 시스템은 국내 인천 비행정보구역(FIR; flight information region)에서 365일 지속적으로 서비스 제공이 가능하도록 설계되었으며 서비스 중단을 방지하기 위해 주요 장비에 대해서는 이중화가 반영되어 있으며 단계별 통합 및 검증 활동을 통해 시스템의 안정성을 확인하였다.

TRR 시험 전 단계에서 테스트 모드로 방송 중인 MT 0/0 신호는 TRR 시험 완료 후에는 공개서비스(OS; open service) MT 0/2로 변경되어 현재 인천 FIR에 제공하고 있으며 성능적합증명이 끝나면 항공용 서비스(SoL; safety of life) 를 2023년 말 제공 예정이다.

현재는 항공용 서비스는 항공위성 1기로 서비스를 제공하고 있지만 향후 항공위성 2호기가 발사되고 KASS 신호 방송 준비가 되면 금산에 KUS를 추가 설치하고 시스템 통합 및 검증 활동을 통해 항공용 서비스가 항공위성 1, 2호기를 통해 인천 FIR에 서비스 제공이 될 수 있도록 준비할 예정이다.

Acknowledgments

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

References

- [1] B. S. Lee, G. W. Nam, "Introduction of Procedure and Method for KASS system SAT#1," in Proceeding of the 2020 IPNT Conference, Yeosu, pp. 1-4, 2020.
- [2] H. J. Jang, H. H. Jeong, M. H. Son, and B. S. Lee,

"Configuration and Construction for the KASS KRS Site Infrastructure," Journal of Positioning, Navigation, and Timing, Vol 10, No. 2, pp. 139-144, Jun. 2021.

- [3] EGNOS User Support. SBAS services global status and plans[Internet]. Available:
https://egnos-user-support.essp-sas.eu/sites/default/files/workshop2021/pdfs/6_SBAS/EWS21_P17_SBAS%20global%20service%20status%20and%20plans.pdf.
- [4] H. H. Jeong, H. J. Jang, K. T. Kim, J. E. Lee, and B. S. Lee, "SAT#1 (Preliminary Integration) Test Results of KASS System," Journal of Positioning, Navigation, and Timing, Vol 10, No. 2, pp. 145-151, Jun. 2021.



정 환 호 (Hwanho Jeong)

2008년 2월 : 충남대학교 항공우주공학 공학사
 2010년 2월 : 충남대학교 항공우주공학 공학석사
 2020년 1월~현재 : 한국항공우주연구원 선임연구원
 ※관심분야 : 위성항법보강시스템, 위성항법시스템 운영, 무인항공기



손 민 혁 (Minhyuk Son)

2009년 2월: 대구대학교 전자공학 공학사
 2011년 2월: 대구대학교 전자공학 공학석사
 2011년 9월~현재: 한국항공우주연구원 선임연구원
 ※관심분야 : 위성항법 보정시스템, 위성항법 정밀위치결정, 위성항법시스템 고장 검출



이 병 석 (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