

Development of Ground Monitoring and Control System for Korea Augmentation Satellite System

Daehee Won[†], Chulhee Choi, Eunsung Lee, Hantae Cho, Dongik Jang, Eunok Jang, Heetaek Lim, Ho Sung Lee, Jungja Kim, Joohap Choi



Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Development of Ground Monitoring and Control System for Korea Augmentation Satellite System

Daehee Won^{1†}, Chulhee Choi¹, Eunsung Lee¹, Hantae Cho², Dongik Jang², Eunok Jang², Heetaek Lim²,
Ho Sung Lee², Jungja Kim³, Joohap Choi³

¹Satellite Ground Station R&D Division, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon 34133, Korea

²Convergence ICT 2P-TF, Enterprise Business Unit, KT, Seoul 05552, Korea

³M&S Research Institution, KCEI, Seoul 08390, Korea

ABSTRACT

The Korea Augmentation Satellite System (KASS) is the first satellite navigation enhancement system in Korea developed in compliance with international standards. Technologies accumulated during the development process should be spread to industries such as academia and serve as the basis for developing the domestic satellite navigation field. This paper introduces the development process from design to implementation, testing, and verification of KASS control systems (KCS). First, development standards, milestones, requirements, and interface standards are presented as KCS development methods, and major functional design, physical design, and hardware/software implementation are described based on the allocated requirements. Subsequently, the verification environment, procedures, and results of the development product are covered and the developed operational and maintenance procedures are described. In addition, based on the experience gained through the development, suggestions were made for beneficial technology development and organization when promoting satellite navigation projects in the future. Since this work has important historical value for the development of domestic satellite navigation, it is expected that the development results will be shared with academia and industry in the future and be used as basic data for similar development.

Keywords: KASS, KCS, monitoring, control, development

1. INTRODUCTION

위치 정보는 우리의 삶에서 다양한 편의를 제공하고, 상황 맞춤형 정보를 제공하기 위해 필수적이며 보편적인 정보가 되었다.

Received May 08, 2023 Revised May 19, 2023 Accepted May 23, 2023

[†]Corresponding Author

E-mail: dhwh@kari.re.kr

Tel: +82-42-860-2709 Fax: +82-42-879-4465

Daehee Won <https://orcid.org/0000-0003-3183-1352>

Chulhee Choi <https://orcid.org/0009-0004-7098-4874>

Eunsung Lee <https://orcid.org/0000-0003-4565-5863>

Hantae Cho <https://orcid.org/0009-0007-5961-4639>

Dongik Jang <https://orcid.org/0009-0001-1402-7795>

Eunok Jang <https://orcid.org/0009-0002-5094-140X>

Heetaek Lim <https://orcid.org/0009-0005-3208-4258>

Ho Sung Lee <https://orcid.org/0009-0006-9951-4432>

Jungja Kim <https://orcid.org/0000-0003-1659-4811>

Joohap Choi <https://orcid.org/0009-0000-4746-4839>

더불어, 스마트폰 및 태블릿 등의 개인형 단말 보급, 자율주행 차량 사용 증가, 무인 드론 기술 발전 등으로 보다 정확하고 신뢰성 높은 항법 정보에 대한 요구가 증가하였다. 공간 상에서 신뢰도 높은 위치 정보를 얻는다는 것은 많은 의미를 갖는다. 보다 정밀한 임무 수행을 가능하게 하여 세분화된 서비스를 제공할 수 있으며, 이에 대한 자동화가 가능하다. 또한 위치 식별을 위한 부가적인 활동이 감소하여 운용 절차 간소화 및 운용 비용 감소 등의 경제적인 효과를 얻을 수 있다.

우리나라는 위치 정보를 보다 정확하고 신뢰성 높게 활용할 수 있도록 한국형 Satellite Based Augmentation System (SBAS)인 Korea Augmentation Satellite System (KASS)를 개발하고 있다. KASS는 정지궤도 위성을 사용하여 한반도 지역의 다수 사용자에게 고정밀의 위성항법 보정 정보를 제공할 것이며, 2023년 정식 운영을 앞두고 있다 (Kim et al. 2021, Son et al. 2022). KASS는 위성항법시스템 중 보편적으로 널리 사용되는 Global Satellite System (GPS)의 보정정보를 제공하며, 기준국 (KASS Reference

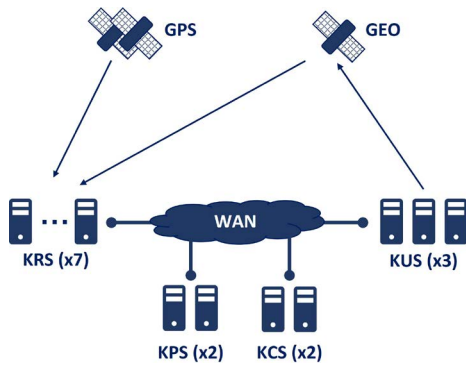


Fig. 1. KASS system diagram.

Station, KRS), 중앙처리국 (KASS Processing Station, KPS), 위성 통신국 (KASS Uplink Station, KUS), 통합운영국 (KASS Control System, KCS), 통신네트워크 (Wide Area Network, WAN), 정지궤도위성 (Geostationary Orbit, GEO)으로 구성된다. Fig. 1은 KASS의 구성을 나타낸다. KRS, KPS, KUS, GEO는 항법 메시지의 생성과 방송을 담당하며, KCS는 각 시스템 구성 요소의 상태를 감시하고 개별 하위시스템에 명령을 전송하여 SBAS 운용을 가능하게 한다.

KASS 시스템 중 KCS는 한국항공우주연구원 주관으로 개발하여, 두 곳의 운영센터에서 설치 및 운용되며 각각 Master, Backup 모드로 동작한다. KASS 서비스 상태를 실시간으로 감시 및 제어할 뿐만 아니라 하위시스템의 상태 정보를 수집 및 관리하고, 동시에 KASS 운용을 위한 형상관리, 저장관리 등의 운용 전반에 필요한 기능을 수행한다.

KCS는 한국항공우주연구원이 개발을 총괄하고, (주) KT가 설계 및 검증, (주) KCEI가 소프트웨어 개발 및 시험을 담당하였다. 더불어, KASS 체계 개발을 담당하는 프랑스 Thales Alenia Space (TAS-F)사와 협력으로 개발되었다. KCS는 2017년 개발에 착수하여 7년여 기간동안 설계에서 검증에 이르기까지 국내 정부출연연구소 및 산업계 인력(KT, KCEI, 네이버시스템, JIT Solution, 이트론, 한성ILS, 모아소프트) 110여명이 참여하였으며, 2022년 수락시험 후 청주 및 인천의 운용 현장에 설치되어 시험 중에 있다. 본 논문에서는 이에 대한 개발 과정을 소개하고 개발과정에서 습득한 유익한 정보를 기술하고자 한다.

KASS 개발은 국가적 사업으로 국내 최초로 국제 표준을 준수하여 개발한 위성항법 보강시스템이다. 개발 과정에서 축적된 기술은 학계를 비롯하여 산업계 전반에 파급되어 국내 위성항법 분야 발전에 토대가 되어야 한다. 시기적으로는 한국형 위성항법시스템 개발 착수로 관련 기술의 활용 요구가 증가하고 있다. 특히 KCS는 국내 정부출연연구소와 산업계의 협력으로 개발하며 자체 개발 기술을 확보하였다. 유사 분야의 국내 적용 및 활용에 있어서 국외 기술에 의존(기술이전, 자문 등)하는 제약 없이 활용할 수 있다.

KASS 개발의 성과는 향후 국내 위성항법 분야의 지상시스템 개발에 있어서 참고 및 기준 자료로 높은 가치가 있다. 더불어, 국내 위성항법 개발에 중요한 사료적 가치가 있으므로 학계 및 산업계에 개발 결과를 공유하는데 중요한 의미를 지닌다. 이에 본

논문에서는 KCS의 설계에서부터 구현, 시험, 검증에 이르는 개발 과정을 소개하여 국내 관련 분야로 기술을 전파하고자 한다. 더불어 개발과정에서 경험한 내용을 토대로 향후 위성항법 사업의 수행에 있어서 유익한 제언을 하고자 한다.

본 논문은 총 9장으로 구성되었으며, 2장에서는 KCS 개발 방법을 기술하며 개발 표준, 마일스톤, 요구사항, 인터페이스 기준에 대하여 제시한다. 3장에서는 할당된 요구사항을 바탕으로 주요 기능 설계와 물리적 설계, 4장은 하드웨어 및 소프트웨어 제작, 5장은 개발품의 검증 환경, 절차, 결과에 대하여 다룬다. 이후 6장은 운영과 유지보수 절차에 대하여 설명하고, 7장은 기타 개발 과정에서 수행된 형상관리 및 품질 보증 등의 업무를 소개한다. 8장에서는 KCS 개발 경험을 바탕으로 향후 유사 분야의 개발에 대한 제언 내용을 담고 있으며, 마지막으로 9장에서 결론을 맺는다.

2. DEVELOPMENT STRATEGY

2.1 Development Standard & Applicable Documents

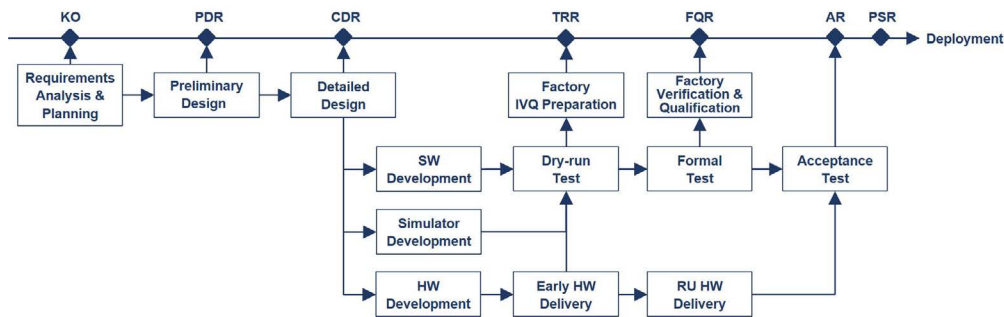
KASS는 유럽형 SBAS인 European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) 개발 경험을 보유한 TAS-F와 협력하여 개발되었다. 이에 따라 EGNOS 개발이 기반이 되어 KASS 개발 기준을 European Cooperation for Space Standardization (ECSS 2023)으로 설정하였으며, KCS 개발도 상위 기준을 준용하여 개발하였다. Table 1은 KCS 개발에 적용된 주요 기준 문서의 목록을 나타낸다. 언급된 문서를 기준으로 하여 Project Management Plan (PMP), Project Development Plan (PDP), Configuration Management Plan (CMP), Document Management Plan (DMP), Product Assurance Plan (PAP), Project Verification Plan (PVP) 등의 계획 문서가 작성되었고, 개발 전반에 걸쳐 사업관리, 개발관리, 의사결정, 자료기록, 품질관리 등의 업무 활동 기준으로 활용되었다.

2.2 Development Milestones

KCS 개발은 일반적인 시스템 마일스톤인 Kick Off (KO), Preliminary Design Review (PDR), Critical Design Review (CDR), Test Readiness Review (TRR), Factory Qualification Review (FQR), Acceptance Review (AR)의 단계로 수행되었다 (ECSS 2009b). 마일스톤 별 업무는 ECSS의 표준 문서에서 정의된 바를 따르며, KCS에 특화된 업무는 KCS State of Work (SoW) 문서 (Germa 2017a)를 준수하였다. Fig. 2는 KCS 개발 마일스톤을 나타낸다. KO 이후 PDR, CDR의 설계가 진행된 다음에 소프트웨어 및 하드웨어가 제작되었고, 이후 시험과 검증 (Dry-run Test, Formal Test) 과정을 거쳐 KCS의 수락(Acceptance)이 진행되었다. 수락시험 이후 현장 설치를 위한 선적검토회의(Pre-Ship Review, PSR)에서 준비된 KCS의 형상을 최종적으로 점검하였다. KCS 개발 과정 상의 특징으로는 Man-Machine-Interface Key Point (MMI KP) 도입, 시뮬레이터 사전 개발, 소프트웨어 분

Table 1. Applicable documents list for KCS development.

Title	Reference ID
Space project management: Project breakdown structure	ECSS-M-ST-10B
Space project management: Configuration and information management	ECSS-M-ST-40C
Space product assurance: Product assurance management	ECSS-Q-ST-10C (Tailored)
Space product assurance: Quality assurance	ECSS-Q-ST-20C (Tailored)
Space product assurance: Dependability	ECSS-Q-ST-30C (Tailored)
Space product assurance: Safety	ECSS-Q-ST-40C (Tailored)
Software product assurance requirement	ECSS-Q-ST-80C (Tailored)
Space engineering: Human factors engineering	ECSS E-ST-10-11C (Tailored)
Space product assurance: Nonconformance control system	ECC-Q-ST-10-09C (Tailored)
KASS MMI guidelines	KASS-TASF-TN/0005-000825661
KASS ILS/OPS requirements	KASS-TASF-SOW/0005-0008122099
Software safety requirements for KASS software development	KASS-TASF-TN/0005-0008322456

**Fig. 2.** KCS development milestones.

리 발주가 있다. 이에 대한 설명은 다음과 같다.

- 1) MMI KP: KCS는 KASS 운용을 위해 필수적인 Human Interface로 Graphical User Interface (GUI)를 포함한다. 이 GUI의 구성은 KCS에 할당된 요구사항이 기능 상으로 동작함에 문제가 없어야 하고, 순차적인 화면 전환 동작이 적절히 수행되어야 한다. 이를 위해 설계 과정에서 실제 동작이 가능한 수준의 MMI Mockup을 구현하여 형상을 검토하고 확정하는 단계인 MMI KP를 CDR 과정에 도입하였다.
- 2) 시뮬레이터 개발: KCS는 KRS, KPS, KUS 및 기타 통신 및 전원관리 장비와 연동되므로 종류와 수량의 측면에서 다양하고 복잡한 인터페이스를 갖는다. 이로 인해 시스템 통합 과정에서 잠재적인 인터페이스 불일치 및 충돌 발생을 내포한다. 따라서 KCS는 하위시스템 연계 기능만으로 한정된 소프트웨어를 별도로 제작하여, 이를 일반 Laptop 수준에서 동작 가능한 시뮬레이터로 개발하였다. 시뮬레이터를 KRS, KPS, KUS 등의 하위시스템 개발에 제공하여 인터페이스 연동 및 점검이 가능하게 하였다. 이를 통해 초기 하위시스템의 인터페이스 연동 오류를 해소하였으며, 본래의 통합 단계의 업무 과부하를 방지할 수 있었다.
- 3) 소프트웨어 분리발주: 개발 역량을 보유한 대기업의 참여가 필요하였으나, 국내 소프트웨어 진흥법 시행령 (MSIP 2016)에 따라 소프트웨어 개발은 대기업의 참여가 제한 (MSIP 2017)되어 설계와 소프트웨어 개발을 분리하였다. PDR 이후 소프트웨어 사업자가 선정되었고, 별도의 소프트웨어 개발 마일스톤을 수립하여 개발하였다. Fig. 2에서는 세부적인 소프트웨어 개발 마일스톤을 표시하지 않았다.

2.3 Requirement Definition

KASS 시스템 요구사항으로부터 KCS의 세부 요구사항이 파생 및 정의되었다. KASS PDR 단계에서 하위시스템 요구사항이 확정되었으며, 이 시점에 KCS 요구사항 (Comelli 2017b)이 확정되어 개발에 착수하였다. KCS 요구사항은 대표적으로 7개 분야로 정의되었다.

- 1) 인터페이스 요구사항: KCS와 연계되는 인터페이스에 대한 요구사항을 정의한다. KASS 하위시스템인 KRS, KPS, KUS 뿐만 아니라, 통신장비, 전원 통제장비, 외부 데이터 전송장비 등에 대한 인터페이스를 정의한다. 또한, KASS 운용을 위해 외부에서 수집해야 할 데이터(지구자전정보, 궤도정보, 형상파일)에 대한 인터페이스 정의를 포함한다.
- 2) 기능 요구사항: KASS 운용을 위한 KCS의 기능(State & Mode 정의, 이벤트 정의 및 관리, KCS Database, 시각동기, 임무성능감시, 하위시스템 감시 및 제어, 자료 수집 및 동기화, 형상관리, 저장관리 등)에 대하여 정의한다
- 3) 성능 요구사항: KCS에서 관리 가능한 하위시스템 수, GPS 위성 수, 데이터 보관 용량 등의 성능에 관한 요구사항을 정의한다.
- 4) 운용 및 유지보수 요구사항: KASS 운용을 위한 운용자 별 계정 및 권한, GUI 표출 방법, 이벤트/알람 표출 및 관리 등의 운용 요구사항을 정의한다. 장비의 유지보수 및 조달에 관한 요구사항을 포함한다.
- 5) RAMS 요구사항: 신뢰성, 가용성, 유지보수성, 보안 관련 요구사항을 정의한다.

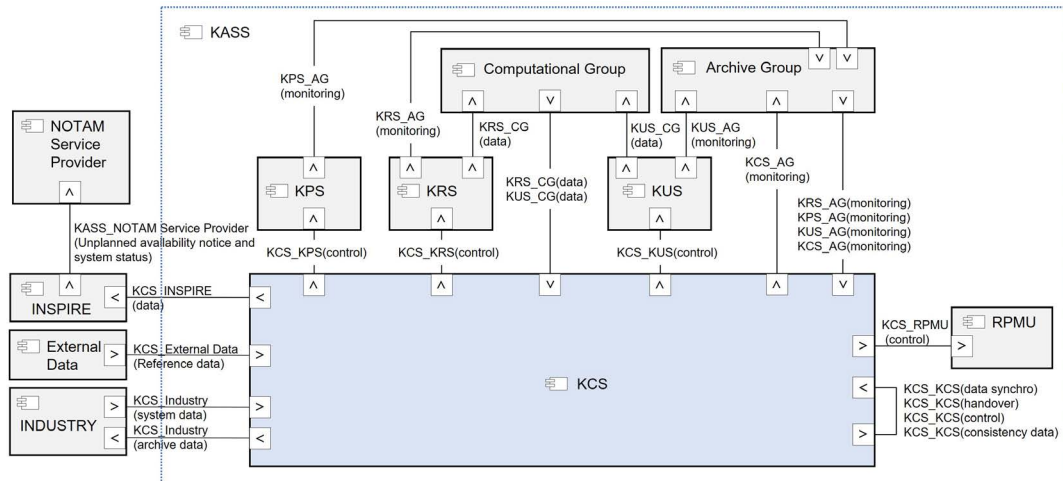


Fig. 3. KCS external interfaces.

- 6) 환경 요구사항: KCS 장비가 운용되는 장소에 대한 공간 크기, 온/습도, 전원, 바닥 하중, 케이블 트레이 등의 환경적인 요구사항을 정의한다.
- 7) 제작 요구사항: 기계/전기/열 등의 제품 제작에 관련된 요구사항을 정의한다.

정의된 요구사항은 설계 및 검증까지 추적성을 확보하였으며, IBM사의 DOORs 제품 (IBM 2023)을 사용하여 추적성을 관리하였다.

2.4 Interface Definition

앞서 설명한 요구사항과 더불어 시스템에서 정의한 Interface Control Document (ICD) (Comelli 2017a)를 제공받아, 이를 KCS의 개발 기준으로 설정하였다. KCS는 KASS의 제어 및 감시를 담당하므로, 각 하위시스템과 제어 명령을 전달하고 상태 정보를 수집하는 인터페이스를 갖는다. 이외에도 외부로 KASS 상태정보를 전송하거나, 운용에 필요한 기준 정보를 수집하는 인터페이스가 존재한다. Fig. 3은 KCS를 기준으로 연계되는 외부 인터페이스를 나타낸다.

우선 KASS 내부에 KCS와 하위시스템 간의 인터페이스에 대한 정의이다. KCS는 KPS에 제어 명령을 전달하며, 이와 관련된 명령 실행 상태와 시스템 상태 정보를 Archive Group (AG)에서 수집하고 KCS는 이를 수신하여 상태감시를 수행한다. KRS와 KUS는 제어와 감시를 위한 AG 인터페이스가 동일하게 존재하고, 추가적으로 보정정보 계산에 필요한 데이터를 Computation Group (CG)을 통해 전송하며 KCS는 CG 데이터를 입력 받아 항법정보 상태를 감시한다. 각 하위시스템은 원격으로 전원을 관리하며 이를 위해 Remote Power Management Unit (RPMU)에 제어 명령을 전달하는 인터페이스가 있다. 그리고 2식으로 운용되는 KCS 간의 데이터 동기화 및 Master-Backup 전환 명령을 전송하는 인터페이스가 존재한다.

다음으로 KASS 외부 시스템과 연결되는 인터페이스에 대한 정의이다. KASS 시스템을 개발하고 유지보수의 업무를 수행하게 될 제작사(Industry)와 내부 데이터를 전송하거나 신규 형상을 수

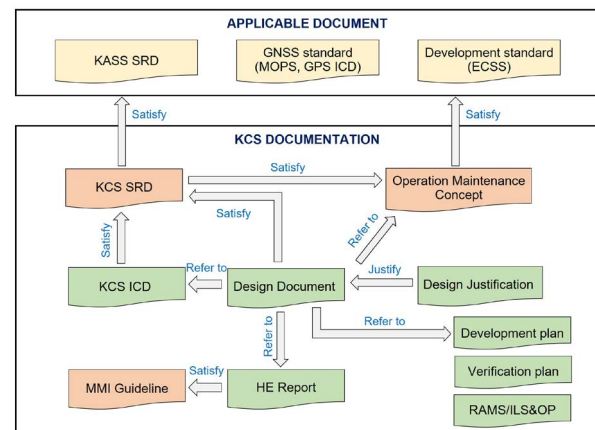


Fig. 4. Relationship of KCS development documents.

신하는 인터페이스가 필요하다. 그리고 KASS 운용을 위해 외부로부터 지구 자전정보, 위성 궤도 정보 등을 수집하는 External Data 연결, NOTAM (Notice To Airman) 발행을 위해 의도되지 않은 KASS 비정상 동작 상태를 외부로 전송하는 인터페이스가 있다.

3. DESIGN

KCS 설계는 KASS 요구사항 (System Requirement Document, SRD)과 관련 표준 및 ICD를 준수하여 진행되었다. 상위 시스템에서 정의된 요구사항과 인터페이스를 전달받고, KASS 운용유지보수 개념서 (Germa 2017c)를 기준으로 KCS가 설계되었다. GUI 설계는 사전에 정의된 MMI Guideline (Germa 2017b)를 준수하였으며, 이에 대한 분석 결과를 Human Engineering Report (HE Report)에 기록하여 관리하였다. 개발 계획을 준수하고, 개발 전반에 걸쳐 Reliability, Availability, Maintainability, Safety (RAMS)의 보장될 수 있도록 설계 검토가 진행되었다. 또한 향후 운영단계에서 조달 (Integrated Logistic Support, ILS) 및 운용

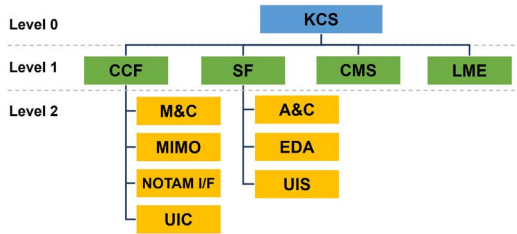


Fig. 5. KCS product tree.

(Operation, OP)의 업무가 원활히 수행될 수 있도록 설계가 고려되었다. Fig. 4는 KCS 개발 문서의 상호 연관성을 나타낸다.

요구사항 및 인터페이스 정의를 고려하여 Fig. 5와 같이 KCS product tree를 구성하였다. 상위 Product는 제어와 감시를 담당하는 Central Control Function (CCF), 형상관리 및 데이터 저장을 담당하는 Support Function (SF), KCS 시뮬레이터인 Central Monitoring & Control Simulator (CMS), KASS 하위시스템 유지보수에 사용하는 Local Maintenance Equipment (LME)로 구성하였다. CCF와 SF는 독립적으로 운용되며, 각각의 고장 및 장애는 상호 운용에 영향을 주지 않도록 구성하였다.

CCF의 하위 Product는 하위시스템의 상태 감시와 제어 명령을 전달하는 Monitoring & Control (M&C), KASS 항법신호의 임무성능을 감시하는 Mission Monitoring (MIMO), KASS 서비스 상태의 고장 및 장애 정보를 외부로 전달하는 NOTAM Interface (I/F), 그리고 CCF의 사용자 인터페이스인 User Interface CCF (UIC)로 구성된다. SF는 KASS 내부에서 수집 및 생성한 데이터를 저장하고 형상정보를 관리하는 Archive & Configuration (A&C), 외부 정보를 수집하여 KASS에 제공하는 External Data Access (EDA), 그리고 SF의 사용자 인터페이스인 User Interface SF (UIS)로 구성된다. 이어지는 절에서는 KCS 기능 및 물리적 설계에 대하여 설명한다.

3.1 Functional Design

이번 절에서는 KCS 주요 기능 설계에 대하여 기술한다. 다만 지면의 제약으로 세부 기능에 대한 설명은 생략한다.

3.1.1 State & mode definition

KCS는 운용 및 동작 상황에 따라 Fig. 6과 같이 상태(state) 및 모드(mode)를 갖도록 설계하였다. 상태는 OFF, MAINTENANCE, OPERATION 3개로 정의하였으며, 시스템 기동(start-up) 시에 사전 설정에 따라 각 상태로 진입한다. OPERATION 상태에서는 KASS 운용을 위한 모든 동작이 가능하고, MAINTENANCE 상태에서는 KCS의 유지보수나 기능점검을 수행하며 하위시스템 제어가 제한된다. MAINTENANCE, OPERATION 상태에서는 운용자의 명령에 의해 OFF 상태로 전환될 수 있다. 모드는 Loaded, Active, Failed로 구분하며, 운용자에 의해 변경된다. 초기 기동 시에 Loaded 모드로 진입하고 정상적인 운용 조건이 만족되면 Active 모드로 전환된다. 기능의 장애나 고장이 발생한 경우 Failed 모드로 진입한다.

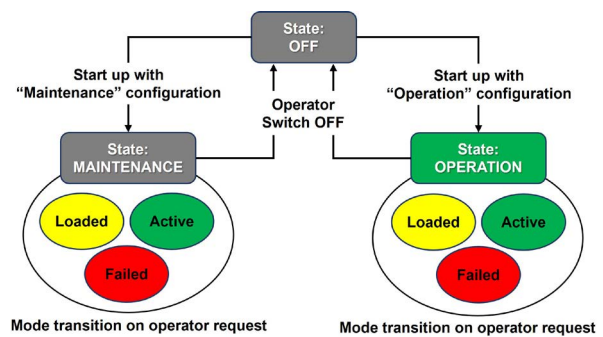


Fig. 6 KCS state and mode definition.

3.1.2 Monitoring

각 하위시스템에서 주기적으로 제공하는 상태정보와 발생한 이벤트 및 로그정보를 기반으로 KASS 상태를 감시하는 기능을 설계하였다. 우선적으로 KASS 서비스의 상태를 감시하는 기능이며 Safety of Life (SoL), Open Service, Test 인지를 식별한다. 하위시스템 상태에 대해서는 가용 상태 및 모드를 감시한다. 의도하지 않은 상태 변경을 식별하고, 하위시스템에서 생성한 이벤트를 토대로 운영자에게 알람을 제공한다. 더불어, 항법정보와 관련된 GPS 위성의 수신상태 및 외부 인터페이스의 연결 상태를 감시한다. 이외에도 KASS 임무 및 시스템(하위 시스템, 기능 포함)의 상태를 실시간으로 중단없이 상시 수행한다.

KASS 상태 정보는 운용자에게 시각적으로 표시하며, 단계적으로 상세한 정보까지 제공한다. 상태에 따라 색상 표기를 달리하여 정보를 표기한다. 상태에 따른 색상은 Table 2와 같이 사전에 정의된 규칙 (Germa 2017b)을 따른다.

3.1.3 Control

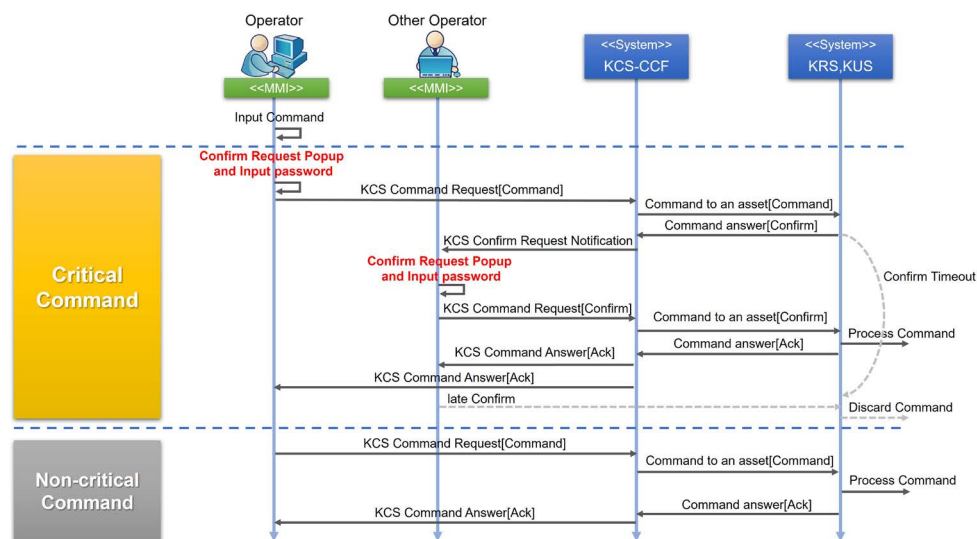
KASS 시스템에 제어 명령 전송과 설정 파일을 배포하는 기능을 설계하였다. 24시간/7일간 중단 없이 동작하며, 관련 동작의 수행 및 진행 결과를 이벤트와 로그로 기록하여 관리한다. 하위시스템으로 전달하는 명령은 다음의 3가지로 정의한다.

- Operational commands: 하위시스템의 상태 및 모드를 변경하거나, 운용과 관련된 명령을 제어한다. 감시 대상의 세부 상태 정보(Detailed Monitoring)를 설정하거나 변경한다.
- Maintenance commands: 유지보수 및 테스트와 관련된 기능으로 하위시스템에 설정 정보를 전달하거나, 설정 명령의 실행 과정의 정보를 수집한다.
- File transfer commands: 하위시스템에 접속하여 대용량의 파일을 교환하는 기능으로 소프트웨어 설치 파일이나 설정 파일을 전송하고, 로그 정보를 수집한다.

Fig. 7은 KCS에서 명령을 전송하는 과정을 나타낸다. 명령은 중요도에 따라 Critical command와 Non-critical command로 구분되며, 각각의 명령 처리 과정이 상이하다. Non-critical command는 운용자가 명령을 입력하면 즉시 명령을 실행한다. 그러나 운용자의 실수로 인해 KASS 동작에 위험을 초래할 수 있는 명령은 Critical command로 분류하고, 명령 입력 시 다른 운용

Table 2. MMI color definition for KASS status monitoring.

Color	Asset status (states/modes)	Activity status	Alarm status
Green	Operational/Active, nominal, OK	Successfully, completed	N/A
Yellow	Operational intermediate modes (Loaded, Initialized, Running)	On-Going	Minor alarm
Orange	Degraded	N/A	Major alarm
Red	Failed	Failed	Critical alarm
Blue	No data received, Stalled	N/A	N/A
Gray	Maintenance state, Unknown, Not used, Off	N/A	N/A

**Fig. 7.** Commanding flow for critical & non-critical commands of KASS.

자에 의해 명령을 재 확인하는 과정을 추가로 수행한다. 명령이 실행되면 CCF 내에서 명령 실행을 보류하고, 다른 운영자의 UIC 화면에서 팝업 창이 표시된다. 해당 운영자는 명령 내용을 확인하고 이상이 없는 경우 명령을 확정한다. 이후 CCF는 하위시스템으로 명령을 전달한다.

3.1.4 MIMO

KASS 시스템의 임무성능을 감시하는 기능으로 보정정보가 신뢰할 수 있는지에 대한 서비스 성능을 감시도록 설계하였다. SBAS 신호의 사용에 관한 규정 및 표준인 ICAO (2006)와 RTCA (2006)를 준수하여 설계되었다. 7개소의 KRS에서 수신한 GPS 데이터와 SBAS 정보를 입력 받아 정확성, 무결성, 연속성 성능을 계산하고 최종적으로 가용성 성능을 계산하여 각 성능 지표를 그래프 형태로 운영자에게 제공한다. MIMO와 관련된 상세한 설계 및 구현 내용은 Won et al. (2023)에서 확인할 수 있다.

3.1.5 NOTAM I/F

KASS의 운용 상태 정보를 NOTAM Service Provider에게 제공

하는 기능을 설계하였다. 외부의 NOTAM 발행자에게 KASS 상태와 관련한 기초 정보를 제공한다. 전송되는 정보는 가용한 KRS 목록과 상태 정보 및 위치, 위성 목록과 상태 정보, GPS 위성의 almanacs이다.

3.1.6 Archive

KASS 내부에서 생성하고 수집한 모든 정보를 파일로 저장하여 관리하는 기능을 구현하였다. KCS는 하위시스템으로부터 상태정보와 이벤트, 로그를 수신하고, KCS 자체의 처리 정보를 파일로 기록한다. 저장은 Legal archive, Online archive, Offline archive의 3단계로 구성되며, Fig. 8은 KCS 내부에서 데이터를 수집하고 저장하는 과정을 나타낸다. 최초의 데이터는 Legal archive에 기록되며 30일치를 보관한다. Legal Archive의 데이터는 설정된 주기에 따라 정기적으로 Online archive로 전달되며, 여기서는 90일치의 데이터를 보관한다. 추가적으로 Online archive는 원격지 KCS의 데이터를 수집하여 누락된 데이터가 없도록 통합(Consolidation) 작업을 수행한다. Offline archive는 Online archive에서 수집 및 생성한 3종의 데이터를 저장 및 보관한다. Offline archive의 데이터 저장 용량은 하루 최대 10 Giga

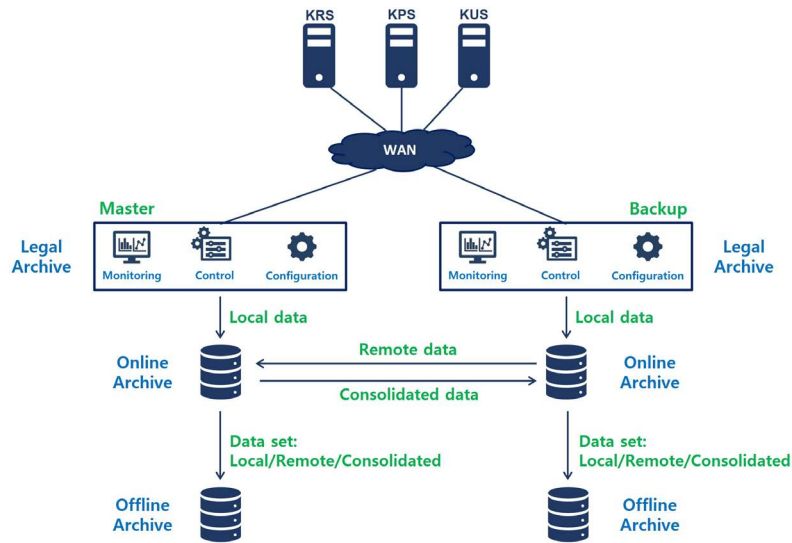


Fig. 8. Data gathering and archive logic.

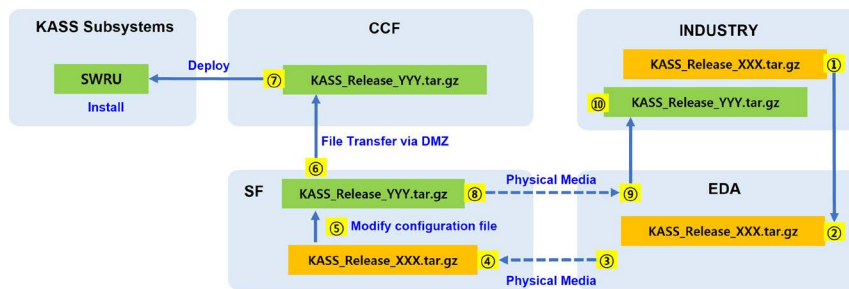


Fig. 9. Configuration deploy process.

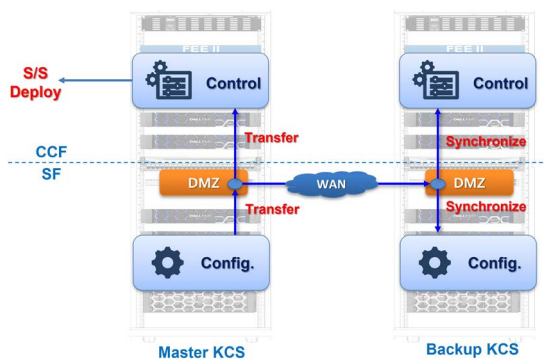


Fig. 10. Configuration deploy process.

bytes 데이터를 20년간 보관할 수 있도록 설계하였다. 설계된 저장 기능을 통해 2식의 KCS는 상시 동일한 데이터를 저장 및 보관한다.

3.1.7 Configuration Manage

SF에서는 KASS 설정 정보를 Database (DB)로 보관하고 관리한다. 외부로부터 형상정보를 수신하여 내부 DB에 기록하고, 저

장된 형상정보를 외부로 내보내는 기능을 수행한다. 그리고, 하위시스템에 적용할 형상을 변경하거나 배포한다. 이러한 형상의 수집, 배포 및 관리 기능에 대하여 설계하였다. Fig. 9는 개발사 (Industry)로부터 형상 파일을 수신하고 하위시스템에 배포하는 과정을 나타낸다. Industry와 EDA는 인터넷으로 연결되어 형상 파일을 온라인으로 교환한다. EDA와 SF는 네트워크가 단절되어 있어, EDA에서 수집된 형상 파일은 물리적 저장 매체를 사용하여 SF에 입력된다. SF에서 수신한 파일은 CCF에 전달되고, CCF의 Control 기능으로 하위시스템에 배포된다.

3.1.8 De-Militarized zone (DMZ)

시스템의 형상정보를 관리하는 기능은 SF의 A&C에서 담당한다. 반면 하위시스템으로 형상을 배포하고 적용하는 기능은 CCF의 M&C가 수행한다. A&C와 M&C의 기능이 동일 장비 내에 동작하거나 데이터를 공유하게 되면, 운용자가 의도하지 않은 형상이 배포될 수 있다. 이를 방지하기 위해 CCF를 SF로부터 분리하고, 데이터 공유나 직접적인 전달이 불가능하도록 DMZ를 설계하였다. SF의 형상정보는 Fig. 10과 같이 반드시 DMZ를 통하여 CCF에 전달되며, 더불어 원격지 KCS의 DMZ에 전달되어 데이터 동기화를 수행한다.

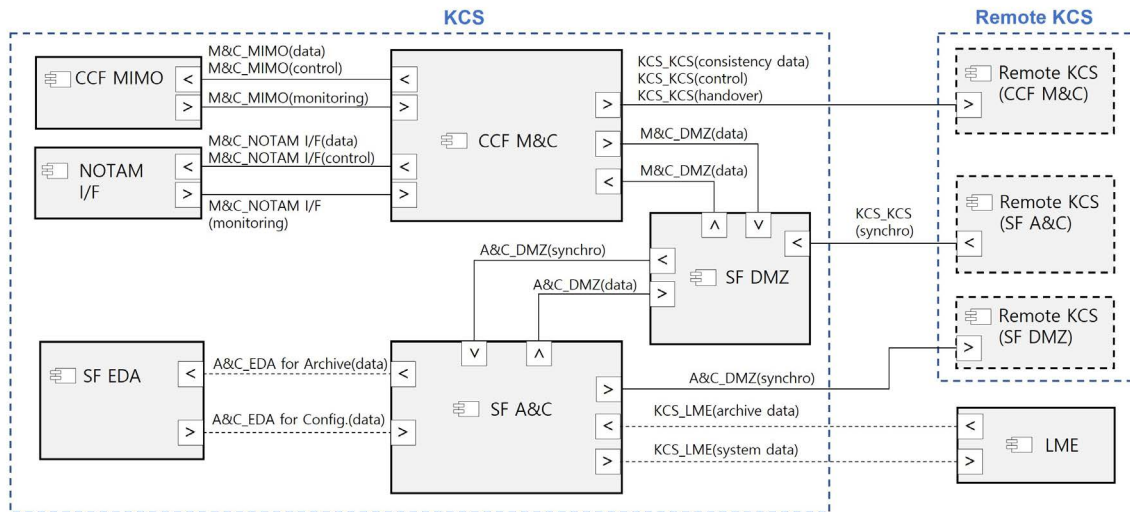


Fig. 11. KCS internal interface design.

3.1.9 EDA

KASS 운영을 위한 외부 참조 데이터(Reference data)를 수집하여, 내부로 입력하는 기능을 설계하였다. 참조 데이터를 제공하는 기관의 서버에 접속하여 정기적으로 데이터를 수집하고, 개발사에서 제공하는 형상 정보를 수집하여 SF로 전달한다. 외부 인터넷 망과 연결되어 동작하며, 외부 침입으로부터 KASS 보호를 위해 KCS 네트워크와 단절된 독립 Workstation으로 구성한다.

3.1.10 UIC & UIS

UIC는 M&C, MIMO, NOTAM I/F 서비스 모니터링 및 제어 기능을 수행하는 사용자 인터페이스이다. Critical command의 실행과 승인을 위해 2대로 구성한다. UIS는 형상관리, 저장관리 기능을 수행하는 사용자 인터페이스이다.

3.1.11 CMS & LME

CMS와 LME는 KCS의 M&C 기능을 수행하며 독립적인 Laptop 장비에서 동작한다. CMS는 하위시스템 개발 및 검증을 위한 시뮬레이터 기능이고, LME는 하위시스템 장비의 유지 및 보수를 위한 도구이다.

앞서 정의한 기능을 종합하여 KCS 내부의 인터페이스를 Fig. 11과 같이 설계하였다.

3.2 Physical Design

KCS는 모듈러(Modular) 설계 방식에 따라 교체 가능하도록 서버를 분리하였으며, 소프트웨어를 독립적으로 실행할 수 있도록 설계하였다. Fig. 12는 KCS의 물리적 구성을 나타낸다.

CCF는 M&C, MIMO, NOTAM I/F 서버와 UIC 워크스테이션으로 구성되고, CCF 네트워크 스위치에 접속되어 SF 및 외부 네트워크와 연결되도록 구성하였다. UIC 워크스테이션을 도입하

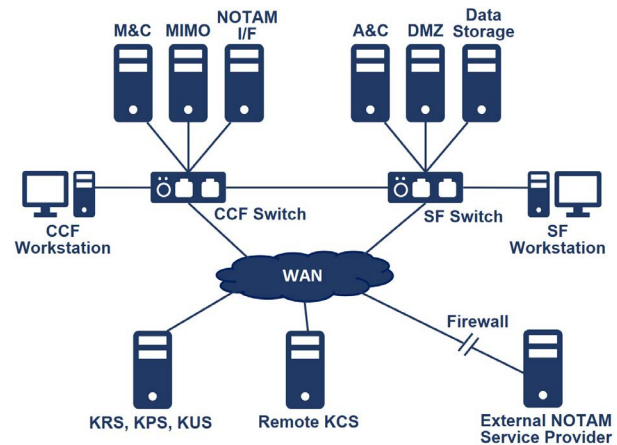


Fig. 12. Physical architecture of KCS.

여 사용자 인터페이스와 KCS 기능을 분리하였다. UIC는 명령 이중 확인을 위해 2대로 구성하여 Critical Command에 대한 단일 Operator의 실수를 방지하였다.

SF는 A&C, DMZ, Data Storage 서버와 UIS, EDA 워크스테이션으로 구성하며, SF 네트워크 스위치에 접속된다. 하루 10G 데이터를 기준으로 20년치 데이터를 보관할 수 있도록 대용량 Data Storage를 구성하였다. UIS 워크스테이션은 2대로 각각 형상관리와 저장관리를 위한 사용자 인터페이스를 구성하였다. EDA는 외부 인터넷에 연결되므로 KCS와 네트워크를 단절하여 독립적인 EDA 워크스테이션으로 구성하였다.

CCF와 SF는 물리적으로 분리되어 DMZ 서버를 통해 파일을 교환하고 원격지 KCS와도 파일을 공유한다. 각각의 네트워크 스위치는 WAN에 연결되어 KRS, KPS, KUS 등의 하위시스템과 통신하고, 원격지 KCS와 동기 정보를 교환한다. 더불어 방화벽을 구성하여 외부 NOTAM service provider와 단방향 연결을 구성하였다.

전원은 이중화하여 공급하며, 네트워크 구성은 보안 사항으로 본 논문에서 설명하지 않는다.

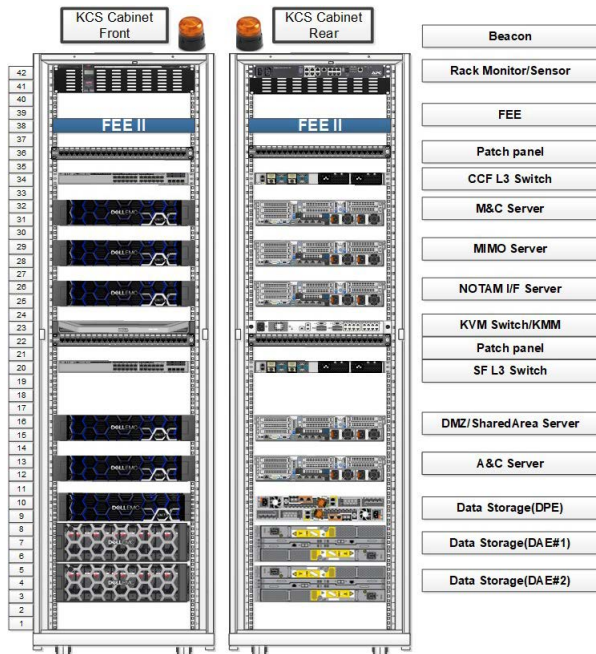


Fig. 13. KCS cabinet.

4. IMPLEMENTATION

4.1 Hardware

KCS 물리적 설계에 따라 하드웨어를 구성하였다. KCS의 요구사항과 European Commission (CE), Electromagnetic Compatibility (EMC), Restriction of Hazardous Substances Directive (RoHS), Waste Electrical and Electronic Equipment Directive (WEEE), Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (REACH) 규정을 준수하는 장비로 선정하였다.

Fig. 13은 구성된 KCS 형상을 나타낸다. 기본적인 서버는 상단부터 M&C, MIMO, NOTAM I/F, DMZ, A&C, Data Storage가 위치한다. 그리고 네트워크 장비로 Front End Equipment (FEE), CCF와 SF용 L3 스위치가 있다. 이외에도 부가적인 구성요소가 존재한다. KVM Switch/KMM은 각 서버에 연결되어 화면을 전시하는 모니터와 마우스 및 키보드 입력으로 구성된 장비이다. Rack Monitor/Sensor는 KCS 캐비닛 내부 온도 및 습도를 측정하여 운용자에게 전송하는 장비이다. 캐비닛 상단에 설치되어 정면에서 현재 온도와 습도를 화면에 표시한다. 더불어 캐비닛 상단의 알람 비콘과 연결되어 있으며, 온도 관련 문제 발생시 불빛을 반복적으로 점멸하여 운용자에게 시각적 경보 정보를 제공한다. Patch Panel은 서버 및 워크스테이션의 네트워크 케이블 연결 포트를 전면에 배치하여, 기계적 연결 편의성을 확보하였다.

4.2 Software

KCS 소프트웨어는 Microsoft 사의 Visual Studio 환경에서 C#, C++의 프로그래밍 언어로 개발되었다. 서버에서 구동되는

소프트웨어 (M&C, MIMO, A&C)는 Redhat Enterprise Linux 운영체제에서 구동되며 .NET Core를 기반으로 한다. 워크스테이션 소프트웨어(UIC, UIS, EDA)는 Windows 10 운영체제에서 구동되며 .NET Framework를 기반으로 한다. 서버와 워크스테이션 소프트웨어에서 공통 기능을 수행하는 요소는 동일한 소스코드로 컴파일하며, 서로 호환 가능한 .NET Framework과 .NET Core 런타임에서 동일한 동작을 보장한다.

KCS 소프트웨어 중 CCF의 메인 GUI 구성은 Fig. 14와 같으며, Fig. 15는 세부 메뉴 구성을 나타낸다. 상단에 세부 기능에 접근 가능한 메뉴가 위치하고, 가운데는 각 하위시스템의 상태를 색상으로 표시한다. 하단에는 하위시스템에서 생성한 이벤트와 알람 정보를 표출하며, 우측에 현재 시각과 서비스 상태, 사용량 등의 요약 정보를 보여준다.

5. VERIFICATION

제작된 KCS가 요구사항 (Comelli 2017b) 및 ICD (Comelli 2017a)에 부합하게 구현되었는지 점검하기 위해, 통합 및 검증 시험을 진행하였다. ECSS의 검증 및 시험 관련 표준 (ECSS 2009c, ECSS 2012)을 준수하여 시험 계획과 방법, 환경을 사전에 정의하고, 계획에 기준하여 검증 시나리오 및 절차서를 작성하였으며 요구사항의 만족 여부를 점검하였다.

5.1 Verification Environments

실제 KCS와 동일 형상으로 시험환경을 구성하여, KCS 검증 활동을 수행하고 잠재적인 오류를 조사하였다. Fig. 16은 시험 환경의 물리적 구성을 나타낸다. KCS 2식을 사용하였으며 KRS, KPS, KUS 등 하위시스템과 KCS 간 연결을 모사하기 위해 KASS Subsystem (S/S) Laptop을 추가하였다. 실제 네트워크 운영환경을 L3 Switch로 모사하여 KCS#1 및 KCS#2와 KASS S/S Laptop 간 연결을 구성하였다.

Fig. 17은 KCS 시험환경의 논리적 구성도를 나타낸다. 파란색 부분이 검증 대상이며, KASS S/S Laptop 내에 검증 도구를 설치하여 시험 환경을 구성하였다. Local M&C Simulator (LMS)는 하위시스템의 연결 상태 및 데이터 교환을 모사하는 기능을 담당한다. KRS Message Simulator for MIMO는 KASS 임무성능 감시 기능을 검증하기 위한 도구로 사전에 저장된 KRS 데이터를 재생 (Replay)하여 GPS 및 SBAS 정보를 KCS에 입력한다. 이외의 나머지 도구는 상용품으로 데이터 교환과 시각동기를 위한 기능을 제공한다.

5.2 Verification

시험은 통합과 검증으로 나누어 수행하였다. 통합 시험에서는 인터페이스 테스트를 수행하였다. ICD에 정의된 프로토콜 규약에 따라 하위시스템 간 데이터 송수신 및 통신 채널의 정상적인 동작 여부를 확인하며, KCS 내부 구성요소 간의 인터페이스 시험과 외부 구성요소(KRS, KPS, KUS 등)과의 인터페이스

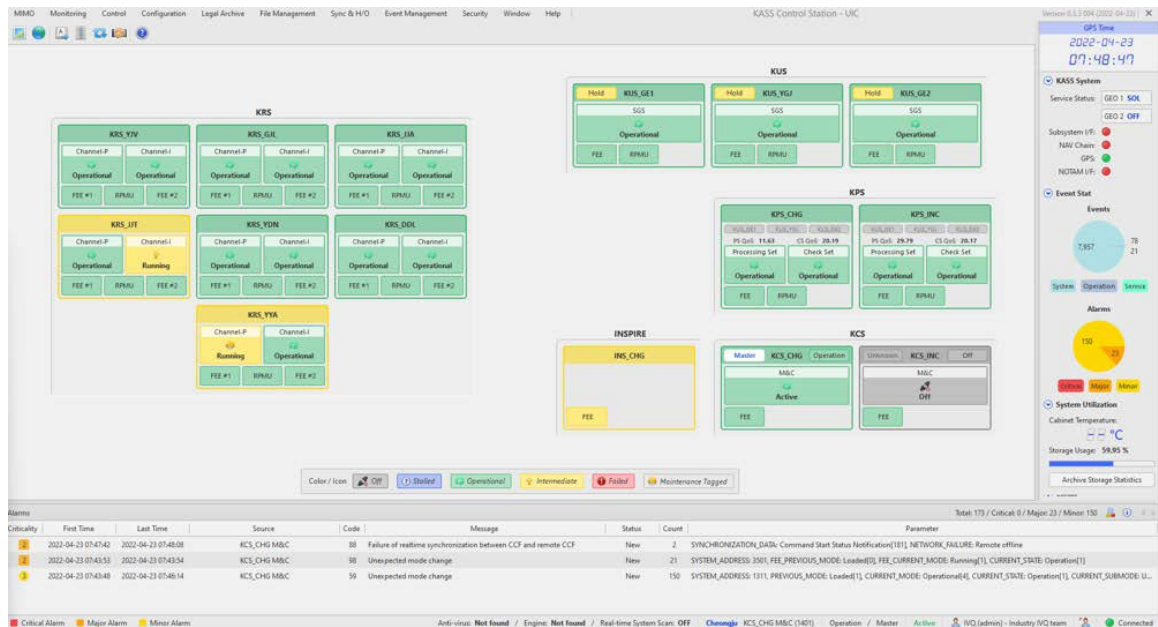


Fig. 14. Main GUI in CCF.

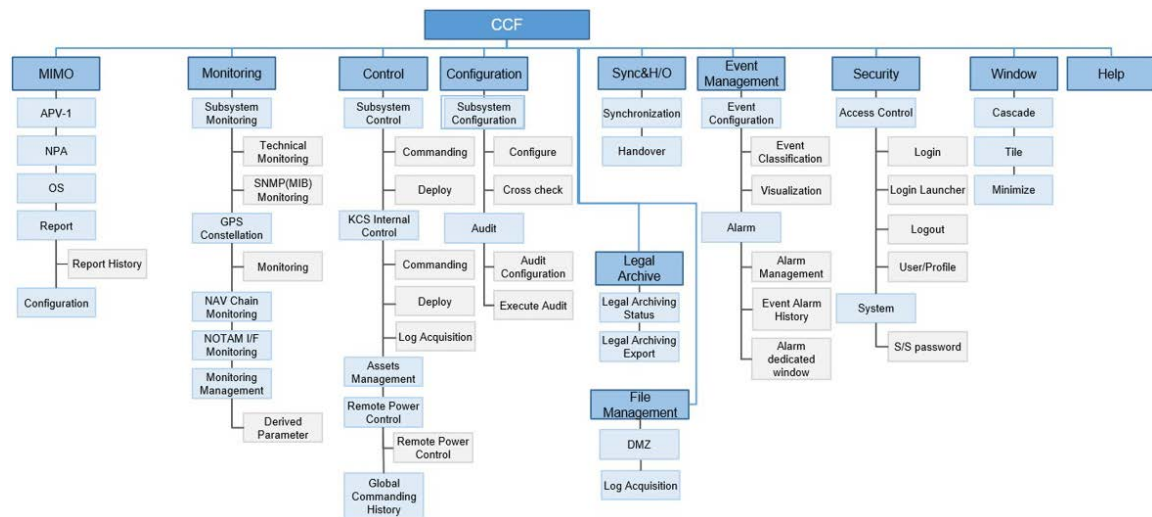


Fig. 15. Software menu tree for CCF.

시험을 진행하였다. 검증 시험은 요구사항 대비 만족 여부를 사전 정의된 시험 방법을 기준으로 수행하였다. 검증 방법은 검사 (Inspection), 분석(Analysis), 설계검토(Review), 시험(Test)로 분류하여 수행하였다. 상세한 KCS 검증 방법에 대해서는 Kim et al. (2021)을 참고하기 바란다.

KCS의 공식 검증 활동은 2회에 걸쳐서 수행되었다. 2021년 10월에 1차 시험(2개월)을 수행하였으며, 일부 실패 항목이 식별되어 수정 보완 후 2022년 5월에 2차 시험(1개월)을 수행하였다. 시험은 총 395건(통합 시험 115건, 기능시험 253건, 비기능시험 5건, 성능시험 22건)이 수행되었다. 시험으로 검증이 불가능한 항목 중 검사는 4건으로 설치 환경 구성, 보안 및 안전, 제품 설계 및 개발에 해당한다. 분석은 총 8건이 있으며, 저장 견고성, 일반 요구사

항, 실패 허용도, 시스템 확장 능력, 제품 설계와 관련한 요구사항이다. 마지막으로 설계검토는 총 45건이 수행되었으며, 환경 및 제약 조건, 운영 요구사항, RAMS, 외부 환경 인터페이스 요구사항 등이다.

5.3 Acceptance

수락 시험의 목적은 최종 하드웨어 및 소프트웨어 제품에 제작 결함이 없고, 요구사항을 만족하여 실제 운용 환경에서 사용할 준비가 되었음을 입증하는 것이다. 수락 시험은 상위 시스템 조직과 KCS 개발조직 사이에 사전 협의된 검증 절차로 수행하였다. 제작한 장비와 형상의 이상 유/무를 점검하기 위한 육안 검사,

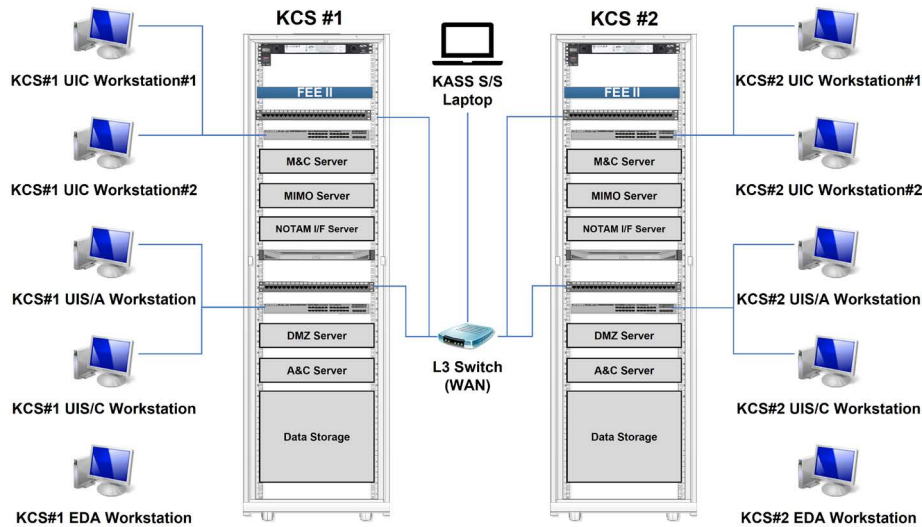


Fig. 16. KCS test environment: physical configuration.

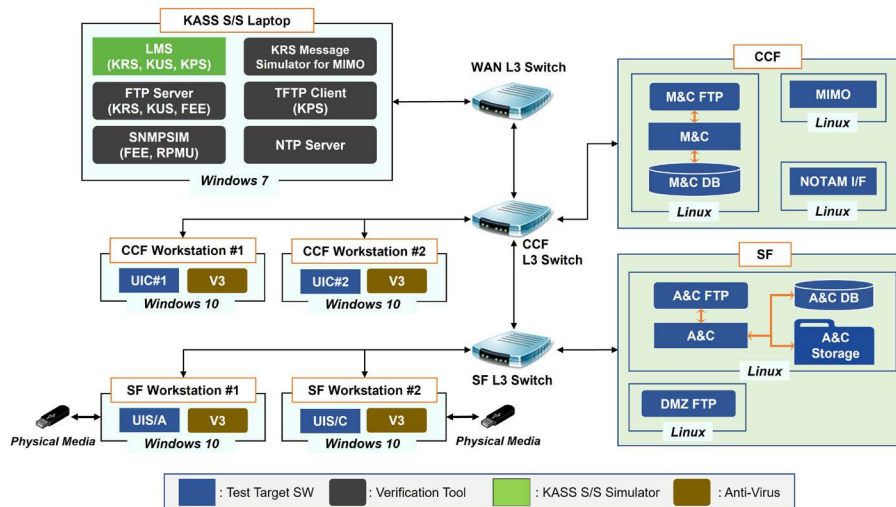


Fig. 17. KCS test environment: logical configuration.

유지보수 절차 시험, KCS 동작 상태를 검사하기 위한 기능 시험으로 구성하였다.

KCS는 현장 운용장비 2식, 예비장비 1식, 통합시험환경 구성용 1식으로 총 4식이 제작되었다. 각각의 KCS 장비에 대하여 개별적인 수락 시험을 수행하였으며, 정상 동작이 확인되어 수락시험이 완료되었고, 2022년 11월에 현장에 설치되었다.

6. OPERATION & MAINTENANCE

개발된 KCS에 대해서 의도한 기능이 정상적으로 수행될 수 있도록 운용 절차가 필요하며, 정상적인 운용을 위한 예방 정비 및 고장 정비 활동에 대한 절차가 운용자에게 제공되어야 한다. 운용 및 유지보수 절차서 작성은 KCS 개발과 병행하여 진행되었

으며, 각 마일스톤을 거치며 설계와 구현 내용이 반영되며 점진적으로 완성되었다.

6.1 Operation

KCS 운용을 위해서 시스템 시작부터 종료에 이르는 기본 절차와 각 기능을 동작하기 위한 세부 절차를 수립하였다. 운용자는 수립된 운용 절차서를 기반으로 운용 목적을 이해하고, 관련 기능의 동작 조건(State, Mode, Sub-mode 등)에 대해 파악하여 순서대로 절차를 수행해야 한다. 또한 각 운용 단계에 필요한 주의사항에 대한 정보 제공이 필요하며, 운용 시 흔히 발생하는 오류를 사전에 예방하기 위해 각 상황에 적절한 절차를 기술해야 한다. 이러한 운용 전반에 대한 절차를 운영 매뉴얼로 작성하였다. Fig. 18과 같이 화면에 대한 상세 설명과 각 버튼의 동작 방식을

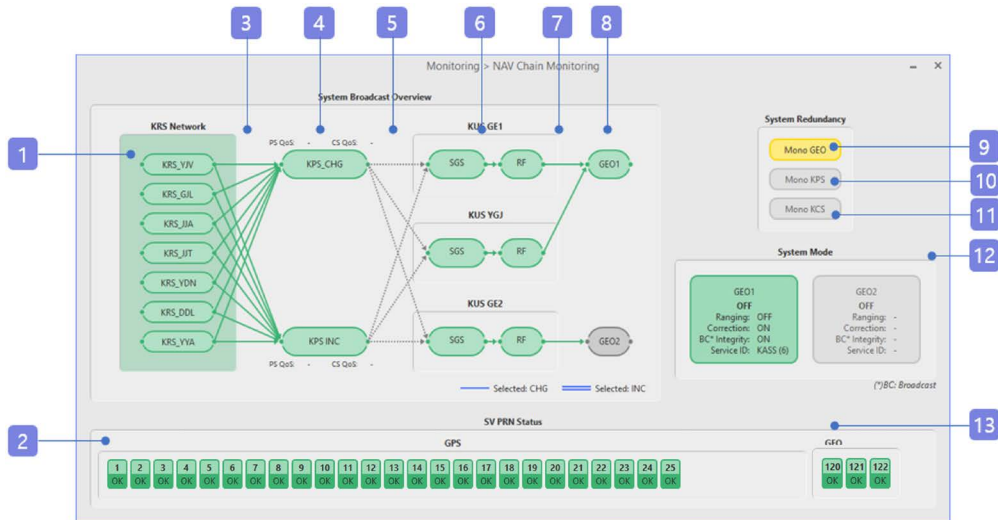


Fig. 18. Example of GUI description in KCS operation manual.

안내하고, 각 임무 별 운용 절차를 제공하여 운용자가 주요 기능을 활용할 수 있도록 세부 절차를 포함하였다. 세부 항목으로는 시스템 시작 및 종료, 형상의 배포 및 관리, Master-Backup 전환 (Handover), 시각 동기, 데이터 저장 및 추출, 외부 참조 데이터 획득, 백업 등의 절차가 있다.

또한 KCS 운용자는 하드웨어 및 소프트웨어의 오류 및 장애 상황을 식별하고, 발생한 장애에 대한 조치를 취해야 한다. 경우에 따라 장애사항을 운용 중인 시스템으로부터 격리해야 한다. 이러한 장애 상황에 대비하여, 운영자가 조치할 수 있는 Troubleshooting 절차가 작성되었다. 운용 장비에서 장애가 발생할 경우에 대하여 이를 식별하기 위한 LED, Event, Error Message에 대하여 현상을 설명하고 조치 방법을 기술하였다.

6.2 Maintenance

KCS의 안정적인 운용을 위해서는 정기적인 점검이 필요하며, 장애가 발생한 하드웨어 및 소프트웨어가 수리되어야 한다. 유지보수 절차서는 시스템의 안정적인 운영을 위해 실시되는 유지보수 작업을 설명하고 이 작업들은 서버 및 워크스테이션 등의 물리적 구성요소와 소프트웨어를 대상으로 수행된다. 유지보수는 예방 정비와 고장 정비로 구분하며, 예방 정비 절차는 장비의 외관을 검사해 LED의 정상 여부를 확인하거나 외관의 먼지 제거 등 정기적으로 수행되는 작업 중심으로 작성되었다. 고장 정비는 작동 중인 하드웨어 및 소프트웨어의 초기 설치 또는 장애가 발생한 경우 수행되는 절차를 설명하였다. 유지보수 작업 시 절차에 명시된 도구와 작업 조건을 준수해야 하며, 일반 안전 규칙과 전기 안전수칙에 따라 수행되어야 한다. 특히, 하드웨어의 유지보수 작업 중 작업자의 부상과 장비의 손상을 방지하기 위해서는 각 절차의 사전 요구사항과 주의사항을 안내하였다.

유지보수 활동에 필수적인 KCS 자산 정보를 식별하고, 구성 장비와 소프트웨어를 각 수명 주기에 맞게 관리하기 위한 Logistic Support Data File (LSDF)를 작성하였다. 이를 바탕으로

운용 및 유지보수 매뉴얼과 연동해서 효율적인 조달 계획을 수립하였다. LSDF 문서는 세부적으로 다음 5가지의 내용을 포함하여 원활한 유지보수 활동을 가능하게 하였다.

- Logistic Breakdown Structure (LBS): 교체 가능한 단위의 하드웨어 및 소프트웨어의 종류와 품명 정보
- Logistic Support Analysis Report (LSAR): 교체 가능한 단위의 하드웨어와 소프트웨어의 유지보수 분석 결과 및 유지보수 절차의 특성과 수행 주기
- Item List: 장비의 규격, 무게, 포장, 취급, 저장 방법 등 정의
- Manufacturer: 제조사 정보 및 연락처
- Maintenance Task analysis: 유지보수 절차의 사전 요구사항 (Pre-requisite), 수행 조건, 필요 도구, 주의사항

6.3 Packing, Handling, Storage & Transportation (PHS&T)

KCS를 구성하는 장비 및 부품의 포장, 취급, 저장, 이동 방안을 PHS&T로 작성하였다. 개발 환경에서 운용 현장으로 장비를 이동하는 절차에 대해 설명하며, 진동과 충격에 민감한 전자 장비와 부품들에 대해 완충재를 보완하고 안전하게 적재하여 포장하는 방법 등을 정리하였다. 또한 각 포장 단위에 대하여 차량 탑재, 이동, 하역 절차를 기술하였다. 운용 현장의 환경적 요소를 분석해 보관에 필요한 적정 온도, 습도 등의 환경 조건이 준수되는지 확인하는 절차를 포함한다.

7. OTHER ACTIVITIES

KCS의 설계 및 제작, 검증, 운영에 이르는 과정에서 반드시 병행되어야 하는 업무가 있다. KCS 개발 품질 향상을 위한 업무로 KCS SoW (Germa 2017a)에 정의되어 있다. 이번 장에서는 관련한 개발 형상관리, RAMS, 품질 보증 과정에 대해서 설명한다.

7.1 Configuration Management

ECSS의 형상관리 기준 (ECSS 2009a)과 KCS SoW (Germa 2017a)에 정의되어 있는 형상관리 요구사항에 근거하여, 관리 기준을 수립하고 관리 대상을 식별하였다. 형상 변경을 추적 관리하고 최종 형상의 기능과 물리적 완전성을 검증하는 것을 목표로 수행되었다. KCS에서 형상 관리 대상은 개발 산출물로 제품, 문서, 소스코드, 개발 도구 등을 모두 포함하였다. 형상 및 변경 관리를 위하여 고유 명칭과 번호를 할당하여 식별자를 부여하고, 제품 구조를 기반으로 Configuration Identification (CI)를 식별하였다. 생성된 형상 항목 간의 정합성을 확인하고, 형상 검증 절차를 통하여 검증을 수행하였다. 형상 점검 내역을 Configuration status accounting report 문서에 기록하고 관리하였다.

7.2 RAMS

설계, 제작, 운용과 관련된 모든 안전 위험이 안전성 보증 활동을 통해 파악 및 평가되어, 위험 요소를 통제하여 시스템 안전 요구사항을 충족할 수 있도록 하였다. 안전 위험 요소에 대하여 정성적/정량적 분석을 바탕으로 위험성 평가를 진행하였으며, 위험 감소 우선 순위 및 잔여 위험 통제 방안을 수립하는 안전성 관리 업무를 수행하였다. 개발 과정에서 식별되는 Non-Conformance Report (NCR), Request for Deviation & Waiver (RFD/W)에 대하여 안전성 관점에서 평가를 수행하고, 안전 관련 요구 사항의 설계 반영 여부를 검토하였다. 또한, 안전과 관련하여 위험 요소 파악, 감소, 제어를 반복적으로 수행하였다.

설계 단계 별 주요 안전성 보증을 위한 업무를 식별하고 수행하였으며, 안전성 보증 파일(Safety Assurance File), RMAS 보고서 등에 안전성 보증 내용을 기록하였다. 안전성 및 의존성 권고 사항에 대하여 KCS의 설계 또는 운용간 위험요소를 식별하고, 식별된 위험요소의 경감을 확인하여 KCS 안전성을 위한 개선사항을 제안하며, 위험요소의 경감 및 안전성 개선 사항의 수행 과정과 효율적인 검토 과정을 추적유지하기 위하여 Dependability and Safety Recommendation status Log (DSRLog)를 작성하였다.

RAMS 분석과 관련하여, 신뢰도 분석 모델은 Department of Defense가 발행한 Reliability Prediction of Electronic Equipment (DoD 1995)를 기준으로 부품 부하 분석(Part stress analysis)을 수행하였다. 신뢰도 분석과 정비도 분석 결과를 활용하여 가용도를 산출하였으며, ECSS의 가용성 분석 표준 (ECSS 2008)을 인용하였고 산출 방법은 Eq. (1)을 적용하였다.

$$Availability = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad (1)$$

여기서, MUT 는 정비 후 운용 평균 시간, MDT 는 서비스 중단과 재개 사이의 평균 시간을 나타낸다. 정비 업무 분석은 정비 업무별 소요시간을 산출하여 보수정보의 평균 복구 시간 (Mean Time To Repair, $MTTR$)을 산출하였으며, 산출식은 Eq. (2)와 같다.

$$MTTR = \left(\frac{1}{\lambda_{Total}} \right) \times \sum_{i=1}^n (\lambda_i \times TTRS_i) \quad (2)$$

여기서, λ_i 는 i 번째 품목의 고장율, $TTRS_i$ 는 i 번째 품목의 서비스 복구 시간을 의미한다.

7.3 Product Assurance

제품 보증 활동은 개발품이 안전하고 유효하며, 신뢰할 수 있는 방법으로 정의된 임무 목표를 완수하는 것을 보장하는 것이 주 목적이다. KCS 전체 품질 보증 및 개발된 소프트웨어에 대하여 품질 보증의 목표를 달성하는데 필요한 방법을 수립하고, Table 1의 Space Product Assurance 표준과 품질 요구사항을 준수하였다. 그리고 품질을 저해할 수 있는 모든 문제에 대해 조기 발견 및 시정 조치 활동을 목표로 수행되었다.

품질 보증 활동은 개발 일정에 맞추어 요구사항이 정확히 구현되었는지 점검하였다. 요구사항 준수 점검 방법은 1) 정기적, 비정기적 산출물에 대한 동료검토 결과 확인, 2) 정기적 품질보증 활동(요구사항 추적관리, Critical Item Control, Risk Management, ONCR 점검 등) 수행, 3) 단계별 감사 활동 수행, 4) 계획 문서에 정의된 계획을 준수하여 구현되었는지, 검증하고 관리, 5) Test에 참여하여 요구사항 반영여부 확인 등으로 정의하였다. 제품 보증 활동의 달성을 위해 개발 과정에 대한 독립적인 감독을 수행하였다.

8. 향후 위성항법 개발에 대한 제언

KASS는 국내 최초로 국제 규격을 준수하여 개발한 위성항법 시스템이며, 관련 기술력 부재로 시행착오를 경험하였다. 이에 KCS 개발 과정에서 경험한 바를 토대로, 향후 국내 위성항법 개발 분야에 도움이 될 수 있는 제언을 하고자 한다.

8.1 기술분야

1) 인터페이스 시뮬레이터 구성

일반적인 위성항법시스템은 원격지의 GPS 신호 수집 장비와 위성 신호 송신 장비가 위치하고, 특정 위치에 데이터 처리 및 운영장비를 배치한다. 시스템의 특성상 운영국에서는 원격지의 모든 장비의 상태 감시 및 제어를 수행한다. 즉, 다수의 인터페이스와 연동하므로 그 수와 종류가 다양하며, 시스템 통합 과정에서 잠재적인 인터페이스 불일치 및 충돌 요소가 존재한다. 시스템 개발 단계에서는 각 하위시스템 간의 연계 시험이 불가하다. 운영국의 인터페이스 연동 기능만으로 한정된 소프트웨어를 별도로 제작하고, 이를 일반 Laptop 수준에서 동작 가능한 시뮬레이터로 개발하여 사전 연동 시험을 수행하는 것을 제안한다.

이를 통해 얻을 수 있는 이점이 다수 존재한다. 우선 다수의 하위시스템과 연계되어, 인터페이스 연동 시 발생하는 잠재 오류를 사전에 해소할 수 있다. 설계 단계에서 식별되지 않는 인터페이스 충돌이나 연계 정보의 부족을 사전에 식별하여 설계에 조기 반영할 수 있다. 그리고 실 장비 개발 및 검증에 있어서 개발의 완성도를 향상시킬 수 있고, 더불어 개발 기간을 단축할 수 있다. 개발된 시뮬레이터는 향후 시험 및 검증 단계에서 간결한 시험 환경 구성을 가능하게 하며, 운영 단계에서는 운용자 훈련 도구로 활용 가능하다. 따라

서 인터페이스 부분을 프로토타입으로 1차 구현하여 개발의 성숙도 향상을 제안한다.

2) 장비 가상화 도입

위성항법 운영 시스템은 제어 및 감시 기능 뿐만 아니라, 형상관리, 저장관리, 항법성능 감시 등의 다양한 기능을 수행한다. 다수의 서버를 운용하기 위해서는 부수적인 연동 장비가 필요하며, 물리적/논리적 연결에 관한 설계와 세부 연결 절차, 유지보수 및 고장 수리 절차가 수립되어야 한다. 더불어, 장비 구매 비용 및 전력 사용량 증가로 운영 비용이 상승한다.

기술의 발전과 더불어 서버의 처리 능력이 향상되고, 가상화 기술이 발전하였다. 최소한의 서버를 구축하여 각각의 기능을 가상 운영체제 하에 설치하는 방법을 제안한다. 물리적인 독립이 아니더라도, 단일 하드웨어 내에 독립적 가상환경을 구성하여 논리적으로 기능과 동작의 구분이 가능하다. 장비 설치 및 관리 편의성과 경제성이 향상될 수 있다.

3) Web 접속기반 GUI 환경 구성

KCS는 서버와 워크스테이션의 연결 구성으로 동작한다. 워크스테이션에서 동작하기 위한 별도의 응용 소프트웨어가 설치되어 운용된다. 이로 인해, 서버 기능이 변경될 때마다, 워크스테이션의 소프트웨어도 함께 변경되고 재 설치되어야 한다. 워크스테이션의 기능을 최소화하고, 서버에 웹 브라우저로 접속하여 동작하는 방법을 제안한다. 운용자 GUI의 변경을 보다 효율적이고 유연하게 처리할 수 있다. 개발 과정의 기능 변경이 수월하고, 운용시에 유지보수의 이슈가 현저히 감소한다. 또한, 웹 브라우저 구동이 가능한 저사양의 장비로 구성이 가능하므로 운영 비용을 절감할 수 있다.

4) Cyber Security

다양한 형태의 보안 위협이 증가하고 있다. 위성항법시스템을 네트워크 폐쇄망으로 구성하여도, 불순한 의도의 접근이나 의도하지 않은 물리 매체의 연결로 인해 시스템에 접근이 가능하다. 이로 인해 시스템 고장 및 이상 동작이 발생하며, 서비스 장애 및 큰 혼란을 초래할 수 있다. 향후 개발 시 보안 전문가의 개발 참여가 필수적이며, 개발 전반에 보안 위협 요소 식별 및 대응이 방안이 수립되어야 한다.

8.2 개발 조직 및 인력

1) 체계관리(System Engineering)과 기술개발의 분리

KCS 개발 시에 체계관리 경험이 부족하여 명확한 개발 계획을 수립하고 개발을 추진하는데 어려움이 존재하였으며, 이로 인해 개발 일정이 일부 지체되었다. 개발 기준/표준을 준수하여 체계적으로 개발을 관리할 수 있는 숙련된 체계관리 조직과 위성항법 기술의 높은 전문성으로 기술을 개발하는 조직이 분리되면 개발의 효율성을 향상시킬 수 있다. 체계관리 하에 개발 관리와 요소기술 개발을 분리하는 조직 구성이 바람직하다.

2) 운영 조직의 개발 참여

시스템 개발의 궁극적인 방향은 운영이다. 개발된 시스템을 활용하여, 목표한 임무를 수행하기 위한 운용 활동이 필요

하다. 운용 준비는 개발 착수와 동시에 고려되어야 하나, 국내는 개발 정서 상 운용에 대한 고려가 부족하다. 운영국 개발을 위해서는 반드시 운영조직의 요구사항 입력과 개발 검토가 함께 수반되어야 한다. 시스템 개발이 중점이 되어서는 안되며, 실질적인 운용을 고려하여 운용이 편리하고, 효율적이며, 동작의 모호성이 없도록 개발되어야 한다. 이를 방지하기 위해서는 개발 초기에 반드시 운영개념이 정립되어야 하고, 이를 기반으로 설계가 진행되며, 동시에 운용 방법도 점진적으로 구체화되어야 한다. 반드시 시기 적절하게 운용 조직이 수립되어 개발에 참여해야 한다.

3)인력 양성

위성항법 분야 대형 사업의 계획 및 관리를 위해 체계관리 경험이 풍부한 인력의 확보가 최우선 되어야 하며, 동시에 관련 인력의 양성이 병행되어야 한다. 위성항법 지식과 시스템 엔지니어링 전문성을 두루 보유한 인력이 대형 사업의 개발 방향성을 수립할 수 있다. 국내 위성항법 분야는 요소 기술의 전문성을 보유한 인력을 보유하고 있으나, 체계관리에 있어서는 상대적으로 인력층이 두텁지 못하다. 학계 및 산업계에서는 체계관리가 가능한 인력의 배출 및 양성에 노력이 필요하다.

9. CONCLUSIONS

우리나라는 위치 정보를 보다 정확하고 신뢰성 높게 활용할 수 있도록 한국형 SBAS인 KASS를 개발하고 있다. KASS 시스템 중에 KCS는 KASS 서비스 상태를 실시간으로 감시 및 제어할 뿐만 아니라 하위시스템의 상태 정보를 수집 및 관리하고, 동시에 KASS 운용을 위한 형상관리, 저장관리 등의 운용 전반에 필요한 기능을 수행한다.

본 논문에서는 KCS의 설계에서부터 구현, 시험, 검증에 이르는 개발 과정을 소개하였다. KCS 개발 방법을 기술하며 개발 표준, 마일스톤, 요구사항, 인터페이스 기준에 대하여 제시하였고, 할당된 요구사항을 바탕으로 주요 기능 설계와 물리적 설계 및 하드웨어 및 소프트웨어 제작 내용을 기술하였다. 이후 개발품의 검증 환경, 절차, 결과에 대하여 다루고, 개발된 운영과 유지보수 절차에 대하여 설명하였다. 더불어 개발과정에서 경험한 내용을 토대로 향후 위성항법 사업의 수행에 있어서 유익한 기술개발 및 조직 구성에 대한 제언을 하였다.

KASS 개발은 국가적 사업으로 국내 최초로 국제 표준을 준수하여 개발한 위성항법 보강시스템이다. 개발 과정에서 축적된 기술은 학계를 비롯하여 산업계 전반에 파급되어 국내 위성항법 분야 발전에 토대가 되어야 한다. KASS 개발의 성과는 향후 국내 위성항법 분야의 지상시스템 개발에 있어서 참고 및 기준 자료로 높은 가치가 있다. 더불어, 국내 위성항법 개발에 중요한 사료적 가치가 있으므로 학계 및 산업계에 개발 결과를 공유하는데 중요한 의미를 지닌다. 따라서 본 논문이 국내 위성항법 사업에 기초 자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 연구는 국토교통부 국토교통과학기술진흥원 항공안전기술 개발사업 연구비지원 (21ATRP-A087579-08)에 의해 수행되었습니다.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization, D.Won, C.Choi and E.Lee; methodology, D.Won, H.Cho, J.Kim; software, J.Kim and Y.Song; validation, H.Cho, D.Jang, E.Jang, H.Lim and H.Sung; formal analysis, D.Won, C.Choi and E.Lee; investigation, D.Won, D.Jang and E.Jang; resources, D.Won, H.Lim, H.Sung and J.Choi; data curation, D.Won, H.Lim, H.Sung and J.Choi; writing—original draft preparation, D.Won, H.Lim, H.Sung and J.Choi; writing—review and editing, D.Won, E.Lee, H.Cho, and J.Kim; visualization, D.Won; supervision, D.Won and E.Lee; project administration, E.Lee; funding acquisition, E.Lee.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- Comelli, G. 2017a, KCS ICD, KASS-TASF-ID/0005-0007582870
- Comelli, G. 2017b, KCS Subsystem Requirements Document, KASS-TASF-RQ/0005-0007598657
- DoD 1995, Reliability Prediction of Electronic Equipment, Department of Defense, MIL-HDBK-217F
- ECSS 2008, Availability analysis, European Cooperation for Space Standardization, ECSS-Q-ST-30-09C
- ECSS 2009a, Space Project Management: Configuration and information management, European Cooperation for Space Standardization, ECSS-M-ST-40C
- ECSS 2009b, Space Project Management: Project planning and implementation, European Cooperation for Space Standardization, ECSS-M-ST-10C
- ECSS 2009c, Space Engineering-Verification, European Cooperation for Space Standardization, ECSS-E-ST-10-02C
- ECSS 2012, Space Engineering-Testing, European Cooperation for Space Standardization, ECSS-E-ST-10-03C
- ECSS, European Cooperation for Space Standardization, cited 2023 May 4, available from: <https://ecss.nl/standards/>
- Germa, C. 2017a, KASS Control Station Statement of Work, Thales Alenia Space, KASS-TASF-SOW/0005-0008072097
- Germa, C. 2017b, KASS MMI Guideline, Thales Alenia Space, KASS-TASF-TN/0005-0008257661
- Germa, C. 2017c, KASS Operational/Maintenance Concept Document, Thales Alenia Space, KASS-TASF-RQ/0005-0007598657
- IBM, Engineering Requirements DOORS Family, cited 2023 May 4, available from: <https://www.ibm.com/products/requirements-management>
- ICAO 2006, International Standards and Recommended Practices - Annex 10: Aeronautical Telecommunications - Volume I Radio Navigation Aids: Vol. Annex 10 (6th edition), International Civil Aviation Organization.
- Kim, K., Won, D. H., Park, Y., & Lee, E. 2021, A Study on the Verification Method for KASS Control Station, Journal of Positioning, Navigation, and Timing, 10, 221-228. <https://doi.org/10.11003/JPNT.2021.10.3.221>
- MSIP 2016, Enforcement Decree of Software Promotion Act, Ministry of Science, ICT and Future Planning, Presidential Decree No. 27751
- MSIP 2017, Exceptional Project to Restrict Participation in Public Software Business by Large Corporations, Ministry of Science, ICT and Future Planning Notice No.2017-42
- RTCA 2006, Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Satellite-Based Augmentation System Airborne Equipment (RTCA DO-229D): Vol. Change 1, RTCA. <http://www.rtca.org>
- Son, M., Yun, Y., & Lee, B. 2022, Development Status of Operation Concept and Procedures for KASS, Journal of Positioning, Navigation, and Timing, 11, 51-58. <https://doi.org/10.11003/JPNT.2022.11.1.51>
- Won, D., Kim, K., Lee, E., Kim, J., & Song, Y. 2023, Development of Real-time Mission Monitoring for the Korea Augmentation Satellite System, Journal of Positioning, Navigation, and Timing, 12, 23-35. <https://doi.org/10.11003/JPNT.2023.12.1.23>



Daehee Won is a senior researcher at Korea Aerospace Research Institute (KARI) and has been working on development of KASS Control Station since 2016. He received Ph.D. degree in Aerospace Engineering from Konkuk University (Rep. of Korea) for the research on navigation sensor integration and its performance analysis. He was a postdoctoral researcher at University of Colorado at Boulder for the development of navigation algorithm for low earth orbit satellite. His research interests include GNSS augmentation

and multi sensor integration.



Chulhee Choi is a senior researcher in the Satellite Ground Station R&D Division at Korea Aerospace Research Institute (KARI). He received his B.S., and M.S. degrees in control and measurement engineering from Daegu University (South Korea), in 2009, and 2011, respectively. His current research interests include GBAS facility approval and SBAS ground system implementation and operation, the related precise positioning.



Eunsung Lee received his Ph.D. degrees in Aerospace Engineering from Konkuk University, Korea in 2005. He is a principal researcher at the Korea Aerospace Research Institute and has been in charge of the development of KASS ground segments as well as SBAS satellite payload since 2014. His research areas include GNSS augmentation systems, fault detection of GNSS systems and orbit determination of satellites.



Hantae Cho is a director at Korea Telecom (KT) and has been working on consulting and project management at Enterprise Business Unit. He received B.S. degree in Industrial Engineering from Suwon University, Korea. He led and managed on design and verification, integration of KASS Control Station since 2017.



Dongik Jang is an assistant director at Korea Telecom (KT) and has been working on design and integration for network and system at Enterprise Business Unit. He received the B.S. and M.S. degree in Information and Communication Engineering from Kyungpook National University, Korea. He has been working on integration and technical support of KASS Control Station since 2019.



Eunok Jang is an assistant director at Korea Telecom (KT) and has been working on assurance and qualification of projects at Enterprise Business Unit. She received the B.S. Associate degree in Division of Business Administration and Accounting from Yeungnam University College, Korea. She has been working on product assurance and qualification

part of KASS Control Station since 2021.



Heetaek Lim is a manager at Korea Telecom (KT) and has been working on design and implementing system at Enterprise Business Unit. He received the B.S. degree in Electric and Electronical Engineering at Dankook University, Korea. He has been working on verification and validation part of KASS Control Station since 2020.



Ho Sung Lee is a manager at Korea Telecom (KT) and has been working on design and implementing system at Enterprise Business Unit. He received the B.S. degree in Biosystems Engineering at Seoul National University, Korea. He has been working on design part of KASS Control Station since 2020.



Jungja Kim is a chief researcher at Korea Cyber Engineering Innovation (KCEI) for 22 years and has been working on development and project management at the Modeling and Simulation Research Institute. She received B.S degree in Electronic Computational Engineering (Computer Engineering) from Kwandong University, Korea. She has been working on development of KASS Control Station since 2019.



Joohap Choi is a researcher at Korea Cyber Engineering Innovation (KCEI) for 16 years and has been working on verification and project management at the Modeling and Simulation Research Institute. He received B.A. degree in Economics from Incheon University, Korea. He has been working on the verification of KASS Control Station S/W since 2019.