

한국형발사체 추진기관시스템 시험설비(PSTC) 통합제어시스템

김동기* · 이정호* · 조기주* · 심주영**

Main Control System of Propulsion System Test Complex(PSTC) for KSLV-II

Dongki Kim* · Jungho Lee* · Kiejoo Cho* · Juyoung Shim**

ABSTRACT

The Propulsion System Test Complex(PSTC) was constructed for the verification test of each stage's propulsion system of KSLV-II. Main Control System(MCS) is the system to operate the onboard equipment and the ground equipment of the PSTC simultaneously. This paper describes the critical design, the development status, and test results of Main Control System. The MCS will be used for the interface connection between ground control systems and onboard equipment. Test sequence and operation process of the Work Manager will be conducted by MCS.

초 록

한국형발사체 각 단 추진기관시스템의 성능 검증을 위해 나로우주센터에 추진기관시스템 시험설비(PSTC, Propulsion System Test Complex)가 구축되었다. 본 논문은 PSTC 지상설비와 발사체 운용 및 제어를 위해 개발된 통합제어시스템(MCS, Main Control System)의 설계, 개발 현황, 시운전 결과에 관한 내용이다. MCS는 시험대상체와 지상시스템의 인터페이스에 활용될 예정이며, 시험책임자에 의한 시험운용 및 시퀀스 처리를 수행하게 된다. 또한 시험책임자 모의시험운용에도 활용될 예정이다.

Key Words: KSLV-II(한국형발사체), Propulsion System Test Complex(추진기관시스템 시험설비), Main Control System(통합제어시스템)

1. 서 론

추진기관시스템 시험설비(PSTC, Propulsion

System Test Complex)는 한국형발사체(KSLV-II) 각 단별 추진기관시스템의 성능검증을 위해 나로우주센터에 구축된 설비이다[1~4]. PSTC 지상설비 운용 및 시험대상체의 제어/상태감시/이력관리 등을 위해 제어시스템이 구축되었다. PSTC 제어시스템은 크게 지상설비 제어시스템과 발사체 제어시스템으로 구분되며, 각 제어시스템의

* 한국항공우주연구원 발사체추진기관체계팀

** 현대로템(주) 무인체계팀

† 교신저자, E-mail: dkkim@kari.re.kr

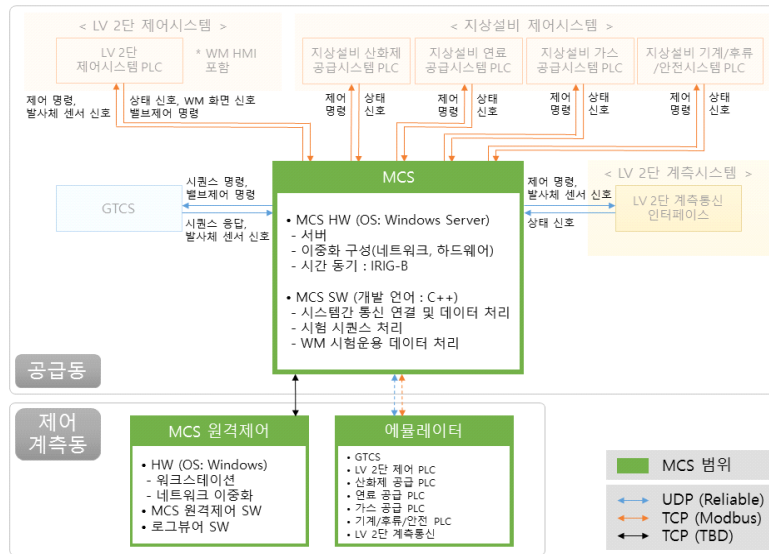


Fig. 1 Schematic of Main Control System(MCS)

PLC(Program Logic Control)는 하나 혹은 그 이상의 서브시스템 제어를 수행한다. PSTC 제어시스템은 서브시스템별로 복잡한 제어로직을 가지고 있고, 지상설비와 발사체 내의 제어 대상과 끊임없이 명령과 신호를 주고받는 복잡한 인터페이스 구조를 가지고 있다. 추진기관시스템 시험에는 발사체내의 각종 전자탑재장비(Avionics)와 PSTC 제어시스템 연동을 위해 전자탑재장비 지상점검시스템(GTCS, Ground Test and Checkout System)이 활용된다[5]. 따라서 GTCS와 PSTC 제어시스템간 인터페이스가 가능하며, 발사체와 지상설비를 통합 운용 할 수 있는 통합제어시스템(MCS) 개발이 필요하다.

본 논문은 MCS 설계 및 개발 현황, 단독 및 연동 시운전을 결과를 기술하였다. 개발되는 통합제어시스템은 다음과 같은 기능을 수행해야 한다. 첫째, 시험운용 시퀀스 처리를 할 수 있어야 한다. 둘째, 시험책임자에 의한 시험통제를 할 수 있어야 한다. 셋째, GTCS, 제어시스템, 계측시스템과 연동되어 관련 데이터를 처리할 수 있어야 한다. 넷째, 연계되는 시스템과의 연동 테스트를 통해 관련 기능을 테스트 할 수 있어야 한다. 다섯째, 시험책임자가 모의시험운용을 통하여 트레이닝을 할 수 있어야 한다.

2. 설계

2.1 통합제어시스템 구성

MCS는 크게 'MCS 주장비', 'MCS 원격제어장비', '에뮬레이터'로 구성되며 각 장비를 운용하기 위한 소프트웨어가 탑재된다. Fig. 1은 MCS의 전체적인 구성을 나타내는 시스템 구성도이다. MCS 장비 구성(MCS 주장비, MCS 원격제어장비, 에뮬레이터) 및 활용장소, 연동되는 시스템 연동 구성, 적용되는 통신 연결방식 및 프로토콜, 각 연동시스템 간 데이터 종류가 표현되어 있다.

MCS 주장비는 MCS 주요 기능을 수행한다. MCS의 주요 기능은 시험 시퀀스 처리, 시험책임자에 의한 시험운용, GTCS와의 통신 처리, 제어시스템(LV 2단/지상설비)과의 통신처리, 계측시스템과의 통신 처리이다. MCS는 GPS 시간동기(IRIG-B)가 적용될 수 있도록 구성하였으며, 연동되는 시스템(GTCS, 제어시스템, 계측시스템)이 있는 공급동 2층 제어계측장비실에 배치하였다.

MCS 원격제어장비는 제어계측동 제어계측실(Control Room)에 설치되며, 제어계측동 운용콘솔에 위치한 운용자가 PSTC 공급동에 설치되어 있는 MCS 주장비를 원격으로 제어하기 위하여 구성된 장비이다.

에플레이터는 연동시스템의 통신을 모사하며, MCS 기능의 자체 테스트 및 연동시스템과의 연동 테스트 시 활용을 위한 장비이다. 에플레이터는 테스트 등의 활용성을 고려하여 이동이 가능한 휴대용으로 개발하였다.

2.2 인터페이스 설계 및 통신 규격

MCS는 GTCS(GTCS 망), 발사체/지상설비 제어시스템(제어시스템 망), 지원장비(계측시스템 망) 등과 Ethernet 방식으로 연동되며, 각각의 연동장비들과 이중화된 네트워크로 구성된다. MCS와 연동장비 사이의 연결방식 및 프로토콜 타입을 표1 에 간략히 정리하였다.

MCS와 GTCS와의 통신 프로토콜은 항공우주 연구원에서 개발된 UDP(Reliable)가 적용되었다. 이는 시험발사체 및 한국형발사체 발사 임무시 발사준비제어시스템(LV PACS, Launch Vehicle Preparation Automated Control system)[6]과 지상장비 제어시스템(TE ACS, Technological Equipment Automated Control System)[7]에 사용될 프로토콜과 동일하다. 발사체/지상 제어시스템과는 TCP(Modbus) 통신 프로토콜을 적용하였다. 계측통신시스템, 비상정지시스템 등과는 UDP(Reliable) 프로토콜을 적용하였다.

Table 1. Network and Protocol Types of MCS

연동시스템 및 연결장비		연결 방식	프로토콜
GTCS (전자탑재장비 지상점검시스템)		Ethernet	UDP (Reliable)
발사체 제어시스템	LV 2단 제어시스템 PLC	Ethernet	TCP (Modbus)
지상설비 제어시스템	산화제 공급시스템 PLC		
	연료 공급시스템 PLC		
	가스 공급시스템 PLC		
	기계/후류/안전 시스템 PLC		
지원장비	계측통신시스템 비상정지시스템 고속카메라 음성카운터	Ethernet	UDP (Reliable)

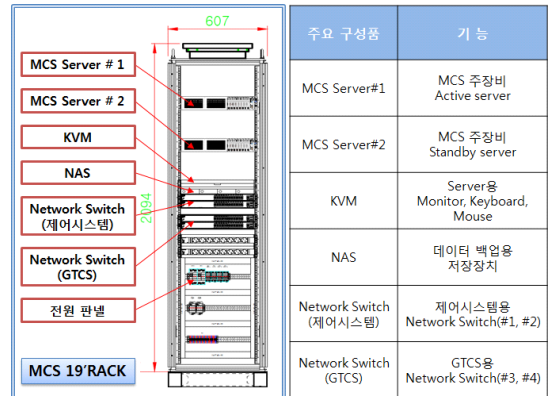


Fig. 2 Configuration of MCS Hardware

3. 개발 현황

3.1 주요 구성품 하드웨어 개발

Figure 3은 MCS 주장비와 주요 구성품의 구성도이다. 운용의 안정성을 위해 MCS 주장비는 이중화된 서버로 구성된다. 정상상황에서는 MCS Server#1이 Active로 운영되며, 장비 결함이나 네트워크 불량 등 비정상상황 식별 시 Server#2가 Active로 자동절체 되어 안정적으로 시험종료를 수행할 수 있도록 구현하였다.

설비운용 및 시험운용 중 MCS 주장비에서 처리되는 모든 정보와 데이터를 저장하기 위해 NAS(Network Attached Storage) 시스템을 RAID1으로 구현하였다. KVM은 공급동(제어계측장비실)에서 MCS Server#1/#2를 제어하기 위해 MCS 주장비 랙에 설치되며, 랙 슬라이스 타입의 모니터/키보드/마우스로 구현하였다. Network Switch는 제어시스템 망, GTCS 망 이중화를 위해 각각 2개씩 총 4개의 스위치로 구성되었다.

제어시스템 운용에서 안정적인 전원공급은 매우 중요하다. MCS 주장비 운용을 위한 전원은 PSTC 무정전전원공급장치(UPS, Uninterruptible Power Supply)로부터 공급받으며, 전원패널을 통해 각 구성품에 전원을 공급하도록 구성하였다.

연소시험(Hot-Firing Test)으로 인한 진동으로부터 MCS 주장비와 주요 구성품을 안전하게 보관하기 위해 랙 하단에 방진패드가 적용된 19인치 랙을 사용하였다.

3.2 운용프로그램(소프트웨어) 개발

MCS 장비별(주장비, 원격제어, 에플레이터)로 각각 운용 소프트웨어가 개발되었다. 로그 뷰어 소프트웨어는 공용으로 개발되었으며, 소프트웨어 개발언어는 C++를 활용하였다.

3.2.1 MCS 주장비 소프트웨어

MCS 운용을 위해 Fig. 3과 같이 ‘메인 소프트웨어’, ‘시험 시퀀스 처리 소프트웨어’, ‘시험책임자 운용 관련 소프트웨어’, ‘통신 관련 소프트웨어’, ‘이벤트 및 로그 소프트웨어’를 개발하였다.

‘메인 소프트웨어’는 ‘MCS 주장비’ 운용 관련 기본 기능을 수행하는 소프트웨어이다. 세부기능으로 시스템 설정, 각 모듈의 시스템 초기화 수행, 시스템 이중화 관련 상태(통신 등) 평가 및 처리, MCS 주장비 상태 및 통신 상황 감시 및 보고, 사용자 인터페이스 항목 처리, 통신 프로토콜 관련 설정 적용 등의 기능을 수행한다.

‘시험 시퀀스 처리 소프트웨어’는 발사체/지상설비 서브제어시스템의 시험운용 시퀀스 관련 처리를 수행하며, ‘WM 운용 관련 소프트웨어’는 시험책임자(WM, Work Manager) 시험 운용을 위해 구현되어 있는 HMI(Human Machine Interface) 화면의 메시지를 처리를 수행한다.

‘통신 관련 소프트웨어’는 MCS와 연동되는 모든 시스템과의 통신을 처리하는 소프트웨어로, 연동시스템 관련 데이터 처리 등 통신 프로토콜 관련 처리를 담당한다.



Fig. 3 Computer Software Configuration Item(CSCI) of MCS

‘이벤트 및 로그 소프트웨어’는 시스템 로그(통신 정보, 시스템 오류 등)를 처리하고 데이터베이스에 연결 및 로그 저장/불러오기 등을 수행한다.

3.2.2 MCS 원격제어 소프트웨어

MCS 원격제어장비 운용을 위해 Fig.4와 같이 ‘메인 소프트웨어’, ‘통신 관련 소프트웨어’, ‘이벤트 및 로그 소프트웨어’를 개발하였다.

‘메인 소프트웨어’는 ‘MCS 원격제어장비’ 운용 관련 기본 기능을 수행하는 소프트웨어로, 사용자인터페이스(GUI, Graphic User Interface) 항목 처리를 수행한다. ‘통신 관련 소프트웨어’는 MCS 주장비와의 통신 처리 기능을 수행한다. ‘이벤트 및 로그 소프트웨어’는 시스템 로그(통신 정보, 시스템 오류 등)를 처리하고 데이터베이스에 연결 및 로그 저장/불러오기를 수행한다.

3.2.3 에플레이터 소프트웨어

에플레이터 운용을 위해 Fig.5와 같이 ‘메인 소프트웨어’, ‘시스템 모의관련 소프트웨어’, ‘통신 관련 소프트웨어’를 개발하였다.

‘메인 소프트웨어’는 ‘에플레이터’ 운용 관련 기본 기능을 수행하는 소프트웨어로, 사용자인터페이스 항목 처리를 담당한다.

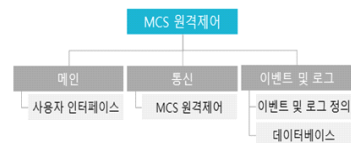


Fig. 4 CSCI of MCS Remote Control System



Fig. 5 CSCI of MCS Emulator

‘시스템 모의관련 소프트웨어’는 서버제어시스템의 연동시험 및 시뮬레이션 운용을 위해 연동시스템의 명령/신호/데이터를 모의한다. ‘통신관련 소프트웨어’는 MCS 주장비와의 통신 처리기능을 수행한다. 각 통신 대상과의 프로토콜 정의, GTCS 관련 모사 데이터 처리, 발사체/지상제어시스템 관련 모사 데이터 처리를 수행한다.

4. 시운전

4.1 MCS 단독시험

MCS 단독시험은 외부 연동 없이 자체적으로 통신 처리, 운용 시퀀스 처리, 시스템 이중화 동작 등을 수행하여 MCS 기능이 정상적으로 동작하는지를 검증하기 위한 테스트이다.

외부 연동 부분은 Fig. 6과 같이 연동시스템의 통신을 모사하는 에뮬레이터를 활용하였다. 이때 에뮬레이터는 연동되지 않는 모든 시스템(GTCS, 모든 제어시스템, 계측시스템)을 모사하도록 설정하여, MCS가 정상적으로 단독시험을 수행할 수 있도록 하였다.

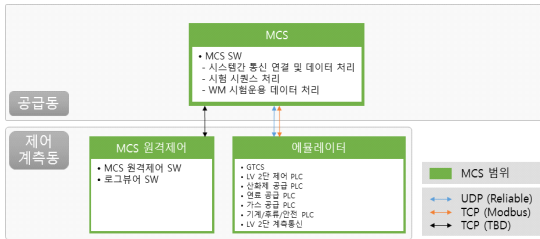


Fig. 6 Configuration of Functional Test of MCS

4.2 MCS 연동시험

MCS와 연동되는 GTCS, 제어시스템, 기타 지원장비(계측시스템 등)와 각각 별도로 연동하여 통신 및 동작 등 기능을 점검하였다.

제어시스템의 경우 다수의 제어기(PLC)와 연결되며, 각각의 PLC는 다수의 서브시스템으로 구성되어 있다. 이와 같은 구성을 고려하여 제어시스템은 세분화하여 연동 테스트를 진행하였다. 제어시스템과의 연동시험의 경우 MCS와 하나의

서버제어시스템을 연결하는 단독 연동시험, 다수의 서버제어시스템을 연결하는 부분 연동시험, 제어시스템 전체를 연동하는 전체 연동시험으로 세분화하여 테스트를 진행하였다.

4.2.1 MCS-GTCS 연동시험

발사체 전자탑재장비, 추진기관 EPV(Electric Pneumatic Valve) 등 발사체와의 인터페이스를 담당하는 GTCS와의 연동 시험을 Fig. 7과 같이 수행하였다. 통신 프로토콜 시험, 데이터리스트 송수신 시험, 시스템 이중화 시험을 진행하였다.

외부 연동 부분은 Fig. 8과 같이 에뮬레이터를 활용하였다. 에뮬레이터는 연동되는 않는 모든 시스템(제어시스템, 발사체 2단 계측시스템)을 모사하도록 설정하여, MCS 주장비가 전체 시스템이 연결된 상황으로 인식하도록 구성하였다.

통신 프로토콜 시험을 통해 설정, 데이터 패키지 구조, 데이터 종류별 동작 등 MCS와 GTCS 간 프로토콜의 정상 동작 여부를 확인하였다. 데이터 리스트 송수신 시험을 통해 MCS와 GTCS가 주고받는 명령과 주기/비주기 데이터의 정상 송수신을 확인하였으며, Aging Test를 통해 통신 안정성을 확인하였다. 마지막으로 시스템 이중화 시험을 통해 절체 상황 시 정상 동작 여부를 확인하였다.

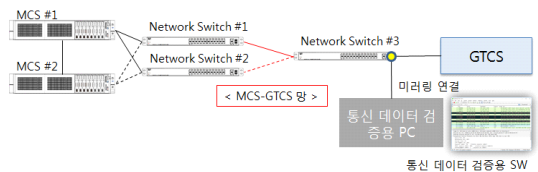


Fig. 7 Diagram of MCS-GTCS Interface Test

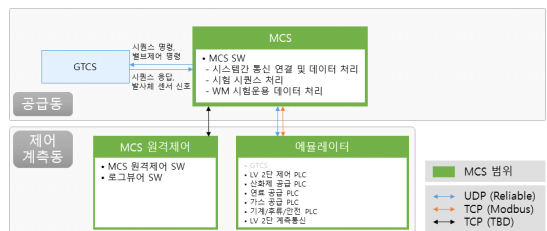


Fig. 8 Configuration of MCS-GTCS Interface Test

4.2.2 MCS-서브제어시스템 단독 연동시험

Figure 9와 같이 지상설비/발사체 2단 제어시스템의 단일 서브시스템과의 연동시험을 수행하였다. 데이터 처리 검증 시험, 통신 시험, 시스템 이중화 시험으로 크게 세 가지 항목으로 연동시험을 진행하였다.

발사체산화제시스템과 MCS의 단독 연동시험 상황을 가정하여 시스템 연동 부분을 Fig. 10과 같이 나타냈다. 외부 연동은 에플레이터를 활용하였다. 이때 에플레이터는 연동되는 않는 모든 시스템(GTCS, 연동되지 않는 서브제어시스템, 발사체 2단 계측시스템)을 모사하도록 설정하여, 정상적으로 단독 연동시험을 수행 할 수 있도록 하였다.

서브시스템의 알고리즘과 연동하여 명령/신호/데이터 송수신 및 정상 처리 여부를 확인하였다. MCS와 제어시스템 간 통신 시험을 통해 TCP(Modbus) 프로토콜의 동작 여부를 확인하였다. 또한 시스템 이중화 시험을 통해 절체 상황 시 자동절체 성능을 확인하였다.

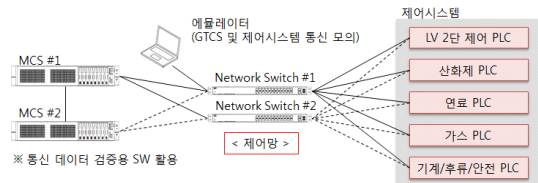


Fig. 9 Diagram of Interface Test between MCS and Control Systems

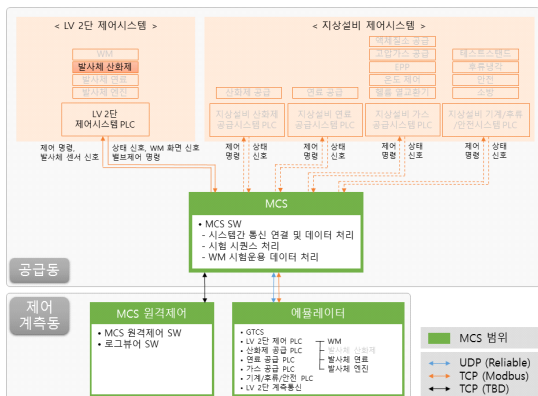


Fig. 10 Configuration of Interface Test between MCS and Ocon(LV Oxidizer Control System)

4.3 MCS-계측시스템 연동시험

Figure 11과 같이 MCS와 계측시스템, MCS와 비상정지시스템, MCS와 고속카메라, MCS와 음성카운트 간의 연동 시험을 수행하였다. 통신 시험, 시스템 이중화 시험, 데이터 처리 검증 시험 등 세 가지 항목으로 연동시험을 진행하였다.

MCS와 계측통신시스템과의 연동시험을 Fig. 12와 같이 수행하였다. 에플레이터는 연동되는 않는 모든 시스템(GTCS, 전체 제어시스템)을 모사하도록 설정하였다. 이와 같은 설정은 MCS 주장비가 전체 시스템이 연결된 상황으로 인식하게 하여, 정상적으로 계측시스템과 연동시험을 수행 할 수 있도록 한다.

통신 시험을 통해 MCS와 지원장비 간 프로토콜 동작과 통신 리스트 정상 송수신을 확인하였다. 지원장비 중 계측시스템과 비상정지시스템은 이중화 구성되어 있고, 타 시스템은 단일 네트워크로 구현되었다. 계측시스템과 비상정지시스템은 시스템 이중화 시험을 통해 장비 결함이나 네트워크 불량 등 비정상상황 식별 시 자동절체 됨을 확인하였다. 데이터 처리 검증 시험을 통해 명령/신호/데이터가 정상적으로 처리됨을 확인하였다.

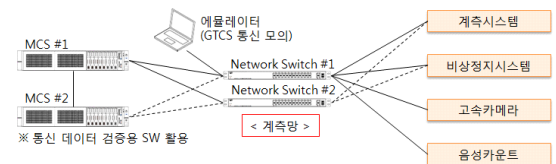


Fig. 11 Diagram of MCS with Measurement System, Emergency System, High Speed Camera, and Voice Counter System for Interface Test.

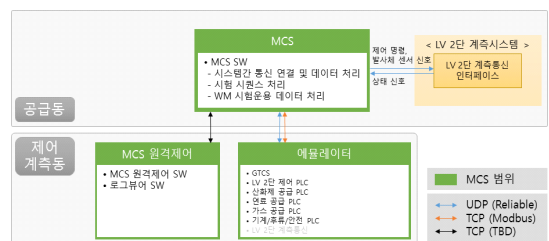


Fig. 12 Configuration of Interface Test between MCS and Measurement System

5. 결론

PSTC 통합제어시스템 설계 및 개발 현황과 시운전 결과를 기술하였다. 통합제어시스템을 'MCS 주장비', 'MCS 원격제어장비', '에플레이터'로 구성하였으며, 각 장비를 운용하기 위한 소프트웨어를 개발 탑재 하였다.

MCS 주장비는 시험 시퀀스 처리, 시험책임자에 의한 시험운용, GTCS/제어시스템/지원장비와의 통신 처리 등 MCS 주요 기능을 수행하며, 공급동 2층 제어계측장비실에 구축하였다. MCS 원격제어장비는 MCS 운용콘솔에서 공급동에 설치되어 있는 주장비를 원격으로 제어하기 위하여 제어계측동에 설치되었다. 에플레이터는 MCS 단독시험 및 연동시험을 위해 연동시스템의 통신을 모사하는 장비로 휴대용으로 개발하였다.

MCS 기능이 정상적으로 동작하는지를 검증하기 위해 단독시험을 수행하였다. 또한 연동시험을 통해 MCS와 연동시스템(GTCS, 제어시스템, 기타 지원장비) 사이의 통신 및 동작 등 기능이 정상적으로 작동함을 확인하였다. 제어시스템과의 연동시험의 경우 단독 연동시험은 수행하였으나, 다수의 서버제어시스템을 연결하는 부분 연동시험과 제어시스템 전체를 연동하는 전체 연동시험은 수행 예정 상태이다.

PSTC MCS는 시험발사체(한국형발사체 2단) 추진기관시스템 종합수류시험을 시작으로 시험발사체와 한국형발사체 각 단의 수류시험 및 연소시험에 활용될 예정이다.

참 고 문 헌

1. 유병일, 김지훈, 조남경, 한영민, "KSLV-II 추진기관 시스템 시험설비 상세설계," 한국추진공학회 추계학술대회 논문집, 2013, pp.583-586.
2. 김동기, 이정호, 김상헌, 김용욱, 조기주, 오승협, "한국형발사체 추진기관시스템 시험설비(PSTC) 개발 현황," 한국추진공학회 춘계학술대회 논문집, 2016, pp.867-871.
3. 김동기, 이정호, 이장환, 조기주, "한국형발사체 추진기관시스템 시험설비(PSTC) 테스트 스탠드 시스템," 한국추진공학회 춘계학술대회 논문집, 2016, pp.863-866.
4. 이장환, 김상헌, 김용욱, 조기주, "한국형발사체 추진기관시스템 시험설비(PSTC) 유공압 시스템," 한국추진공학회 춘계학술대회 논문집, 2016, pp.872-875.
5. 김광수, 서진호, 전영두, 장영순, "한국형발사체 전자탑재장비 발사운용시스템 예비설계," 한국추진공학회 추계학술대회 논문집, 2015, pp.518-523.
6. 서진호, 김광수, 이영호, 이영무, "한국형발사체 발사준비 제어시스템 개념설계," 한국추진공학회 추계학술대회 논문집, 2014, pp.227-230.
7. 장중태, 정일형, 안재철, 문경록, 라승호, 유준, "나로호 발사 시설의 지상 장비에 대한 제어 시스템의 구축," 대한전기학회 학술대회 논문집, 2013, pp.1-2.