

액체로켓 추진기관 원격제어시스템 개발

이 주 열* · 김 재 문* · 김 영 수* · 홍 일 회**

Development of the Remote Control System for Liquid Rocket Propulsion System

Joo-Youl Lee* · Jae-Moon Kim* · Young-Soo Kim* · Il-Hee Hong**

ABSTRACT

The purpose of this work is to introduce the Remote Control System for KSR-III Liquid Rocket Propulsion System. We developed the high reliable Fire control System that needed for long distance control. We carried out a real time remote control and measuring for KSR-III first Liquid Propulsion Rocket in Korea using TCP/IP Ethernet network method and Fiber-optic communication method. Also HMI operation program developed guarantee confidential control, monitoring and analysis for Fire control operation.

1. 서 론

수년 전부터 국내 산업전반에 걸쳐 기존 통신 인프라망을 이용하여 먼 거리에 설치되어 있는 시스템을 제어하거나 모니터링을 하고자 하는 연구가 많이 진행되어 왔다. 뿐만 아니라 최근의 전기전자분야의 비약적 발달에 따라 인터넷워킹 통신망을 이용한 실시간 원격 제어를 하고자 하는 연구 논문들이 많이 발표되고 있다.[1][2]

한편 최근에 관심이 고조되고 있는 국내 우주분야에서도 원격제어 및 모니터링 시스템 개발에 따른 많은 연구들이 선행되어 왔으며, 네트워크망을 구성하여 로켓내부의 데이터에 대한 높은 신뢰성과 정밀도를 요하는 액체추진 로켓의 지상지원 시스템 중 발사통제시스템(Fire Control System, 이하 FCS)에 적용하였다.[3][4] FCS는 위험요소가 많이 내재되어 있는 로켓에 대해 발사대에서 이륙할 때까지 로켓 시스템이 안전하게 이륙할 수 있도록 로켓내부 서브시스템 및 지상지원 시스템을 제어하고 이에 따른

데이터를 모니터링하는 중앙집중식 원격 통제 역할을 하는 시스템을 총칭한다. 따라서 발사통제 시스템은 각종 센서 출력값이나 벨브 작동에 대한 데이터를 서브시스템을 제어하는 제어기로부터 실시간으로 신호를 입력받아 원격지에 위치해 있는 운용자에게 알려줌으로써 원활한 제어가 되도록 한다.

본 연구에서는 우리나라 최초의 액체추진 로켓인 KSR-III(Korea Sounding Rocket, 이하 KSR)의 지상지원 시스템인 발사통제시스템에 광통신 및 TCP/IP 통신방식을 혼용하여 로켓과 원거리에 떨어진 제어시스템간의 신뢰성이 높은 실시간 제어가 가능하도록 개발하였다. 발사시나리오에 따른 시퀀스상의 중요 이벤트를 발사상황판에 전시하므로 운용상의 시각적 효과가 가능하도록 시스템을 구현하였다.

2. 원격제어시스템 설계 및 제작

2.1 원격제어시스템 구성 및 주요 임무

액체로켓은 고체로켓에 비해 내부구조가 복잡하고 발

* 현대모비스 기술연구소 (Hyundai Mobis, Technology Research Institute.)

** 한국항공우주연구원 (Korea Aerospace Research Institute.)

사운용시 고압·고추력으로 인한 위험성이 내재되어 근격제어는 사실상 어렵다. 또한 기체내부에는 고 정밀성을 요하는 여러 서브시스템들로 구성되어 서브시스템 상호간 데이터 교환 및 제어의 임무를 수행한다. 근격지에 운용자가 위치할 수 없고, 지상제어시스템과의 유기적인 연계를 통한 신뢰성 높은 원격제어 임무수행을 위해 고 신뢰성이 요구되는 원격제어시스템 개발이 절실히 필요하다.

그림 1은 KSR-III 로켓에 적용된 원격제어시스템으로 크게 발사통제설비컨테이너(Launch Equipment Container, 이하 LEC)와 임무통제소(Kari Mission Control Center, 이하 KMCC)로 구성되며 주요 임무는 다음과 같다.

- ㄱ. LEC 내부시스템과 KMCC 내부시스템간 통합 네트워크망 구축
- ㄴ. 로켓시스템 모의시험, 사전점검 및 진단
- ㄷ. 발사시나리오에 근거한 로켓 발사통제 제어 및 실시간 모니터링 계측, 분석
- ㄹ. 비상상황 발생에 따른 비상정지

ㄹ. 네트워크 어댑터

한편 전원공급 안정화를 위하여 각 부하용량의 최대용량을 산정하여 LEC, KMCC 각각에 무정전공급장치를 사용함으로 상용전원의 인입상 문제가 발생시 비상전원으로 자동 절체되어 로켓 내부와 지상시스템간 Power distribution의 신뢰성을 높게 하였다.

2.2.1 원격제어 컨트롤러

실시간 제어의 정확성과 신뢰성, 시스템의 안정성등이 중요시 요구되는 근격/원격제어 컨트롤러는 CPU 및 전원의 이중화구조로 설계하여 예상치 못한 시스템의 오류 발생시 Auto Backup 기능이 적용되어 자동 절체됨으로 발사통제운용이 중단없이 원활하게 진행되도록 개발하였다.

로켓 발사시점이 임박해짐에 따라 발사제어의 순간적인 동시조작과 데이터분석에 따른 제어가 요구됨으로 수동조작이 어려워지게 된다.

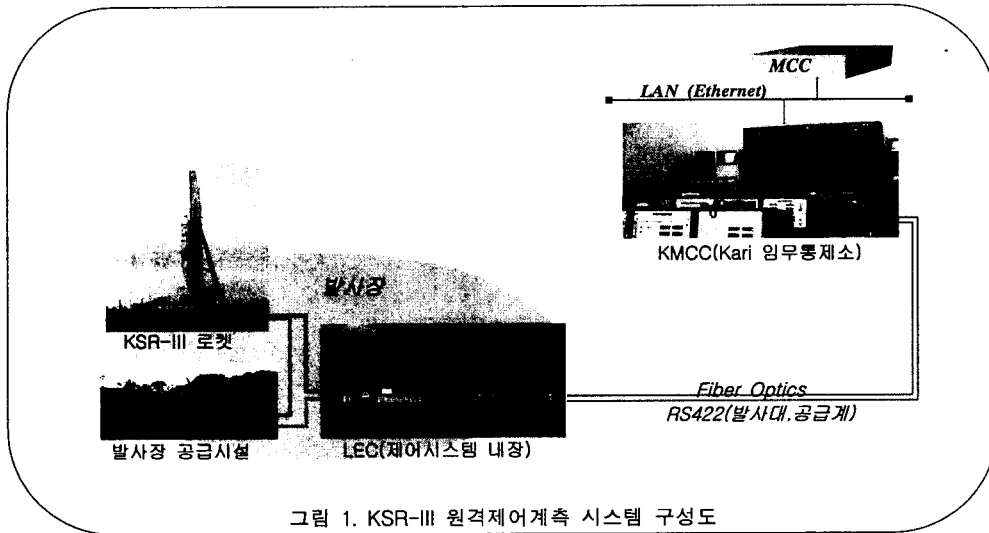


그림 1. KSR-III 원격제어계측 시스템 구성도

2.2 원격제어시스템 하드웨어 개발

발사장내 상호 원격지에 LEC와 KMCC로 이원화된 원격제어시스템의 주요 하드웨어는 다음과 같다.

- ㄱ. 원격제어 컨트롤러
- ㄴ. 계측시스템
- ㄷ. Power Distribution/Signal Isolator

시스템 오류방지 및 신속 정확한 제어를 위해 임무통제소의 발사가능신호 수신 후 원격제어컨트롤러가 기 프로그램 된 자동시퀀스프로그램을 구동하여 관련 신호값들의 정상여부를 자체적으로 판단하여 발사시퀀스진행 및 비상시 비상정지를 수행하는 기능을 지닌다.

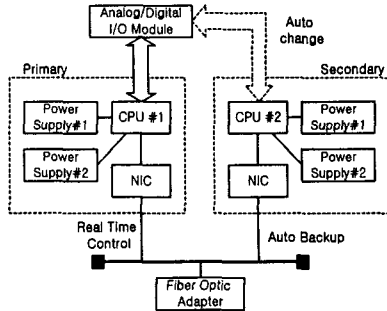


그림 2. 원격제어시스템 이중화

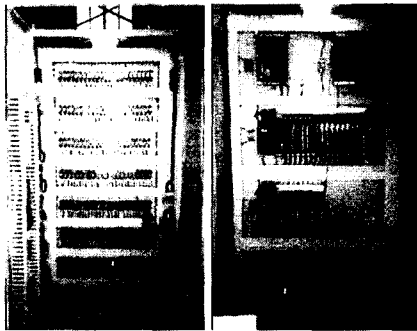


그림 3. 원격제어시스템 내부 구조

2.2.2 계측시스템

발사체내부 중요 신호 등을 모니터링하고 데이터를 저장하는 계측시스템의 주 구성품의 사양은 표 2와 같다. 계측시스템은 산업용 PXI 버스방식의 통합 시스템 버스를 사용하고, 지상제어시스템과 Ethernet 네트워크망을 구성하여 KMCC내부에서 데이터 공유를 통한 실시간 모니터링이 가능하도록 구현하였다. 그리고 정확한 아날로그 신호의 모니터링을 위해 아날로그 모듈 앞단에 저주파 필터를 설치함으로써 노이즈 등의 영향을 차단하였다.

표 1. 원격제어시스템 주요사양

CPU	래더 다이어그램 방식 Auto hotbackup module
통신 어댑터	fiber optic converter ethernet/controlnet interface module
Analog I/O 모듈	해상도 : 12bit Binary(analog Input) individually Isolated channel(AO)
Universal Chassis	Type Of Mount

표 2. 계측장비하드웨어 주요 단품 사양

Signal Filtler	Low Pass Filter : 10kHz(per ch)
Input Module	Analog Input resolution : 12bit
System BUS /Comm. Adapter	PXI Bus/Ethernet Interface
Development Program	LABVIEW Applcation Builder Visual C++

2.2.3 Power Distribution/Signal Isolator

로켓의 발사운용상 장시간 내부배터리 전원으로 모든 임무를 수행할 수 없으므로 발사 전 내부전원 전환시까지 외부전원 공급을 필요로 한다. 서브시스템별로 외부전원시스템을 공급하여 시스템간 전원강압 현상을 최소화하였으며, 특히 각종 밸브 구동을 위해 많은 전원용량을 요구하는 추진기관은 로켓과 LEC간 엄비리칼 케이블의 선로저항 손실분인 전압강하가 발생하므로 Remote sensing하여 전압강하에 따른 전압보상을 하였다. 또한 TTL 레벨의 고주파 신호는 differential type을 적용하여 데이터 손실을 최소화 하였다.

한편 로켓내부 시스템과 지상시스템간의 이상 서지 및 노이즈 간섭을 최소화하기 위해 절연형태로 신호들이 송수신되도록 하였다. 아날로그 값은 모니터링하기 위한 샘플링 주파수에 맞게 트랜스포머 혹은 포토 커플러 형태로 구현하였으며, 디지털 신호는 전압레벨에 따라 릴레이 혹은 포토 커플러를 사용하였다. 시스템 전기적인 연계를 위해 EMI/EMC 에 대한 방지대책으로 정전 차폐 케이블과 Harness, 필터회로, 접지설비를 구현하였다.

표 3. Signal isolation 주요 사양

Type/Mounting	Isolation Type/Wall & Rail
Accuracy /Response Time	±0.1%(Max)/ ≤0.5sec(0-90%)
Front Adjustments	Zero and Span±5%

2.2.4 Network Interface

FC의 LEC내부 시스템과 KMCC 내부 시스템간의 Network의 통신망 구성은 범용 Ethernet Protocol 통신방식을 사용하여 단일 통합망을 구성하고, 제어의 신속성을 높이기 위해 광네트워크를 적용하였다. 또한 방대한 양의 데이터의 실시간 처리능력과 안정성면에서 우수한 장점을

지난 ControlNet Field 통신방식을 제어컨트롤러 프로세싱 방식으로 구축하였다.

2.3 추진기관 원격제어 HMI 프로그램

원격지에 떨어진 로켓의 원활한 제어를 위해 정확한 데이터의 송수신과 변화하는 센서값에 대한 실시간 모니터링기술과 데이터 분석능력이 필수적이다.

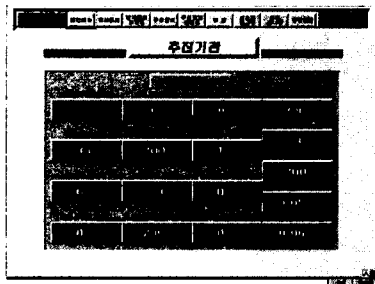


그림 4. 원격제어 HMI 운용 프로그램

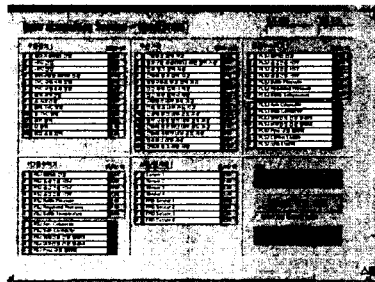


그림 5. 원격계측 운용 프로그램

운영자가 원격제어시스템의 정확한 임무수행과 모니터링값의 정확한 분석을 위해서 윈도우사용자환경에 GUI 방식을 적용한 운용프로그램을 개발하였다. 그림 4의 추진기관 프로그램은 상단의 메뉴중에서 원하는 항목을 선택하여 각 서브시스템별 윈도우화면을 통해 모니터링 센서값과 제어여부를 판단할 수 있으며, 기 수행된 이벤트와 모니터링값의 변화 등을 추적할 수 있는 기능과 이를 트렌드화면을 통해 데이터분석할 수 있는 그래픽화를 구현하였다.

그림 5는 로켓의 중요 센서신호등을 실시간 모니터링하는 원격계측 프로그램의 메인화면이며, 필요시 사용자가 원하는 항목의 데이터를 트렌드화면 윈도우에서 데이터 실시간 분석을 실행

하도록 개발되었다.

3. 결 론

본 논문은 국내 최초의 액체 추진로켓인 KSR-III의 실시간 원격제어 임무를 수행한 원격제어시스템의 구성과 시스템의 당위성을 소개하는데 의의를 지닌다.

- 1) 원격제어시스템의 신뢰성있고 실시간 중앙 집중 제어를위해 범용 Ethernet 프로토콜 방식과 광통신방식을 적용한 발사통제제어를 수행하여 시스템의 신뢰성 및 우수성을 입증하였다.
- 2) 발사운영자의 원활한 제어 및 분석을위해 HMI 제어 운용 프로그램을 개발하였다.
- 3) 컨트롤러의 CPU 및 Power source 이중화를 구축하였고 자동 sequence logic을 구현하여 실제 발사에 적용하여 검증하였다.

참고 문헌

1. Gi Heung Choi의 2인, "Transmission Characteristics in LonWorks/IP-based Virtual Device Network(VDN)", vol. 25, Proceedings of IEEK Summer conference 2002, pp 169-172
2. 이종수의 3인, "LON 기반단위 자동화망의 원격시스템 구현에 관한 연구", Proceedings of IEEK fall conference 2002, pp 1104-1107
3. 이주열의 2인, "TCP/IP & RS-422 통신을 이용한 실시간 모니터링 시스템개발에 관한 연구", 25권 1호, Proceedings of IEEK Summer conference, pp 165-168
4. 문경록의 2인, "TCP/IP Protocol을 이용한 원격감시용 계측시스템 개발에 관한 연구", KIEE, 25권 1호, Proceedings of IEEK Summer conference 2002, pp 173-176