

우주발사체 지상제어시스템의 시스템설계

System Design of Ground Control System for Space Launch Vehicle

서진호*, 홍일희, 이영호, 정의승(한국항공우주연구원)

1. 서론

고흥의 외나로도에서 건설이 진행되고 있는 우주센터는 우주발사체의 발사준비, 발사 및 비행통제 임무를 갖는다. 지상제어시스템은 우주센터 내에서 이루어지는 발사체에 대한 각종 지상시험과 발사시험시 발사체, 지상기계장비, 추진제공급시스템과의 인터페이스를 통한 데이터 모니터링 및 제어를 수행하게 된다 [1~3].

지상제어시스템은 제어대상의 운용개념, 절차, 제어대상장비 항목에 따라 개발개념이 달라지며, 크게 1단 발사관제설비, 2단 발사관제설비, 지상장비제어시스템의 세가지로 구성된다. 각 시스템은 독립적으로 운용되기도 하며, 발사시험이나 지상시험시에는 각 시스템이 연계되어 운용된다. 본 논문에서는 지상제어시스템에 대한 개념연구를 바탕으로 수행된 시스템설계결과를 기술하였다.

2. 발사시험을 위한 지상장비

발사시험을 위해 개발되는 지상장비는 추진제공급시스템, 지상기계설비, 그리고 기타 부대설비로 구성된다.

2.1 추진제공급시스템

발사체에 정해진 절차와 규격에 맞게 추진제를 공급하는 것을 목적으로 하는 시스템이다. 주요 구성은 다음과 같다.

- 액체산소 공급시스템
- 연료 공급시스템
- 고압가스 생성 시스템
- 고압가스 공급 시스템
- 화염편향기 냉각 시스템
- 화재 예방 시스템
- 산소 농도 감시 시스템

2.2 지상 기계장비

발사장에서 발사체에 대한 모든 기계적인 운용(이동, 자세의 변경, 고정 등)에 필요한 설비로서 주요 기능과 구성장비는 다음과 같다.

○ 주요기능

- 수평상태로 이송된 발사체의 발사자세인 수직 자세로 전환
- 수직상태로 전환된 발사체를 발사패드에 정치

- 지상에서 발사체까지 공급되는 각종 통신 및 공급라인의 연결 경로 제공 및 연결 지원
- 이륙직전과 이륙순간 발사체로부터 통신 및 공급라인의 이탈 지원

○ 구성장비

- 발사대
- 이렉터 암
- 트랜스포터-이렉터
- 케이블 마스트
- 이렉터 자동체결장치
- 추진제공급 자동체결장치

3. 지상제어시스템

3.1 발사운용조직

발사체의 발사준비작업과 발사시험 운용을 위해서는 발사장에서 발사운용조직이 체계적으로 구축되어야 한다. 본 논문에서는 발사체 및 지상장비에 대한 직접적인 제어와 모니터링을 위해 필요한 운용조직을 그림 2와 같이 도시하였다. 그림 2의 발사운용조직은 발사지휘소(MDC), 발사관제센터(LCC), 발사장(LC)에 위치해 있다. 발사지휘소에 있는 발사체 책임자는 발사체가 조립장에서 최종 조립된 이후부터 발사체 이송, 발패드에 정치, 지상장비 초기화 및 준비, 발사준비작업, 발사, 발사후 작업 등 발사 전과정에 필요한 명령 지시와 주요 상태를 모니터링하는 임무를 수행한다.

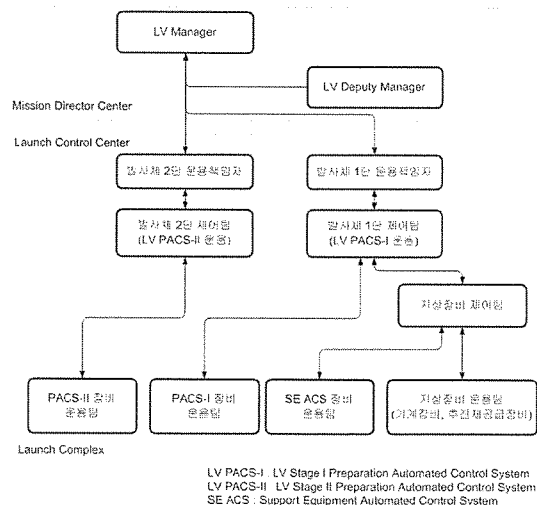


그림 1. 발사운용조직

3.2 지상제어시스템

지상제어시스템은 그림 2와 같이 지상장비 제어시스템 (SE ACS), 1단 발사관제설비(PACS-I), 2단 발사관제설비(PACS-II)로 구성된다. 지상장비제어시스템은 1단 발사관제설비의 명령에 따라 추진제공급시스템과 지상 기계장비를 운용하며, 주요 운용 상태를 모니터링한다. 1단 발사관제설비와 2단 발사관제설비는 각각 발사체 1단과 2단에 대한 지상제어와 모니터링을 수행한다.

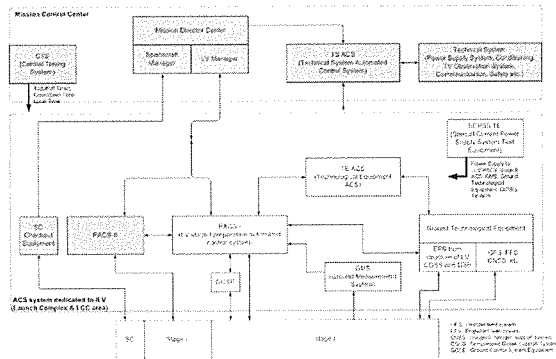


그림 2. 지상제어시스템 개념도

지상장비제어시스템은 발사장에 있는 추진제공급시스템과 지상기계장비를 원격 및 근격에서 제어할 수 있도록 구축된다. 추진제공급시스템과 지상기계장비는 발사체와 직접 인터페이스되므로 지상장비제어시스템에서 독립적으로 운용하지 않고, 반드시 1단 발사관제설비의 인증된 명령에 의해 운용되어야 한다. 즉, 발사체 1단과 관련된 모든 상위 제어 명령은 1단 발사관제설비에서 생성되어 지상장비제어시스템으로 전송된다.

3.3 1단 발사관제설비

1단 발사관제설비는 발사체 1단에 대한 제어 및 모니터링을 위한 시스템으로서 개념도를 그림 3에 도시하였다. 1단 발사관제설비의 주요 구성장비별 기능은 다음과 같다.

○ 워크스테이션

- 1단 관련 운용을 위한 컴퓨터 시스템
- 산화제공급, 연료공급, 온도제어, 발사체 밸브제어용

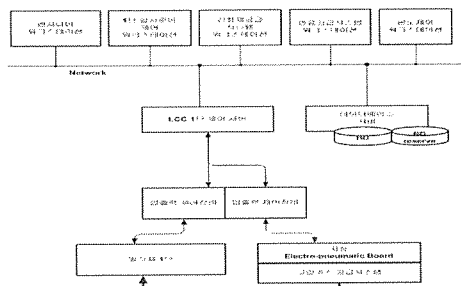


그림 3. 1단 발사관제설비 개념도

고압가스 공급제어

- 1단 발사체 제어 총괄
- 지상장비제어시스템, 2단 발사관제설비와의 정보 교환

○ 1단 제어서버

- 발사체 1단을 실시간으로 제어하기 위한 알고리즘 내장
- 데이터서버와 입출력제어장비와의 통신기능 제공

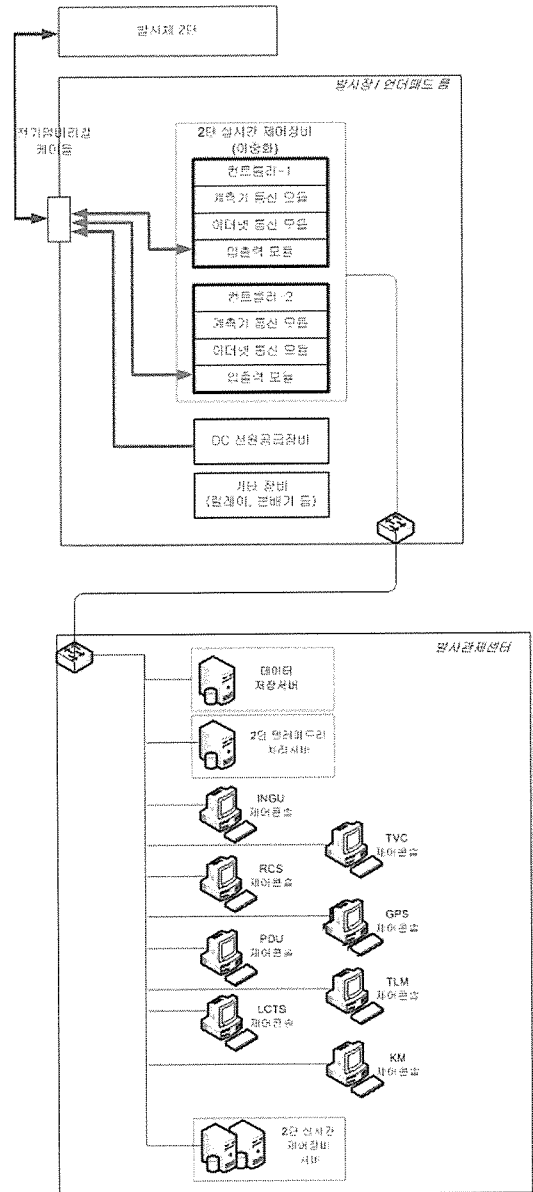


그림 4. 2단 발사관제설비 개념도

○ 데이터베이스 서버

- 워크스테이션으로부터의 명령인증 및 1단 서버로 전송
- 워크스테이션과 1단 제어서버와의 인터페이스
- 서버로부터 전송된 1단 관련 데이터를 해당 워크스테이션에 실시간으로 분배

○ 입출력장비

- 1단 제어서버의 명령에 따라 제어대상인 발사체 1단과 EPB 제어

- 제어대상의 상태를 수집하여 서버로 전송

3.4 2단 발사관제설비

2단 발사관제설비는 발사체 2단을 원격에서 실시간 제어하기 위한 컴퓨터시스템으로서, 1단 발사관제설비와는 기본적인 구성개념은 유사하며, 그림 4에 개념도를 나타내었다. 주요 구성장비별 기능을 살펴보면 다음과 같다.

○ 제어콘솔

- 발사체 2단의 각 서브시스템을 지상에서 제어 및 모니터링하는 컴퓨터로서 운용자용임
- 발사체 2단과의 RS-422 통신기능
- 2단의 유선 텔레메트리 데이터의 실시간 표시기능

○ 2단 실시간 서버

- 발사체 2단에 대한 디스크리트 및 아날로그 입출력 알고리즘 작성
- 실시간 제어장비로부터 전송되는 발사체 2단 정보의 분배
- Human-Machine 인터페이스의 서버 기능

○ 2단 텔레메트리 서버

- 발사체 2단으로부터 전송되는 유선 텔레메트리 데이터를 파라미터별로 추출하여 각 제어콘솔로 분배

○ 2단 실시간 제어장비

- 발사체 2단에 대한 디스크리트 및 아날로그 입출력 알고리즘 내장
- 자동시퀀스와 비상정지시퀀스 내장 및 처리

3.5 지상장비 제어시스템

지상장비제어시스템은 추진제공급시스템과 지상기계장비를 근격 및 원격에서 제어하는 컴퓨터시스템으로서 그림 5에 개념도를 도시하였다. 지상장비제어시스템은 크게 고압가스공급시스템 제어부, 지상기계장비 제어부, 산화제공급시스템 제어부, 온도시스템 제어부, 연료공급시스템 제어부로 구성되며, 이들 각 제어부는 독립적으로, 그리고 연계하여 운용된다. 구성장비별 기능은 다음과 같다.

○ 워크스테이션

- 운용자가 사용하는 컴퓨터시스템

○ 서버

- 제어대상 및 지상장비제어시스템의 데이터 저장

○ I/OD (Input Output Device)

- 실시간 처리 알고리즘 내장
- CPI와의 통신기능

○ CPI (Computer Processor Interface)

- 제어대상과의 입출력 기능

4. 안전시스템 적용

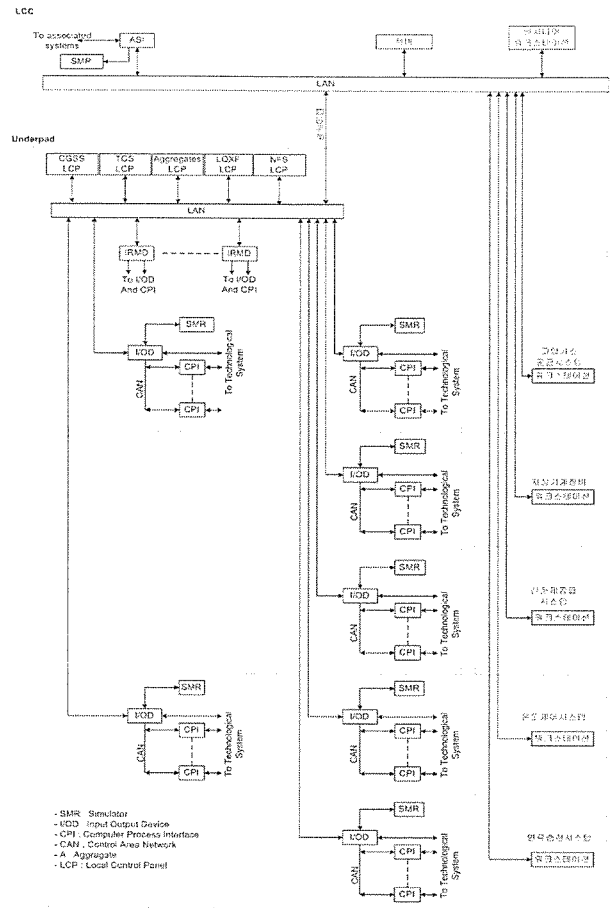


그림 5. 지상장비 제어시스템 개념도

발사장에서의 발사체에 대한 추진제공급 및 발사체 발사준비작업을 수행하기 과정에서, 산화제, 연료, 고압가스 등이 사용되므로 안전사고가 발생할 가능성이 매우 높다. 따라서, 지상제어시스템에서는 비정상상황이 발생했을때, 인명 및 대형사고가 발생하지 않고 안전한 상태로 전환되도록 안전시스템을 갖추어야 한다.

안전시스템은 위험해 질 수 있거나, 적절한 대응이 없을 경우 위험한 상황으로 가게 되는 공정의 상황에 대처하도록 설계되어 있다. 안전시스템과 관련된 국제표준은 IEC61508로서, 이 규정은 하드웨어와 소프트웨어의 시스템적 결함, 운용자 에러 등 가능한 모든 발생요소를 고려한 상태에서, 안전요구조건을 만족시킬 수 있도록 안전관련 시스템을 설계하는데 적용된다. IEC61508 표준은 위험 감소 요인을 4단계로 나누는 안전무결수준(safety integrity level: SIL)로 구분하였다. 이 SIL은 완벽한 안전 루프 또는 안전 기능을 위하여 양적, 질적 요구사항을 명시한다. 이들은 위험 감소 요인들이 지켜야 할 고장 가능성 기준을 제공하기도 한다. 안전기능은 확실한 위험 감소를 이룰 수

표 1. SIL 레벨에 따른 신뢰도

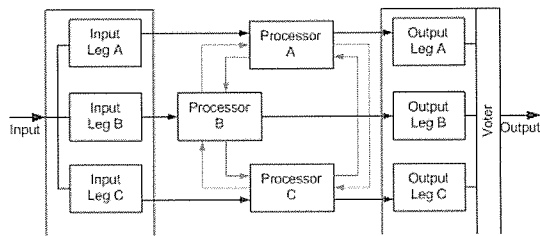
SIL	Probability of Failure On Demand	Hazard / Risk Level
-----	----------------------------------	---------------------

1	10^{-1} to 10^{-2}	Minor property and production protection
2	10^{-2} to 10^{-3}	Major property and production. Possible injury to employees
3	10^{-3} to 10^{-4}	Employee and community protection
4	10^{-4} to 10^{-5}	Catastrophic community impact

있도록 설계되기 때문에 시스템별로 요구되는 안전 무결수준이 할당된다. 표 1은 SIL의 레벨별 신뢰도를 나타낸 것이다.

이와 같은 안전요구사항을 만족하기 위해 이중화, 삼중화, 사중화시스템이 사용되는데, 그림 6은 안전시스템에 많이 적용되고 있는 삼중화시스템의 기본적인 구조를 나타낸 것이다. 삼중화시스템은 세 개의 프로세서를 사용하여 프로세서 또는 입출력에 있는 모든 출력에서 선택(Voting)하는 구조로 되어 있다.

그림 6. 일반적인 삼중화(Triple Modular Redundant) 시스템



5. 결론

KSLV-I 발사시험을 위한 지상제어시스템은 크게 1단 발사관제설비, 2단 발사관제설비, 지상장비제어시스템으로 구성된다. 1단 2단 발사관제설비는 발사체 1단 2단을 각각 제어하기 위한 시스템이며, 지상장비제어시스템은 추진제공급시스템, 지상장비를 제어하는 시스템이다.

본 논문에서는 1단 2단 발사관제설비와 지상장비제어시스템에 대한 시스템 구성개념과 각 구성장비의 기능을 간략하게 기술하였다. 지상제어시스템은 복잡한 부품들로 이루어진 발사체와 지상장비를 장시간 오동작이 발생하지 않도록 운용할 수 있어야 하므로, 고신뢰도와 고안정성을 가장 우선적인 목표로 하여 개발되어야 한다. 이와 같은 고신뢰도와 고안정성 목표를 달성하기 위해 구성장비의 중요도에 따라 부분적으로 시스템 이중화, 삼중화 및 안전시스템을 적용하여 설계를 진행중이다.

참고문헌

1. 서진호, 신명호, 홍일희, 이영호., "KSLV-I 발사

관제시스템 개발개념설계", 한국항공우주학회 추계학술논문발표회, 2003. 11. 14.

2. 서진호, 홍일희., "우주발사체 발사시험을 위한 실시간 원격제어시스템 개념 설계", 제 4회 우주발사체기술 심포지움, 2003. 5. 30.

3. 최원, 정해욱, 서진호, 홍일희., "KSLV-I 발사관제센터 시뮬레이션 시스템 실시간 데이터 처리를 위한 프로토타입 시험평가", 한국항공우주학회 추계학술논문 발표회, 2004. 4. 16