

PLC 기반의 광통신을 이용한 원격 제어시스템 개발

김재운\*  
현대모비스 기술연구소

The development of remote control system using optical fiber communication on the basis of PLC

Jae Moon Kim\*  
HYUNDAI MOBIS R&D Center

**Abstract** - 본 논문에서는 위험요소를 내재하고 있는 로켓시스템에 대해 원격지에서 실시간 모니터링 및 제어를 할 수 있도록 원격 제어시스템을 설계, 개발하였다. 뿐만 아니라 로켓 근처에 위치한 무인 시설물 내에는 원격제어에 따른 로켓내부 시스템의 각종 센서 출력값을 멀티채널방식을 이용하여 장시간에 걸쳐 저장하고 원격지에 위치한 무인 시설물 내에서 LAN 통신을 통해 데이터를 분석할 수 있도록 DAS(Data Acquisition System)을 설계하고 개발하였다. 개발된 시스템은 간이 연계시험을 통해 입증하였으며, 향후 3단형 과학로켓 발사통제시스템에 적용할 예정이다.

른 모든 상황의 모니터링과 비상시 시스템에 대한 통제가 가능하도록 한다.

2. 본 론

발사통제시스템에 대한 주요 설계요구조건은 MCC 내부에 제어콘솔(제어패널, 모니터링 콘솔) 설치 및 지상 지원 시설과의 효과적 접속기능, 소정의 발사 준비 및 신호 상태의 효과적 진시, 원격지(500M)에 위치한 로켓 및 발사대 등에 대한 정확한 통제기능 수행, 발사통제 시퀀스의 원격 제어 및 실시간 모니터링, 안전 확보를 위한 비상정지 기능 설정, 발사장 모니터 및 방송통제 장비의 설치공간 제공, 발사대와 근거리에 무인 발사장비 콘테이너(Launch Equipment Container, 이하 LEC) 설치를 들 수 있다.

1. 서 론

최근 몇 년간 우리 나라에서는 선진국이 전유물로만 여겨져왔던 우주개발에 대한 관심이 고조되고 있다. 위성체와 발사체의 기술발달은 우주공간의 위성체를 이용한 통신방송, 기상예보, 자원탐사, 군사목적 등 실생활에 직접적인 영향을 가져왔으며, 우주공간에서의 재료처리와 의약품 제조 등을 비롯한 우주의 상업화가 도래하고 있다. 그러나 우리 나라에서는 우주분야에 대한 연구 논문과 보고서가 많이 발표되고 있으나, 특정분야에 치중되어 있다. 특히 전기전자측면에서 살펴보면, 발사체 내부 시스템, 즉 항법시스템, 과학탑재부, 전자탑재부 등에 대한 연구 논문자료가 거의 없음을 뿐만 아니라 관련자료도 없는 형편이다. 또한 발사체의 이륙과 밀접한 관계를 가지는 지상지원 시스템에 대한 연구는 전무한 실정이다[1].

따라서 크게 무인 발사장비 콘테이너(LEC)와 유인 임무통제소(MCC), 발사체와 지상지원 시설물과 연계시켜주는 케이블에 대해 설계하였다. 그림 1은 전체적인 발사장내의 시스템 구성도를 보여준다.

본 논문에서 지상지원 시스템의 일부분으로 위험요소를 내포하고 있는 로켓시스템에 대해 원격지에서 내부를 실시간 모니터링하고 제어할 수 있는 발사통제시스템(Fire Control System, 이하 FCS) 설계 및 개발에 목적을 두었다. 발사통제시스템은 로켓 발사에 필요한 지상 발사통제소로서의 역할을 지니게 되며 로켓의 전비행 과정을 총괄 통제한다. 특히 3단형 과학로켓(KSR-III)의 발사전 점검, 발사준비, Count Down 및 로켓 발사시점까지의 모든 발사 진행과정을 통제하는 임무를 수행하고, 발사 조건이 충족되었을 때 임무 통제소(Mission Control Center, 이하 MCC)로 발사가능신호를 전달하여 로켓이 안전하게 발사될 수 있도록 한다.

2.1 무인 발사장비 콘테이너(LEC)

무인발사장비는 원격지에 위치한 유인 임무통제소의 제어를 받는다. 따라서 내부시스템들은 발사체가 이륙할 때까지 매우 중요한 역할을 한다. 내부시스템에 발사체의 내부동작을 모니터링하고 제어할 수 있도록 설계된 Remote I/O Link(로켓 PLC), 로켓내부의 수십 Hz에서 수 kHz의 대역폭을 갖는 압력, 추력, 온도, 진동 등을 측정하고 데이터를 저장할 수 있도록 설계된 DAS(Data Acquisition System), 로켓이 이륙할 때까지 임의의 시간동안 전원을 공급해주는 직류전원장치와 외부에서 공급되는 전원이 차단되더라도 일정시간동안 연속적으로 공급할 수 있는 무정전 전원공급장치(UPS), 발사체와 지상지원시스템과의 절연을 통해 신호가 전달될 수 있도록 설계된 Distributor/Isolator 등이 있다. 또한 발사체와 발사장비 콘테이너내부 시스템을 연결해 주는 입출력 단자대가 있으며, 발사시퀀스에 의해 발사 시나리오가 진행되는 동안 비상정지를 하고자 할 경우 통신단절에 대비하여 핫라인 비상정지제어기를 통해 비상정지를 수행한다. 그림 2는 발사장비 콘테이너 내부의 시스템 결선도를 보여준다.

고체 추진기관을 사용한 기존 로켓과는 달리 KSR-III 로켓에서는 액체 추진기관을 사용함으로써 발사체 내부 시스템의 구조가 복잡해지기 때문에 고도의 제어성능을 지닌 시스템을 필요로 한다. 그러므로 안전한 로켓 발사를 위하여 발사시점까지 임무 통제소 내부의 제어콘솔들은 탑재체 내부의 각종 시스템 제어에 따

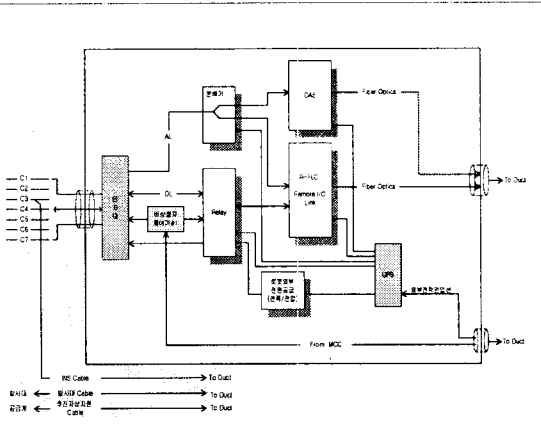


그림 2. 발사장비 콘테이너 내부 시스템 결선도

### 2.1.1 Distributor & Isolator

로켓 내부의 각종 센서로부터 아날로그 데이터가 엄비리칼 케이블을 통해 LEC 내부로 들어오게 되는데, 발사 시나리오에 따라 연속적으로 변화되는 센서 출력값은 LEC 내부에서 분기가 이루어지는데 분배기가 이 역할을 한다. 즉, KMCC 내부의 콘솔운영자가 감시 및 제어기가 이루어지도록 LEC 내부의 PLC I/O 모듈로 입력되는 동시에 발사시나리오에 따른 이벤트를 저장하기 위한 DAS I/O모듈에도 동일한 값이 입력된다. 따라서 분배기는 다음과 같은 사양을 갖추어야 한다.

- 가. 입력 1 포트에 대해 절연형태의 출력 2 포트가 있어야 한다.
- 나. 입력 값에 대해 분기되는 출력 값의 정밀도가 좋아야 한다.
- 다. 입력신호에 대한 출력측 두 개의 포트 사이에 데이터 정밀도가 좋아야 한다.
- 라. 과전압 보호회로가 내장되어야 한다.
- 마. 외부환경에 대한 노이즈 차폐 효과가 있어야 한다.
- 바. 열악한 외부환경에 대해 내습성 등 강인한 특성을 갖는다.

그림 3은 발사체에 Diff. TTL 신호 형태로 명령을 주거나(a), Diff.TTL 신호에 대해 분주회로(b)를 거쳐 가시적으로 볼 수 있도록 설계된 Isolator 회로의 한 예를 보여준다.

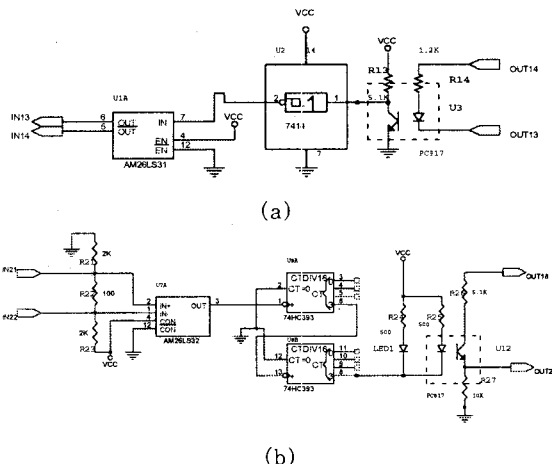


그림 3. Diff. TTL 신호에 대한 Isolator 회로

### 2.1.2 UPS(Uninterruptible Power Supply)

무정전 전원공급장치로 로켓과 50m 떨어진 컨테이너 내부에 위치한다. 로켓 이륙직전까지 순간적인 정전으로 사고 및 입력전원의 장애로 인해 직접적인 전원사용이 어려운 경우 등 비상상황에 대비하기 위하여 사용되는데 컨테이너(LEC) 내부에 있는 PLC 등 시스템 전원과 로켓의 발사 전 일정 시간동안 공급되는 외부전원을 안정되게 공급하게 된다. 컨테이너 내부에 설치되는 무정전 전원장치는 KSR-III의 원활한 발사진행을 위해 전원이 끊어짐이 없는 ON-LINE 방식을 사용한 약 10(KVA)급 용량이 필요하다.

### 2.1.3 직류전원장치

로켓내부에는 로켓이 비행하기 위해 필수적인 제어시스템과 시스템에 공급되는 직류전원용 배터리가 다수 존재한다. 그러나 배터리는 사용할 수 있는 용량이 제한적이므로 로켓이 지상을 이륙하기 전까지 일정시간동안 로켓외부에서 내부로 직류전원을 공급해 주어야 한다. 직류전원장치는 이러한 용도로서 로켓내부의 배터리 충전용으로 사용되거나 정해진 시간동안 제어시스템에 전원을 공급한다. 총 용량은 전체적인 제어시스템을 고려하여 5KW 이내로 하며 전원장치의 무게, 크기 등을 감안하여 0.5KW급 여러대를 설치한다. 뿐만 아니라 로켓내부에 Pyro 밸브 및 솔레노이드 밸브 등이 취부되어 있으며 취부된 Pyro 밸브에 대한 정상여부를 점검하기 위해 점검회로가 필요하다. 그림 4는 Pyro 밸브에 대한 점검회로를 보여준다. 직류전원장치는 로켓과 근거리에서 위치한 LEC내부에 위치하게 되며 엄비리칼 케이블을 통해 안정적인 전원을 로켓내부로 공급해야 하므로 다음과 같은 사양을 만족해야 한다.

- 가. 직류전원 +28V를 로켓내부로 안정적으로 공급해야 한다.
- 나. 외부 노이즈 및 리플이 1% 이내로 작아야 한다.
- 다. 입력전원 1 220V, 주파수 60Hz로 동작되어야 한다.
- 라. 과전압, 과전류 보호기능을 내장하고 있어야 한다.
- 마. 부하변동시 매우 빠른 응답속도가 요구된다.

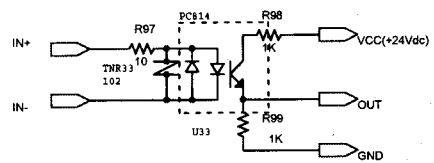


그림 4. Pyro Valve에 대한 점검회로도

### 2.1.4 DAS(Data Acquisition System)

KSR-III 로켓이 이륙하기 전까지 로켓내부의 시스템 제어에 따라 각종 센서로부터 출력되는 데이터를 저장하여 문제가 발생할 경우 데이터분석을 위해 제어시스템은 필수적이다. 따라서 신호계측 시스템은 로켓과 가까운 거리에 위치한 컨테이너(LEC) 내부에 설치되어 엄비리칼 케이블을 통해 로켓내부의 센서에서 출력되는 아날로그 신호를 입력으로 받아들인다. 로켓과 컨테이너 사이의 거리는 50m 정도이므로 외부노이즈에 강인한 엄비리칼 케이블을 사용한다. 그러나 로켓내부의 센서에서 출력되는 데이터는 매우 작은 전류 및 전압값이므로 노이즈 성분이 측정값에 포함되므로 그림 5와 같이 필터 회로를 설계하였다[2]. 노이즈 성분은 낮은 전압의 신호원에서 치명적이고, 높은 주파수일수록 영향을 크게 받으므로 신호계측 시스템은 다음과 같은 조건에 맞는 설계 및 사양을 만족해야 한다. 그림 6은 Data

Acquisition System 구성도를 보여준다.

- 가. '전류제어방식'(4-20mA)을 사용한 아날로그 신호 전송방식을 이용하거나 10V미만의 전압 값을 입력으로 받는다.
- 나. 쉴드 케이블을 사용해서 신호를 전송하거나 Twisted-pair 케이블을 사용한다.
- 다. 시스템 보호를 위해 신호에 대해 절연시킨다.
- 라. 아날로그 입력신호선단에 HPF/LPF 필터를 사용하여 원치 않는 주파수 대역을 제거하고 전원부에 필터를 사용하여 전원의 노이즈를 제거한다.
- 마. 발사장내의 원활한 이동배치를 위해 견고해야 한다.
- 바. 열악한 외부환경에 강인해야 한다.
- 사. 저장된 데이터에 대해 신뢰할 수 있어야 한다.
- 아. 데이터 저장은 발사 시나리오를 감안하여 12시간 지속되어야 한다.
- 자. 약 80개의 센서로부터 출력되는 데이터를 약 5(ms) 단위로 받아들인다.

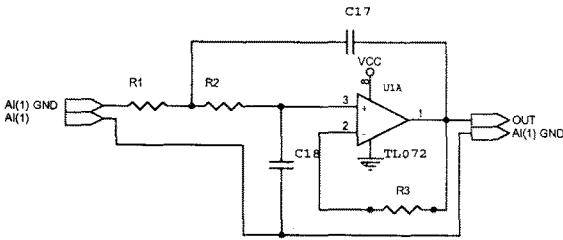


그림 5. 2차 저주파 필터회로

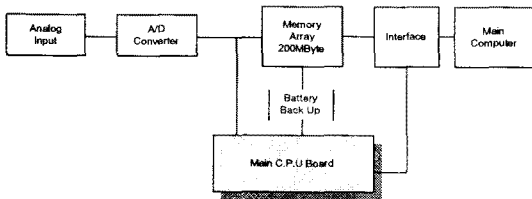


그림 6. Data Acquisition System 구성도

### 2.1.5 Remote I/O Link(로켓 PLC)

로켓과 LEC사이에는 50m 이내로 매우 근접해 있다. 따라서 발사당일 로켓이 이륙하기 전까지 LEC내부에 PLC를 제어하는 운영자가 없으며 LEC내부의 PLC와 연결된 MCC내부의 각 콘솔 운영자가 발사 시나리오에 따라 운영한다. LEC내부의 PLC는 경제성을 고려하여 CPU 모듈 및 CPU 전원 모듈이 없고 엄비리칼 케이블을 통해 입출력되는 I/O 모듈, I/O 전원 모듈과 광통신 변환 모듈 등으로 이루어진다. LEC내에서 로켓내부의 각종 시스템에 대해 이륙직전까지 외부 전원공급 및 모니터링을 하기 위해 다음과 같은 사양을 만족하여야 한다[3].

- 가. 422/485 통신 및 이더넷통신 등 원격통신 가능
- 나. Relay Contact로 외부/내부 전원공급 절환이 이루어지며 외부 신호선을 통해 전달되는 노이즈를 줄이기 위해 Photo-Coupler와 같은 방식으로 신호가 절연 되어야 한다.

- 다. PLC내부로 입력되는 아날로그 신호를 스케일링하기 위한 컨버터가 존재해야 한다.
- 라. 로켓에 공급되는 외부전원이 PLC가 처리하기 위한 전압범위를 벗어나므로 이를 위해 절연형태의 디지털 출력이 요구된다.

### 2.2 임무통제소

원거리에 위치한 무인로켓장비 컨테이너 내부의 시스템을 제어하기 위한 유인 통제소로 로켓이 이륙하기 전 전체적인 상황을 통제하기 위해서는 네트워크를 통한 통신시스템 구축이 필수적이다. 따라서 임무통제소 내부에는 원격지 로켓 PLC와 통신을 하기 위해 마이크로프로세서에 기반을 두고 다수의 채널을 포함한 사통 PLC 시스템, 네트워크를 통하여 각종 호스트 컴퓨터 및 산업용 컨트롤러 등과 접속하여 5Mbps 이상의 통신속도가 가능하도록 통신 시스템, 원격지 로켓내부 시스템을 제어하기 위한 제어콘솔 등을 필요로 한다. 뿐만 아니라 로켓이 이륙하기 전까지 주변상황을 전시하고 로켓 비행 위치에 대한 정보를 전시해주는 발사상황판이 필요하다.

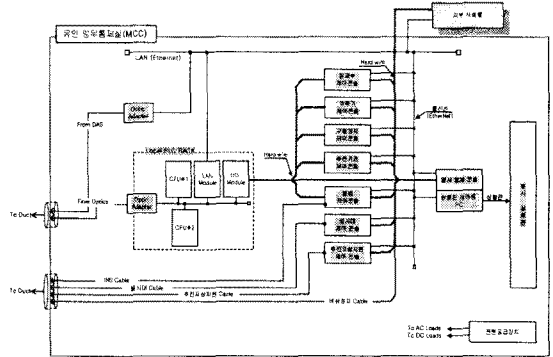


그림 7. 임무통제실 결선도

### 2.2.1 사통 PLC

MCC 내부에 위치한 PLC는 I/O 모듈의 아날로그 출력을 통해 원격지 시스템을 모니터링하고 이를 통해 시스템을 제어한다. MCC 내부의 PLC는 LEC 내부의 PLC 시스템과는 달리 CPU 및 CPU 전원 이중화가 수반된다. CPU 이중화를 통해 프로세서에 문제가 발생할 경우라도 또 다른 프로세서로 자동적으로 전이가 이루어지도록 프로세서 백업 시스템이 존재한다. 즉 두 개의 프로세서가 동시에 네트워크 통신과 프로그램 스캐닝을 유지하고 한쪽의 프로세서에서 이상이 감지되는 경우 수 ms 이내로 다른 프로세서로 전이되어 연속적인 제어 및 모니터링이 이루어지도록 한다. 이밖에 I/O 모듈은 공유되어 어느 프로세서에서 운영하든지 항상 I/O가 제어된다. 시스템 제어는 I/O 모듈의 디지털 입출력을 통해 램프 및 ON/OFF 스위치가 부착된 제어패널과 직접 연결되어 있다. 콘솔별 운영자는 수동으로 I/O 모듈을 제어할 수 있도록 기능을 부여받는다. 이를 위해 PLC는 다음과 같은 사양을 만족하여야 한다.

- 가. RS-232/422/485 통신 및 이더넷통신 가능
- 나. 자동전이용 프로세서 백업 시스템 내장
- 다. CPU 및 CPU 전원 이중화
- 라. Relay Contact로 외부/내부 전원공급 절환이 이루어지며 외부 신호선을 통해 전달되는 노이즈를 줄이기 위해 Photo-Coupler와 같은 방식으로 신호가 절연 되어야 한다.

## 2.3 케이블

### 2.3.1 임베리칼 케이블

임베리칼 케이블은 로켓과 LEC사이에서 인터페이스용 전원 및 신호선으로 사용된다. 로켓이 이륙하기 전까지 일정시간동안 외부에서 직류전원을 공급하거나 외부의 명령에 의해 로켓내부의 시스템을 제어하고 각종 센서로부터 4-20 mA의 전류 값과 0-10V 범위의 전압 값을 받아들인다. 임베리칼 케이블은 전기적인 저항성분이 작고 외부 노이즈 환경에 강한 특성을 가져야 한다. 따라서 KSR-III의 원활한 발사를 위해 MIL-Spec.급의 케이블이 요구된다. 케이블을 선정하는데 다음과 같은 사양이 만족하도록 한다.

가. 도선 저항 값이 1000ft에 대해 5이하가 되어야 한다.

나. 일정시간동안 로켓외부에서 28Vdc/1A 정도의 직류전원을 공급할 수 있어야 한다.

다. 임베리칼 케이블과 로켓접속부 사이에 AWG22 결선용 커넥터를 사용함으로써 커넥터를 연결하여 이상이 없어야 한다.

라. 노이즈 차폐를 위해 케이블 내부의 연선들이 Twisted-Pair로 이루어져야 한다.

마. 외부환경에 케이블이 노출되므로 설치될 공간에 대한 내온성을 갖추어야 한다.

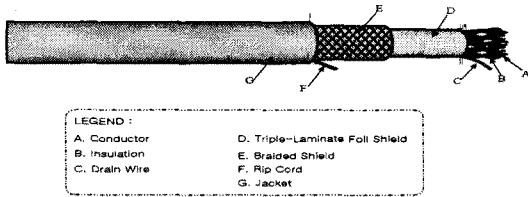


그림 8. Umbilical Cable Terminal

### 2.3.2 광케이블(Optical Fiber Cable)

Fiber-Optic은 동축케이블에 비해 반영구적이고 전송 품질도 우수한 편이다. 또한 외부의 환경에 강인하며 특히 낙뢰시 중앙시스템에는 아무런 피해도 입지 않아 신뢰도가 높다.

광케이블은 5Km이하에 존재하는 장비시스템에 많이 사용되며 Single-mode에 비해 1/2 - 1/3 정도 비용이 감소되는 Multi-mode Fiber를 선정하였다. 또한 예비코어를 감안하여 한 개의 광케이블에 4 core를 가진 케이블이 타당하며 DAS용과 PLC용으로 각각 1개의 케이블로 독립적으로 존재해야 하며 다음과 같은 사양에 만족해야 한다.

가. 발사장내의 원활한 이동배치를 위해 견고해야 한다.

나. 열악한 외부환경, 즉 항균성, 내수성 등에 강인해야 한다.

다. 데이터 송수신을 위해 신뢰할 수 있어야 한다.라. 표준 커넥터를 사용하여 쉽게 설치되고 직접 접속할 수 있게 설계되어야 한다.

## 3. 결 론

본 논문은 PLC 기반의 원격제어 시스템에 대해 시스템 선정시 고려해야 할 부분에 대해 설계, 개발에 목적을 두었다. 원격제어를 위해 열악한 발사장 환경에서 노이즈 성분을 최소화하고 원거리 통신에 대한 데이터 송수신의 신뢰성을 보장받기 위해 광케이블을 이용하였다. 뿐만 아니라 원격지에서 실시간 모니터링 및 제어가 가능하도록 5Mbps 통신속도를 갖는 ControlNet 방식을 사용하였다. 또한 로켓과 근거리에 있는 발사장비 콘테이너에 데이터 저장시스템을 구축하여 장시간동안 실시간 아날로그 데이터를 저장하도록 하였다. 그리고 유인 임무통제소에서 네트워크를 통해 데이터를 분석할 수 있도록 통신시스템을 구축하였다. 향후 본 논문을 통해 설계, 개발된 발사통제시스템은 간이 실험을 통해 입증하고 3단형 과학로켓 통제시스템을 사용될 예정이다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 홍용식, "인공위성기 우주발사체", 청문각, 1987
- [2] Robert G. Irvine, "Operational Amplifier Characteristics and Applications", Prentice-Hall, Inc. 1994
- [3] Rockwell Automation, "Automation Systems", 2000

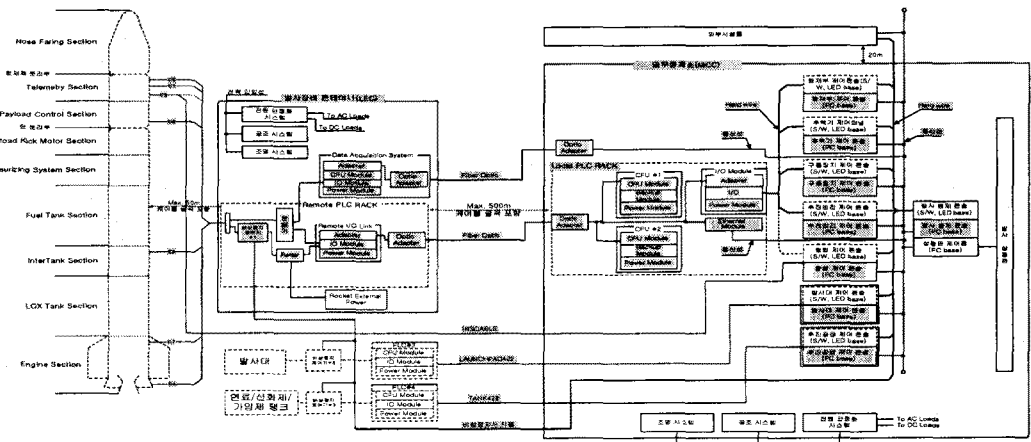


그림 1. 발사장내의 전체적인 네트워크 구성도