

KSLV-I 조립컴플렉스 시스템 설계

KSLV-I Assembly Complex System Design

진승보 *, 이영호, 정의승, 박정주, 조광래(한국항공우주연구원)

1. 서 론

KSLV-I 소형위성발사체는 현재 건설 중인 고흥 우주센터에서 발사가 실시될 예정이다.

우리나라 우주개발의 전초기지로 자리 잡을 우주센터는 전남 고흥군 외나로도 도서지역에 150만평 규모로 개발된다. 발사장(Ground Complex)에는 발사체의 단별조립, 총 조립, 점검, 각종 인증시험 및 발사 전 시험 등을 효율적으로 수행하기 위한 발사체 조립시설이 위치하는 조립 및 시험시설인 조립컴플렉스(AC, Assembly Complex)와 발사대, 추진제 공급설비, 발사관제설비 및 부대시설 등이 위치하는 발사컴플렉스(LC, Launch Complex) 그리고 우주센터 전체를 통제하는 발사임무통제시설(MCC, Mission Control Center)등으로 구성되어 구축된다. 이들 발사장 지상설비들은 발사체의 여러 기계장치 그리고 전기, 전자장치와 다각적이고 다양한 형태의 인터페이스를 가지게 되며 발사체의 발사운용과정에 있어 최적의 조건과 성능보장을 제공하여야 한다.

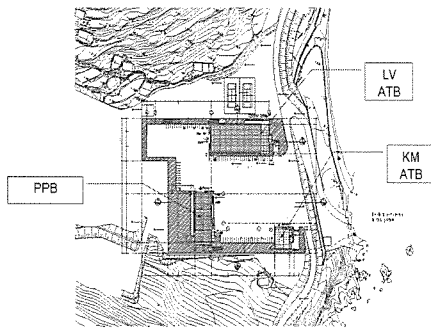


Fig. 1 Assembly Complex layout

2. 조립 콤플렉스

2.1 개요

조립컴플렉스는 발사체의 입고, 저장, 조립, 시험과 발사가 중단되었을 경우 ILV(Integrated Launch Vehicle)의 운영을 수행한다. 조립컴플렉스의 일반적인 배치는 Fig.1과 같으며, 위성과 발사체 상단부의 준비 작업장, 발사체 1단과 ILV의 준비 작업장으로 이루어져 있다. 위성과 발사체 상단부 준비 작업장은 위성시험동(PPB, Payload Processing Building), 킥모터동(KM ATB), 지원장비, 부대시설의 기술적 시스템을 포함하며, 위성과 발사체 상단부의 구성요소에 대한 입고, 준비작업과 상단부 조립, 시험이 이루어진다. 1단과 ILV 준비

작업장은 발사체 조립동(LV ATB), 지원 장비(Support Equipment), 기술적 시스템을 포함하며 발사체 1단과 상단부의 입고, ILV의 조립과 운영, 발사장으로의 이송에 대한 발사체의 준비작업이 이루어진다.

2.2 AC 설계 요구조건

2.2.1 AC 일반 설계 요구조건

- ① 연간 발사 횟수 : 최대 4회
- ② 설계 수명 : 15년(단, 건물은 25년, 장비 및 부품류는 15년)
- ③ 설계 수명 내 최대 운용 횟수 : 100 Cycle(발사, 전기체 시험, 창정비 횟수 포함)

2.2.2 AC 구조 요구조건

AC에 들어서는 토목, 건축 시설물과 관련된 구조 요구조건은 다음과 같다.

- ① 조립컴플렉스는 도로, 패드, 엔지니어링 네트워크와 통신을 포함하는 빌딩과 시설물을 갖추고 있어야 한다.
- ② 조립컴플렉스는 ILV 운영을 위한 기술적 시스템과 기술적 장비들, 1단과 상단부 운보드 시스템의 점검 및 시험 장비들, 위성 제어와 시험과 관련된 장비들을 갖추고 있어야 한다.
- ③ 조립컴플렉스에 위치하는 건물과 시설물이 갖추고 있어야 할 기술적 시스템(technical system)에는 AC 전력 시스템, 빌딩내의 가열, 환기, 공조시스템, 수(水)공급, 하수시스템, 실내와 실외 조명시스템, 원격통신 지원 시스템, 화재 감지와 소방 시스템, 낙뢰 방지 시스템, 조립컴플렉스의 주변 지역과 빌딩 근처의 접근에 대한 안전과 보안 시스템을 포함해야 한다.
- ④ 발사체 조립컴플렉스(LV AC) 내의 기술적 장비(technological equipment)들에는 기계적-기술적 장비 set(load-carrying means, mounting-coupling carts, supports equipments), 압축가스 공급시스템, 가스 제어 시스템, MTU(Movable Thermostating Unit), 나프틸 배출 배관 set등을 포함해야 한다.

2.2.3 AC 기능적 요구조건

2.2.3.1 일반 요구조건

AC에서 발사체 조립, 시험등과 관련하여 AC의 효율적인 기능을 수행하기 위한 요구조건은 다음과 같다.

- ① 조립컴플렉스는 KSLV-I 발사체를 성공적으로 개발하기 위한 필수적인 시설중 하나로써, 발사와 발사컴플렉스로의 이동을 위해 ILV의 준비작업을 위한 기술적인 운영

을 제공한다.

② 조립콤플렉스는 다음과 같은 ILV의 준비작업을 제공해야 한다.

- 이송 치구에 의해서 개별적으로 조립콤플렉스로 운반되는 KSLV-I ILV 구성품의 입고 및 점검
 - ILV 구성품의 준비 작업장내 배치한 후, 이송 패키지 및 치구 제거
 - 발사체 온보드 시스템의 전기적 시험
 - 1단부 유공압 시스템의 기밀시험
 - 상단부와 발사체 1단의 연결
 - 전기 배선과 기체 연결 라인의 상태 점검
 - 통합된 ILV 온보드 시스템의 통합 시험
 - 온보드 시스템 전기 시험동안의 발사체 1단의 열·습도 제어와 MTU에 의한 위성의 열·습도제어
 - ILV위의 폭발장치 설치
 - 조립동내에 T/E 입고와 ILV를 수평상태로 눕히기 위한 준비 작업
 - Mounting-coupling carts로부터 ILV의 연결 해제와 ILV의 T/E위에 설치
 - 이송과 공조를 위해 T/E위에 ILV의 고정
 - 발사체 이송 차량(Goldhofer)에 MTU 설치
- ③ 조립콤플렉스는 발사 중지시 발사콤플렉스에서 T/E 위에 실려서 이동되어온 ILV의 조립동내의 재입고 및 ILV 시스템 오작동(誤作動)의 감지와 수리를 위한 작업을 제공해야 한다.
- ④ 조립동에서 T/E와 mounting-coupling carts에 ILV가 얹혀진 상태에서 저장되는 기간은 최대 7일 이내 이어야 한다. 이 경우 운용절차서에 따라 MTU에 의해 위성의 온도조절과 ILV의 유지보수작업을 제공해야 한다.
- ⑤ 조립동의 공간은 ILV 1set이 저장되어야 할 정도의 최소 공간을 제공해야 한다.
- ⑥ KSLV-I ILV의 발사콤플렉스까지의 이송을 위한 통합과 준비 작업 기간은 조립콤플렉스에 발사체 구성체가 입고되는 시점 이후 28일 이내 이어야 한다. 조립동에서 KSLV-I ILV의 통합을 위한 운영 기간은 10일 이내 이어야 한다.
- ⑦ 조립콤플렉스는 발사체의 정기적인 유지보수 일정계획에 따라 technological equipment & technical system에 대한 정기적인 유지보수 계획을 제공해야 한다.
- ⑧ AC 인터페이스는 상세 설계의 초기단계에서 정의되어야 한다.
- ILV 온보드 시스템과 온보드 시스템 점검 장비사이의 인터페이스 목록
 - Technological equipment와 ILV, 구성 성분, ILV 온보드 시스템 점검 장비 인터페이스 목록
 - 기술적 장비의 units와 system 사이의 상호간 인터페이스 목록
 - Technological equipment와 technical systems 사이의 인터페이스 목록

2.2.3.2 AC 시설물 요구조건

AC에 들어서는 시설물에 대한 필수 요구조건들은 다음과 같다.

① 조립콤플렉스의 기술적 시설물(LV ATB)들은 ILV 1

단과 유지보수 장비등을 포함한 기술적인 장비 보관을 위해 필요하며, 장비들과 인력, ILV 구성요소들의 저장이라는 정상적 기능을 제공해야 한다.

② 조립동, PPB, KMB은 고체추진엔진이나 발사체의 폭발 시험 동안에 발생할 수 있는 비상 상황에 대비하여 LV/ILV, 상단부, 기술적인 장비와 운영 요원들에 대한 안전을 제공해야 한다.

③ AC 건물과 시설물들은 건설 법규에 부합되게 지진에 대해 안정적이어야 한다.

④ AC 빌딩과 시설물들은 하층도, 표층수와 강우로부터의 침입으로부터 보호되어야 한다.

2.2.3.3 AC 기술적 시스템 요구조건

AC의 시설물에 구축되는 기술적 시스템에 대한 요구 조건은 다음과 같다.

① AC 기술적 시스템들은 기술적인 장비 기능의 제공, 작업요원 활동, 신뢰도, 안전, 외부 기후 영향으로부터의 보호를 제공하기 위해서 마련되어야 한다.

② AC 전력 공급 시스템은 3상 교류 전류, 정전압 380/220V, 60 Hz 정상주파수를 가지고 LC 전력 소비자들에게 전력을 공급해야 한다.

● steady voltage fluctuation : 380/220 ± 19/11V

● during 1,5 minutes : $380/220 \begin{matrix} +38/22 \\ -57/33 \end{matrix} V$

● steady frequency fluctuation : 60 ± 0,2Hz

③ AC 시설내 가열, 통풍, 공조시스템은 다음을 제공해야 한다.

● 건물 내부의 주위 공기는 + 18°C 로 부터 + 25°C 를 유지해야 한다.

● + 25°C 온도에 공기 상대 습도는 80% 이내이어야 한다.

● 실내공기에 제한된 전체 염소 농도는 0.1 mg/m³ 이내이어야 한다.

● 발사 사이의 시간 기간 내에서(3일 이내), 짧은 시간에서의 온도편차는 + 5°C 로 부터 + 35°C 까지의 범위 내에서 습도가 + 25°C 에서 98%까지 상승하는 것은 적절하다. 다만, 그와 같은 편차의 전체 기간은 AC 운영동안(15년)동안 12달을 넘어서는 안 된다.

④ 수(水) 공급과 하수 시스템은 취수, 세정과 폐수의 제거뿐만 아니라 기술적인 수요자, 소방, 가정용과 음료 공급을 위해 기술적인 수(水)공급을 제공해야 한다.

⑤ 조명 시스템은 AC영역의 외부 조명과 실내의 운영과 비상등을 제공해야 한다.

⑥ 화재감지 시스템은 AC 시설물 내 화재안전 모니터링과 소화(消火)를 제공해야 한다. 소방용 시약들은 운영하는 인력들의 생명과 건강에 대해 안전해야 한다.

⑦ 낙뢰감지시스템(다이버터와 보호 접지)는 시설물들에 대해 보호하여야 한다. 또한 직접 낙뢰에 노출되어 있거나, 부가적인 발생과 실내에서 장비와 구조물위에 고전압에 의한 영향을 받는 장비들을 보호하여야 한다.

⑧ 안전과 접근 제어 시스템은 AC 영역 또는 시설물 실내에 권한을 부여받지 못한 접근이 발생하였을 경우에 대한 AC 안전 요원의 제어와 운영에 대한 고시를 제공해야 한다.

⑨ 조립동, PPB, KMB내에 브리지 기중기가 운용된다. LV ATB내에서 브리지들은 두개의 브리지에(16ton, 3ton) load moving 하는 것에 대비하여 동기식으로 운영되어야 한다. 브리지의 기중기에는 하중을 감지하는 센서가 장착되어 있으며, 감지되는 정보는 브리지 제어 패널에 표시되어야 한다.

2.2.3.4 AC 기술적 장비 요구조건

AC에서 발사체를 운영하는 동안에 필요한 기술적 장비에 대한 요구조건은 다음과 같다.

- ① LV ATB 內에서 사용되고, 위치하고 있는 AC의 기술적 장비는 공급자로부터 이송 수단 위에 ILV 1단을 올려놓는 것, ILV 통합에 대한 1단의 준비, ILV 조립, 시험과 통합된 ILV를 LC에 이송을 위한 준비, 발사 취소에 대비한 ILV와 ILV 구성성분의 운영과 관련된 모든 운영을 제공해야 한다.
- ② 아래의 역학적-기계적 장비 세트는 ILV 구성성분과 통합된 ILV의 운영을 제공해야 한다.
 - set of load-carrying means(LCM) : 1단과 통합된 ILV의 loading and unloading 운영 및 이동, ILV를 T/E위로 16/3ton 브리지 크레인으로 규정된 정밀도를 가지고 이동하는데 사용.
 - set of mounting-coupling carts : 1단과 상단부 이동에 사용, 상단부와 1단의 연결 및 단 연결 시 필요한 정밀도를 가지고 상호간의 방향 전환
 - set of maintenance means(MMS) : 작업자를 작업지점까지 접근하는 기능을 제공
 - set of support equipment : 제거 장비, 기술적 장비 성분 등을 사용하여 과부하 운영의 경우 지원
- ③ AC 압축가스 공급 장비는 다음과 같은 사항을 제공해야 한다.
 - 발사체 1기의 준비 작업을 위해 충분한 양의 압축가스(산소, 질소, 헬륨) 저장능력
 - 발사체의 유공압 장비에 대한 시험 및 다른 용도의 사용을 위해서 필요한 압력, 양, 온도 파라미터와 quality를 구비한 압축가스 공급
- ④ 가스 제어 시스템은 조립동內에서의 산소농도를 연속적이고 자동적으로 측정해야 한다. 이것은 규정치(19%-23%)로부터 비정상적인 산소 퍼센트의 변동에 대해서 작업자에게 알리고, 비정상적인 산소 퍼센트에 대한 신호를 제시한다.
- ⑤ ILV load mock은 LCM, MMS components, 지원 장비 세트의 정기적인 검증과 TE와 erector의 정기적인 점검용으로 제공되어야 한다.
- ⑥ MTU(상단부 열제어 장비로부터)는 ILV 컴포넌트의 자동화된 준비 단계 동안에 ILV 1단의 온도-습도조건을 제공해야 하고, AC로부터 LC, LC로부터 AC까지의 ILV이송 동안 위성의 열제어를 제공해야한다.
- ⑦ 나프틸 배출 파이프라인 세트는 발사 취소의 경우 LV를 운영하는 동안 나프틸 증기에 의한 LV ATB안의 가스 오염을 막기 위해 LV 1단 연료 탱크와 대기의 연결을 제공해야 한다.
- ⑧ 1단과 상단부의 온도 시스템 점검과 시험 장비 set은 ILV 1단의 전기적 시험들, 기록과 processing 및 시

험결과와 문서화를 제공해야 한다.

2.2.4 신뢰도 요구조건

- ① AC에서 repairing시간을 포함하여 규정된 시간(28일)내에 KSLV-I ILV preparation의 완전한 사이클 수행을 위한 신뢰도는 기술적 시스템에 대한 신뢰도 factor 고려하는 것 없이 0.95이상 되어야 한다. 신뢰도 factor의 주어진 값에 대한 confirmation은 계산과 통계학적 이론을 사용하여 수행된다.
- ② AC 상세 설계단계 동안 진행되어야 할 사항은 다음과 같다.

AC reliability assurance program
AC quality assurance program

2.2.4 AC 안전 요구조건

AC를 이루는 구성 요소들과 발사체의 조립과 시험 등의 운영 절차에는 인력, 지역 주민들, 주위 환경, 발사체의 안전에 대한 사항들이 제공되어야 하며, 위험 요인에는 화재 위험, 폭발 위험, 중독성 위험, 기계적 요소 위험, 열(또는 극저온)위험, 전기적 위험, 전자파 위험, 고주파, 음향학적 위험, 취급자에 의한 오작동 등이 있다. 따라서, 이러한 위험 요인들에 대해서 조립콤플렉스는 안전에 대한 국제적인 기준을 근거로 개발되어야 한다. 또한, 최초의 위험 상황에 대해서 운영 요원들에게 경고가 작동되어야 하며, 위험 지역으로부터 안전지역으로 인력들을 대피하기위한 통로가 제공되어야 한다.

2.2.4.1 생태학적 안전 요구조건

AC의 설계 과정에서 수행되어야 할 생태학적 환경 요구조건들은 다음과 같다.

- ① AC의 시스템 설계 단계에서 오염원과 오염원의 방출에 대한 특징을 정의해야 한다.
- ② AC 시스템의 정상 운영과 비정상(긴급상황)운영 두가지 경우에 대해서 발사체 1기의 준비 과정에서 기준이 되는 정량적인 오염 방출치를 결정해야 한다.
- ③ 기생적이며 위험한 오염원을 제거하기 위한 수거 시설이나 장비가 구비되어야 한다.

3. 결론

이상에서 LSLV-I 조립콤플렉스의 시스템 설계 기간 동안 수행한 결과 즉, AC의 일반 설계요구조건, 구조 요구조건, 기능적 요구조건, 안전 요구조건들에 대해서 살펴보았다. 발사체의 총조립과 발사 운용을 위한 효율적인 시설과 공간 및 기술적 지원을 제공하기 위한 최적의 조립콤플렉스 시스템을 구현하기 위해 시스템설계 결과물을 바탕으로 상세설계 단계에서 구체적인 결과물을 얻어야 할 것이다.