

KSLV-I 국제공동개발에 따른 시스템 종합 및 운용개념

이창배*, 원유진**, 조병규***, 조철훈****

The System Integration and Operation Concept based on the KSLV-I International Joint-Development

Chang-Bae Lee*, Yu-jin Won**, Byoung-Gyu Cho***, Chul-Hoon Cho****

Abstract

SI(System Integration) process in KSLV-I development project is integrate whole assemblies which was submitted to system integration supervising team to one complete launch vehicle with proper quality control through test and verification and launch KSLV-I. It is not a one or a few teams' separate job but overall comprehensive job which request all related function group and manufacturing companies' voluntary cooperation. This paper was intended to provide entire SI process outline to whole related function groups and manufacturing companies for better cooperation in SI process and will be revised through continuous discussion among SI supervising group, whole function groups and manufacturing companies.

초 록

발사체 개발사업에서 SI(System integration) 업무란 SI 주관부서로 입고된 발사체 각 부분체들을 시험 및 검사를 통한 적절한 품질관리와 병행하면서 조립하여 하나의 완성된 발사체를 조립하고, 실제로 발사 임무를 수행하는 과정이다. 우주발사체 SI업무는 어느 한 부서의 독립적인 업무가 아니라 모든 기능부서 및 협력업체의 자발적인 협력이 필요한 종합업무이다. 본 문서는 발사체 사업단의 SI업무를 기술함으로서, 발사체 사업에 참여한 기능부서와 협력업체들로 하여금 SI 업무에 대한 이해를 돕는 뿐만 아니라, 실제 SI 업무에서 좀더 효율적인 협업을 위해서 작성되었으며, 이 후 기능부서와 협력업체와의 지속작업 협의를 통해 구체화 될 것이다.

키워드 : 시스템종합(system integration), 엔지니어링모델(engineering model), 비행모델(flight model)

1. 서 론

발사체 사업의 SI(System Integration) 업무는 기능부서나 전문기업에서 제작된 부품(Part)이나

부분체(Assembly)들이 정해진 장소에 입고된 뒤, 이 부분체들과 부품들을 조립하고, 각종 성능-환경시험을 통해 검사하고, 최종 조립된 발사체를 발사하여 위성체(Payload)를 최종 목표 궤도로

* 체계종합그룹(발사체)/cblee@kari.re.kr

*** 체계종합그룹(발사체)/busycho@kari.re.kr

** 체계종합그룹(발사체)/wonyj@kari.re.kr

**** 체계종합그룹(발사체)/cchgong@kari.re.kr

투입하고, 발사 이후의 최종 정리에 이르는 일련의 과정들을 각 기능부서들과 함께 관리, 수행하는 것이다.

이러한 SI 업무동안 많은 기능부서 또는 서브 IPT(Integrated Product/Process Team)들은 발사체 전체 시스템 보다는 자신이 개발책임을 지고 있는 부분 시스템에만 집중하는 경향이 있다. 따라서 성공적인 우주발사체 시스템 SI 업무를 위해서는 업무의 전체적인 흐름과 총조립 및 운용에 대한 개념을 분명히 하여 관련 기능부서에 알려줌으로서, 각 기능부서간의 정보흐름 및 상호작용 등을 명확히 나타내고, 이를 바탕으로 역할분담과 일정관리를 효율적으로 수행해야 할 필요가 있다. 특히 발사체 사업이 국제협력에 의한 개발로 결정되어, 그 범위가 해외업체까지 넘어서는 만큼, 개발 사업 초기부터 기능 부서, SI 업무 부서 그리고 발사체 사업의 여러 이해관계자들 사이에 공통적인 이해와 계획 아래 체계적인 SI 개념을 가지고서 해당 분야의 설계/개발이 필요하다.

본 문서에서는 국제협력에 의한 2단 발사체 개발에 대한 SI 업무에 대한 체계종합그룹의 초안을 기술하였으며, 이 후 유관 그룹과 기관들과의 추가 협의를 통하여 확정될 예정이다.

2. SI 업무의 정의 및 대상

발사체의 SI 업무란 발사체 각 부분체들의 형상/기능 요소의 개발과 함께 발사체 개발/제작된 부분품들을 통합하여 완성된 발사체를 조립, 검사하고 실제로 발사 임무를 수행하는 과정인 발사체 총조립/발사 운용 과정 - 발사체 시스템 통합/운용이다. 여기에는 이송(Transportation), 부분체 조립(Sub Assembly), 납품(Delivery), 총조립(System Assembly), 입고(Check in), 출고(Check out), 시험/검증(Test-Verification)등과 발사 준비, 발사 업무, 발사 후 처리 과정 등과 제반 지원 기간 시스템이 포함된다. 일반적인 발사체 SI 업무의 흐름은 다음과 같다

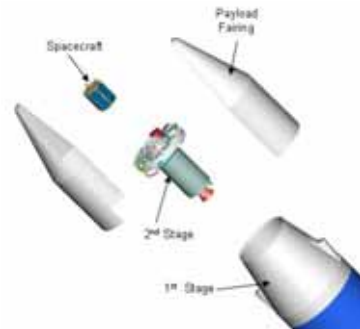


그림 1. KSLV-1의 포괄 분류

- 1단계 : 부품 및 부분체 제작
- 2단계 : 부품 및 부분체에 대한 시험
- 3단계 : 부품 및 부분체 총조립장 입고
- 4단계 : 전체 시스템 최종조립 및 시험
- 5단계 : 발사대 이송
- 6단계 : 발사 전 운용 및 시스템 점검
- 7단계 : 발사
- 8단계 : 발사후 후속 작업

이러한 일반적인 SI 업무의 흐름은 어느 업체나 비슷하지만, 발사체 자세형상, 부품의 조립방식, 이송형태, 그리고 발사장의 운용방식 등에 따라 달라진다.

현재 SI업무의 대상인 KSLV-1은 2단형 발사체로 100 kg 미만의 위성체를 저지구 궤도 (LEO : Low earth orbit)에 투입시키는 것을 목표로 하고 있다. KSLV-1은 아래와 같이 크게 4부분으로 나눌 수 있다.

- 액체 엔진을 사용하는 1단부
- 고체 로켓을 사용하는 2단부
- 위성체(Spacecraft)
- 페이로드 페어링(Payload Fairing)

1단은 해외업체가 개발 납품하는 것으로 차후 위성체 무게를 별다른 변경 사항 없이 늘릴 수 있도록 업그레이드가 가능하도록 제작되어 국내로 납품 될 예정이며, 고체로켓의 2단 및 위성체 그리고 페이로드 페어링은 한국이 개발책임을 가

지고 있다. SI 업무는 다시 시험/검증을 위한 엔지니어링 모델(Engineering Model)과 실제 비행을 할 비행모델(Flight Model)로 달라지는데, 이 문서에서는 실제 비행을 할 비행모델을 기준으로 SI 업무를 기술하였다.

3. 발사체 SI 업무

3.1 1단부 이송

해외업체에서 제작된 1단부가 특별히 고안된 수송기를 통하여 김해 공항에 도착하는 것을 기점으로 1단부에 대한 SI 업무가 시작된다. 일단 도착한 1단부는 공항 내에 위치한 총조립 업체의 검사장으로 이송된 후, 입고에 관련된 종합검사를 수행한다.

모든 검사를 끝낸 1단부는 육상, 해상 이송시 발생이 예측되는 진동이나 염분 뿐만 아니라 부분체들의 특성에 의해 요구되는 청정도(Cleanness), 온도조건을 만족할 수 있는 상태에서 육상경로를 통하여 김해공항과 가까운 항만으로 이송된다. 기본적으로 1단부의 전장, 전폭, 중량 등이 커서 이송 경로상의 도로의 폭, 경사도, 그리고 각종 육교 등의 방해물에 대한 사전 점검이 꼭 필요하다. 항만에서 1단부는 해상운송을 위해 선적된다. 이때 이용되는 선박은 파도간만에 의한 해수높이의 변화에 맞추어 선박의 높이를 항만 도크의 높이와 같도록 유지하는 Ballasting 기능을 갖추어야 한다. 선적된 1단부는 부산을 떠나 전남 고흥의 우주센터로 이송된다.



그림 2. 1단부 이송

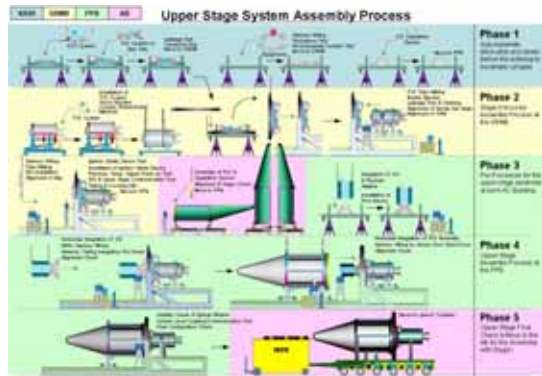


그림 3. 상단부 조립 과정

1단부의 이송은 육상운송과 해상운송이 같이 이루어진다. 1단부의 기능적, 형상적 변형을 일으킬 수 있는 진동이나 환경변화를 감지하기 위한 지속적인 감시 모니터링(Monitoring)은 운송기간 내내 이루어져야 하며, 센터 선착장에서 조립동으로 이송된 후 종합적인 검사가 다시 수행된다.

3.2 상단부 총조립

상단부 총조립 과정은 작업 장소에 따라 그림 3과 같이 크게 5단계로 분류되며, 세부 내용은 아래와 같다.

- 단계 1 : 총조립장 입고전 하부 부분체 조립
- 단계 2 : 2단부 조립
- 단계 3 : 상단부 조립 선작업
- 단계 4 : 상단부 조립
- 단계 5 : 1단부 조립위해 상단부 이송

3.2.1 총조립장 입고전 하부 부분체 조립

먼저 첫 번째 RCS (Reaction Control System) 시스템의 부품 및 배관들을 창원 전문기업에서 분리 스커트(Separation Skirt)와 고체모터 지지대 (SRM support structure)가 결합된 더미 구조 부분체 #1에 선조립한 뒤 항우연으로 이송한다. 선조립된 RCS 시스템 전체를 더미로부터 떼어내어 실제 구조부분체 #1와 결합되어 우주센터 고체 모터동(SRMB :Solid Rocket Motor Building)

으로 이송된다. 이러한 선조립 과정은 RCS 시스템의 조립에 필요한 시간을 최소화 할 수 있다. 고체모터동에 이송되어진 RCS 시스템이 붙은 구조부분체 #1은 준비되어 있던 TVC (Thruster Vector Control)시스템의 베이쪽 장비인 EMDP, 저유기, 축압기, 제어기를 장착하여 보관한다. TVC 시스템은 고체모터에 붙는 장비와 베이에 붙는 장비로 나누어지므로, TVC 시스템의 부품들을 베이와 고체모터쪽에 각각 나누어 장착한 뒤, 두 영역의 부품간의 배관작업을 1번에 끝내기 위해서이다.

또 다른 큰 부분체인 전자탑재물들과 관성항법장치(INS)는 전자탑재물 지지대(Equipment bay)위에서 조립한 후, 그 베이(bay)체로 항우연에서 환경시험을 거친 뒤, 우주센터 고체모터동으로 이송 보관한다.

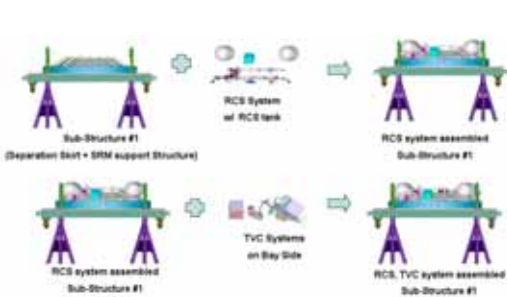


그림 4. RCS 시스템과 베이쪽 TVC 시스템 조립

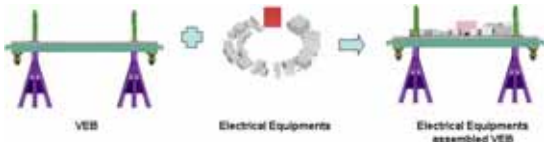


그림 5. 전자탑재물 조립



그림 6. 고체모터 이송

마지막, 고체모터도 점화구동부를 분리한 상태로 SRM동으로 이송 보관한다.

3.2.2 2단부 조립

먼저 고체모터에 고체모터쪽에 붙는 TVC 장비를 장착한 후, RCS와 일부 TVC시스템이 장착된 구조 부분체 #1과 결합한 후 수평상태의 정렬을 확인한다. 이후 베이쪽과 고체모터에 나누어진 TVC 장비간의 배관연결 작업을 수행한다. TVC와 고체모터가 연결되면, 고체모터가 활성화 되었을 때의 노즐이 기축과 일치되는 각도를 찾아 소프트웨어적으로 TVC를 기동시켜 초기 중립각 정렬 작업을 수행한다. 이 부분체에 전자탑재물이 장착된 전자탑재물 지지대를 결합한뒤, 각종 배관작업, 점화구동부 결합, 기능시험, 및 단열작업을 마무리하면, 2단부 조립이 완료된다.

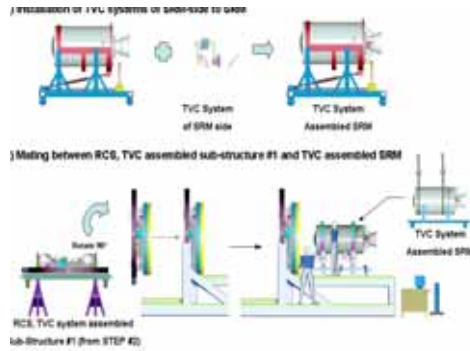
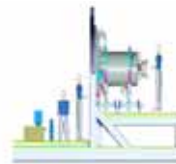


그림 7. SRM과 구조 부분체 #1 조립



4 System-level test of TVC, RCS system



그림 8. 고체모터 초기 중립각 정렬

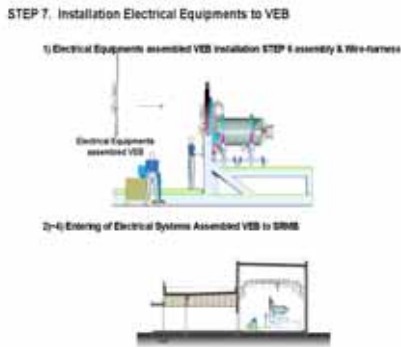


그림 9. 2단부 최종 조립

3.2.3 상단부 조립 선작업

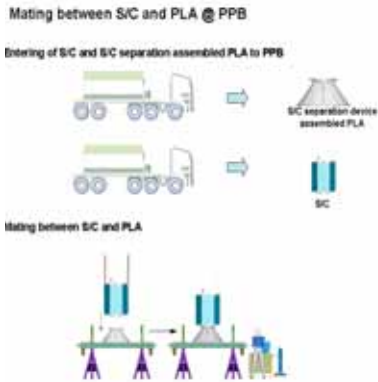


그림 10. 위성과 위성 어댑터 결합

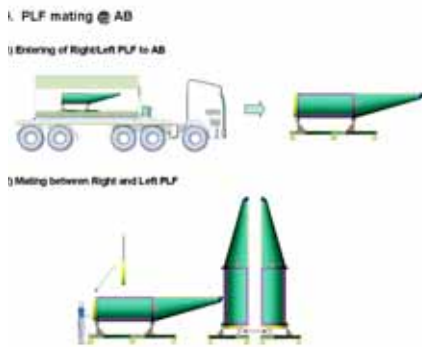


그림 11. PLF 접합

선작업은 크게 위성체와 위성 어댑터를 조립하는 것과 2 Piece로 나누어져 있는 페이로드 페어링을 조립하는 두가지 일이 있다. 이 업무는 각각 위성체 조립동(Payload Processing Building)과 총조립동(LVAB: Launch Vehicle Assembly Building)에서 수행되며, 2단부, 결합된 페이로드 페어링은 상단부 조립을 위해 위성체 조립동으로 이송 보관된다.

3.2.4 상단부 조립

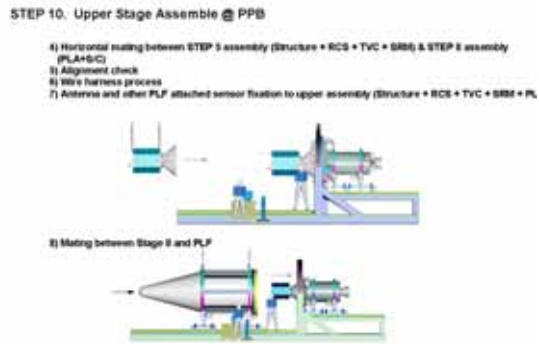


그림 12. 위성체와 2단부 결합

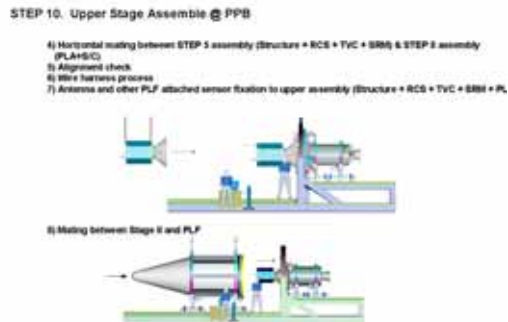


그림 13. 상단부 최종 조립

먼저 위성 어댑터가 결합된 위성체를 위성분리를 위한 파이로 장치를 설치한 후 2단부와 수평 결합한 뒤 측정렬상태를 확인한다. 각종 전선 작업과 안테나 설치 및 기타 페어링조인트 부착물 부착 후 기능시험을 수행한후, PLF를 붙혀 상단부에 대한 조립을 완료한다.

3.2.5 1단부 조립을 위해 상단부 이송

최종 조립된 상단부는 상단부 구조체 정렬 확인시험, 안테나 설치 및 이에 따른 기능시험, Theodolite를 위한 INS 가시성 검사, 시스템 레벨 최종 검사등을 수행한 후, 1단부와의 최종조립을 위해 환경제어를 한 상태에서 총조립동으로 이송된다.

3.3 1단부와 상단부의 최종 조립

총조립동에서는 먼저 상단부 고체모터 지지부창을 통해 상단부 FTS 점화라인을 비롯한 각종 전자장비들의 인터페이스 연결이 끝난 후 상단부와 1단을 연결한다. 조립된 발사체는 각종 인터페이스 및 기능종합 시험을 거친 후 연결후 시험수행한 후 발사를 위해 발사장으로 이송된다.

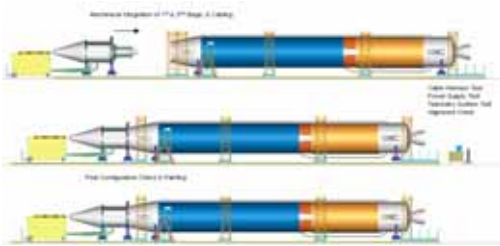
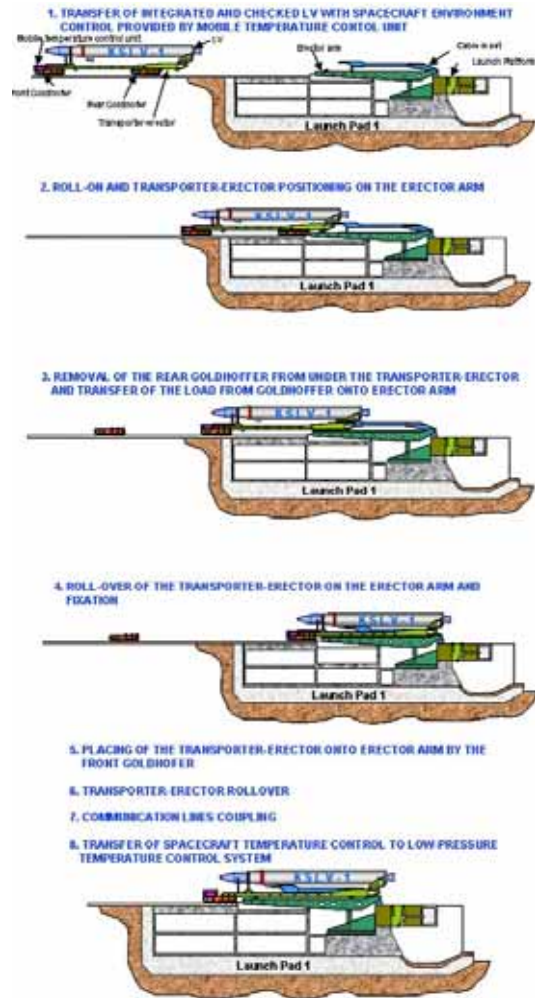


그림 14. 1단부, 상단부 최종조립



그림 15. 발사대로 이송

토단계에 있다. 하지만, 현재 고려되고 있는 안은 아래와 같으며, KSLV-1의 여러 가지 기술요구 조건들에 따라 이후 변경될 수 있다.



3.4 발사과정

이렇게 조립된 발사체는 특수 운송 차공구를 이용하여 발사장으로 수평 이동한다. 발사장의 이송, 발사준비 그리고 발사과정은 아직까지 검

4. 결 론

발사체 개발사업에서 SI 업무란 개발된 발사체 각 부분체들을 통합하여 완성된 발사체를 조립하고, 또한 검사하여 실제로 발사 임무를 수행하는 과정이다. 우주발사체 SI업무는 준수해야 될 일정과 함께 각 기능부서 및 협력업체의 협업이 필요한 종합업무이므로 몇몇 부서들만의 노력으로 수행할 수 없고, 모든 유관부서와 국내외 협력업체의 협업을 통하여 성공적으로 수행할 수 있다.

본 문서에서는 현재 SI 업무 주관부서인 체계 종합그룹이 파악하고 있는 SI업무를 기술함으로써, 기타 기능부서들로 하여금 SI 업무에 대한 큰 밑그림을 그리는데 이해를 주기 위해 작성되었다. 여기에 기술된 SI 업무는 아직도 해외업체와 기능부서들과의 협의중인 안임을 밝히며, 차후 사업의 진행에 따라 더욱 구체화 및 명확화 될 것이다.

참 고 문 헌

1. The Vanguard Satellite Launch Vehicle - An Engineering Summary, 1960.
2. GTV 해외사례 분석보고서, KARI, 2003.
3. KSLV-I 예비안 운영개념안, KARI, 2003.
4. 조철훈, 조병규, 이창배, 이경원, 정의승, "KSLV-I 발사체 시스템 총조립 및 운용개념 연구" 제5회 발사체기술 심포지움, May 2004.
5. 이창배, 정의승, 김우겸, 김경남, 조영훈, 박준성, "우주발사체 시스템의 총조립 개념" 제5회 발사체기술 심포지움, May 2004.

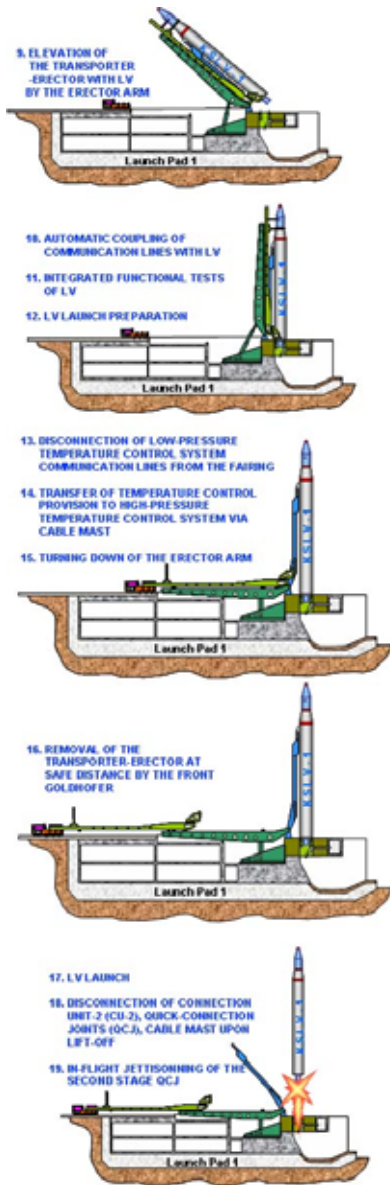


그림 16. 발사 Sequence