

KSLV-I 소형위성발사체 발사장 시스템설계(I)

System Design of Launch Ground Complex for KSLV-I(I)

이영호*, 진승보, 서진호, 홍일희, 조광래 (한국항공우주연구원)

1. 서 론

국내 최초로 개발 중인 소형위성발사체인 KSLV-I은 국내 우주발사체 연구개발의 기본 토대로서 개발의 성공여부가 국가우주개발중장기계획을 완수하는데 대단히 중요한 역할을 담당할 것이다. KSLV-I 우주발사체는 100 kg 급 과학기술위성을 지구 저궤도(Perigee 300±20km & Apogee 1500±150km)에 안전하고 정확하게 투입하는 임무를 수행하게 되며 발사시험은 현재 건설 중인 고흥 우주센터에서 실시될 예정이다. 우리나라 우주개발의 전초기지로 자리 잡을 우주센터는 전남 고흥군 외나로도에 150만평 규모로 세워지며 발사장에는 발사체의 단별조립, 총 조립, 점검, 인증시험 및 발사 사전시험 등을 효율적으로 수행하기 위한 발사체 조립시설, 발사대, 추진제 공급시설, 발사통제시스템 및 부대시설 등의 지상장비를 개발하고 제작, 구축 후 운용할 예정이다. 발사대는 조립타워, 발사패드, 엄비리칼 타워, 화염유도로 등으로 구성되며, 추진제 공급시설은 추진제를 공급, 배출 및 모니터링하는 설비들로 구성된다. 이들 지상장비들은 발사체의 여러 기계장치 그리고 전기, 전자장치와 인터페이스를 가지게 되며 발사체의 발사운용과정에 최적의 조건을 제공하여야 한다. 또한 우주센터에는 위성시험동, 단별 조립동, 위험물 취급소, 교체모터동, 추진기관 시험동 등의 조립/부속시설(Assembly Complex)과 발사체의 비행정보를 수신하는 추적시스템인 추적레이다와 원격자료 수신장비 등의 설치를 위한 추적소, 낙뢰방지시설, 그리고 발사운용에 따른 모든 시험장치와 시설들을 통제하고 모니터링하는 임무통제센터(Mission Control Center)가 개발되어 운용될 계획이다. 우주발사체 발사를 위한 발사장 개발은 국내기술로 개발한 인공위성을 국내 개발한 발사체에 실어 국내에 구축되는 발사장에서 발사성공을 목표로 한다는 점에서 개발의 의의가 중요하고 크다고 할 수 있다.

2. 본론

2.1 지상장비 시스템 설계

지상장비는 우주발사체의 발사준비 및 발사운용을 위하여 발사체의 단별조립, 총 조립, 점검, 인증시험, 발사 사전시험, 추진제공급 및 발사운용 등을 위한 안전한 공간과 이에 소요되는 효율적인 장비를 제공하여야 하는 임무를 가지고 있다. 저예산으로 효율적인 발사장 운용방법을 설계하기 위하여 먼저 해외 선진발사

장을 기술 조사하였다. 전 세계적으로 우주발사체 분야 선진국에 약 19개의 발사장이 운영되고 있고 각국마다 그 나라 고유 발사체와 위성의 특성, 발사안전범위, 발사빈도, 경제력, 지리학적 위치 및 기후 등을 고려해서 발사운용방법을 설계하고, 그에 적합하고 효율적이며 최적의 시설을 설계하여 구축하여 운용한다. 발사장에 구축되는 시설들은 발사운용절차에 따라 두 가지의 발사장 운용방법인 Assemble-On-Pad(AOP) Launch Vehicle and Access와 Integrate-Transfer-Launch(ITL) Launch Vehicle and Access로 대별된다. AOP 방식의 경우 이동식 조립타워 내부에서 발사체의 각 단별로 고정식 발사패드 위에 차례로 쌓아 전체조립하고 검사, 사전시험 등이 수행한 후 발사운용이 진행된다. ITL의 경우에는 수직조립이 가능한 고정식 조립건물에서 발사체가 수직상태로 총 조립한 후 발사직전에 이동식 발사패드를 이용하여 화염편향기로 이동하여 발사하는 방식이다.

우주발사운용(Space Launch Operations)이란 발사준비단계와 비행 임무 수행단계를 지원하기 위한 기능, 전문기술, 시설 및 각종 시스템 그리고 일반적인 infrastructure를 총괄하여 말한다. 또한 위성체를 궤도에 진입시키기까지의 비행절차뿐만 아니라, 발사체의 유지 보수를 위한 특수설비/시설, 특수 장비, 계획, 문서, 인력 그리고 관리운영기술까지 포함한 모든 자원과 기술을 포함한다. KSLV-I 발사장의 운용방식을 결정함에 있어서 발사체 총 조립 방법, 위성체 조립절차, 조립운용방법 및 발사장에서의 각종 장비와 인력 운용의 효율성 등 전반적인 사항을 고려하였으며 AOP 방식으로 결정하였다.

2.2 발사장 배치 및 운용 설계

전체 발사장 부지는 그림 1.과 같이 유효면적이 길이 약 250미터, 폭 150미터의 크기이며 전체 면적 중에서 차기사업을 고려하여 1/2 부분만을 활용하여 모든 시험시설 및 발사지원시설이 배치되도록 하였다.

발사장 부지는 외나로도 해안 끝자락으로 N 34° 25' 45.59", E 127° 32' 03.88"에 위치하며 산을 깎아 만드는 절개지이며 해발 107미터 높이에 건설된다. 지상연소시험이나 발사시험 시 발생하는 후폭풍, 화염이나 기타 위험 상황에 대비하여 이동식 조립타워가 발사패드로부터 안전한 거리로 이탈할 수 있도록 그림 1.과 같이 이동식 조립타워의 레일을 대각선 방향으로 설계하였으며 이때 이동식 조립 타워와 엄비리칼 타워를 연결하는 중심선으로부터 발사 방향까지의 각도는 45

도가 되도록 배치하였다.

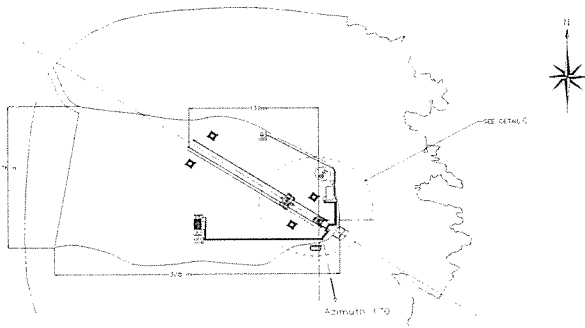


그림 1. 발사장 평면 배치도

발사패드 하부를 통과하여 나가는 화염 유도로의 위치는 폐수 집합 저장소와 함께 형상을 고려하여 끝단이 발사장의 외곽 경사면에 위치하도록 설계 하였다. 또한 폐수 저장소는 지상연소시험이나 발사 시 화염후류와 Acoustic Pressure로부터 발사체를 보호하기 위하여 초당 수톤의 물이 화염에 직, 간접적으로 분사되는데 이때 잔류하는 오폐수를 회수하기 위한 시설이며 이 폐수에는 발사체 연료(Kerosene)가 일부 섞여 있게 되어 환경오염을 유발 시키게 되므로 이를 회수하여 재처리하는 역할을 담당한다.

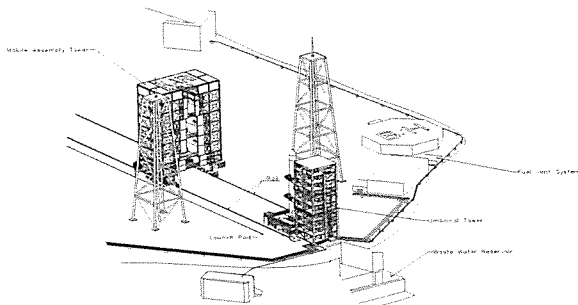


그림 2. 발사장 입체 배치도

추진제 공급시설은 조립타워 이동레일을 기준으로 발사장 양쪽 외곽부로 안전성을 고려하여 분산, 배치시켰으며 가스 및 연료 충진을 위한 차량 접근이 용이하도록 배치하였다. 발사장의 남쪽에 질소, 헬륨, 액체 산소 등의 가스류 저장탱크를 화재에 대비한 방호벽과 함께 배치하였으며 반대편에는 연료(Kerosene)와 물 저장용 탱크를 방호벽과 함께 배치하였다. 추진제 공급시설은 발사 패드 및 엄비리칼 타워와 배관으로 연결되며 발사장의 차량 이동과 유지 보수를 고려하여 발사장 외곽 모서리 면에 인접하도록 배치하였다. 또한 추진제 공급시설로부터 발사패드 및 엄비리칼 타워를 거쳐 발사체에 연결되어야 하는 배관들은 이동식 조립타워와의 간섭을 피하기 위해 모든 배관라인이 한 방향으로 모인 후 엄비리칼 타워의 하단부를 거쳐 발사패드로 진입하도록 배치를 하였다. 시험 때나 비상 시 사용될 액체산소 및 연료 회수 장치는 안전을 고려하여 외곽 경사면과 저수조 배후에 위치하도록 배치하

였다.

발사장 개발에 소요되는 지상기계장비에 대한 WBS를 도출하여 표 1.에 제시하였으며 여기서 Level 1은 Launch Ground System이 되며, Level 2에는 Mechanical, Electrical, Propellant Supply System이 해당된다.

표 1. 지상기계장비 WBS

Level 3	Level 4	Level 5
Mobile Assembly Tower	Tower Cabin	Overhead Crane, Trap Door Folding Floor, Elevator Control Room
	Driving System	Driving Device, Brake System Power Supply System
	Control System	Control Console
	Utilities	Sound/Video Recorder Lighting Facility
Launch Pad	LP Structure	Main Frame, Stairs Safety Fence
	Vehicle Holding & Release System	VHD & VRD, Hydraulic Device, Structure Frame
	Flame Deflector	Reinforced Concrete Structure Water Supply System Waste Water Reservoir
Umbilical Tower	Tower Structure	Main Frame, Stairs Safety Fence
	Umbilical Device	Electrical Umbilical Device Fluid Umbilical Device
	Payload Ventilation & Purge System	Ground Ventilation & Purge System LV/Ground System Interface
Auxiliary	Lightning Tower Theodolite Building Lighting Facility Fire Extinguisher	

발사장 지상장비와 발사체에 대한 통제와 발사운용을 위한 발사통제 시스템의 게이트웨이들을 발사장의 블록하우스 내에 집합 배치하며 발사체로부터 블록하우스까지 연결하는 신호와 통신용 케이블의 길이제한을 150m로 설정하고 발사패드로부터 직선거리로 100m이내에 위치하도록 그림 2.와 같이 배치하였다. 또한 안전을 고려하여 물 저장 탱크를 블록 하우스와 발사패드 사이에 배치하였다. 낙뢰로부터 발사체 및 발사지원시설을 보호하기 위하여 라이트닝 타워 4조와 엄비리칼 타워에 상단에 낙뢰방지시설을 배치하였으며 높이는 약 50미터가 되도록 설계하였다. 라이트닝 타워는 발사패드 양쪽에 2개를 설치하여 발사체를 포함한 지상지원시설을 낙뢰로부터 보호하고 이동식 조립타워가 발사패드로부터 이동하여 고정되는 안전지역에 2개를 설치하여 조립타워를 낙뢰로부터 보호하도록 배치하였다.

2.3 발사패드 설계

발사패드는 발사장 지면에 고정되는 여러 기능성 구조물들로 구성되며 발사체 발사시험 및 지상인증시험을 위한 목적으로 개발한다. 발사패드는 외형상 지면으로부터 패드 상단까지 높이가 3m 이며 펜스를 포함하는 경우 높이가 약 4m이다. 발사패드의 중심구조체는 발사체 조립 및 시험 시에 기준이 되며 조립작업공간으로 사용되고 주요장치 및 부대설비가 설치되는 발

사패드의 가로, 세로는 각각 10m이다.

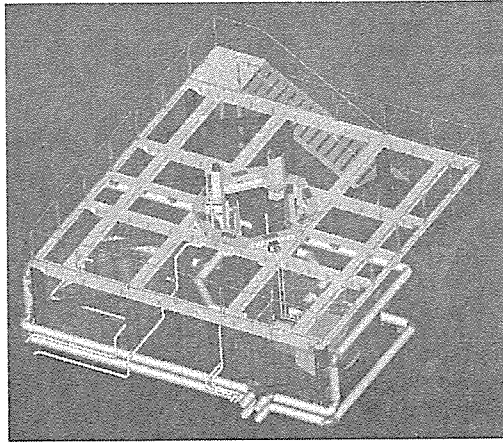


그림 3. 발사패드 설계안

발사패드는 기본적으로 발사체 수직 총 조립의 기준면이 되며 수직조립이 가능한 공간과 도구를 제공하게 되며 비행용 발사체 및 지상인증시험용 발사체에 대한 각종 사전점검, 시험 및 Checkout 등을 위한 시험장치 및 부대설비 등이 설치된다. 또한 지상 추진제 공급설비로부터 발사체로 연결되는 각종 공급 배관류와 전원 공급 설비가 발사패드에 설치되며, 발사체 추력이 안정화 될 때까지 발사체를 발사패드에 고정시키는 발사체 구속장치(VHD : Vehicle Holding Device)와 발사패드로부터 발사체를 안전하게 이탈시키기 위한 발사체 이탈장치(VRD : Vehicle Release Device)가 발사패드 상단부의 4곳에 점대칭으로 설치된다.

발사체 발사 및 지상인증 시험 시에 분사되는 화염 후류와 완전 연소되지 못한 연료 및 고온/고압의 분사가스로부터 발사체와 발사장 내 주변시설을 보호하도록 화염후류를 안전한 방향으로 유도하는 화염유도도(Flame Deflector)가 발사패드 지면 아래에 설치된다.

발사체 발사시험 및 지상인증 시험 시 엔진에서 발생하는 고온/고압의 화염후류로부터 발사패드 및 화염유도도를 냉각시키기 위해 분사되는 물 공급장치(Water Supply System)가 발사패드 하단부에 설치되며 이는 부수적으로 엔진 점화 시 발생하는 Acoustic Pressure로부터 발사체 상단부에 장착된 위성체를 보호하기 위한 음압감소 살수기능을 포함한다.

발사시험 시의 물 공급장치로부터 일시에 분사되는 많은 양의 물을 환경친화적으로 안전하게 저장 및 집하하기 위한 시설인 저수조(Waste Water Reservoir)와 폐수처리시설이 화염유도도 끝단부에 연결되어 설치된다.

표 2. 발사패드 시스템 규격

규격		
구분	상세내역	비고
크기	10×10×4.2m (길이×폭×높이)	펜스까지 높이가 4.2m, LP 상단부까지는 3m
중량	약 52 tons	배관 및 기능성 장치 등을 포함
구조형식	Truss 구조/ Box Beam 구조 체결방식 : 볼트 체결 및 용접	Truss 구조는 용접구조이며 기능성 장치는 볼트 체결방식 적용
주요설비	LP Structure 발사체 구속 및 분리시스템 화염유도도, 저수조, 물 공급장치 LP 추진제 공급 배관	LP Structure는 기능성 장치를 제외한 철골구조물을 모두 포함
부대설비	유압공급장치, 압축공기공급시설 전기시설 : 110 V & 220 V 통신터미널, 산소안정화 장치 등	유압장치/압축공기 생성장치는 LP Room 내부에 설치

발사패드의 하단부에는 Room 형태의 공간이 설치되어 발사패드에 설치된 각종 기구장치의 작동을 위한 동력 공급원인 Hydraulic Power Pack, Air Compressor와 유지보수를 위한 장비와 공구 등이 이곳에 설치되며 화염후류 및 외부 환경으로부터 보호한다.

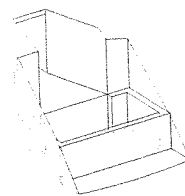
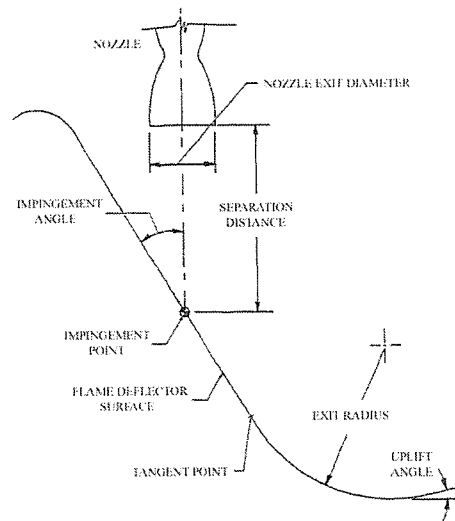


그림 4. 화염유도도 설계안

2.4 이동식 조립타워 설계

이동식 조립타워(Mobile Assembly Tower)는 발사장에서 수행되는 KSLV-I 총 조립, 서브시스템 점검 및 사전시험 및 발사시험 등을 효율적으로 수행하기 위한 공간과 설비를 제공하는 자체 구동시스템을 갖춘 이동식 구조물이다. 이동식 조립타워는 크게 구동시스템(Driving System)과 그 위에 발사체를 보호하고 접근이 용이하도록 설계된 트러스(Truss)의 철골구조인 타워 캐빈(Tower Cabin) 부분으로 나눌 수 있다. 외형상으로는 대략 높이 38×길이 15×폭 18m의 규모이며, 레일 위를 주행 가능하도록 이동식으로 제작하여 발사패드(Launch Pad)와 발사시험 시 대피장소인 안전지역(Safety Zone) 간을 자체 구동력을 이용하여 이동한다.

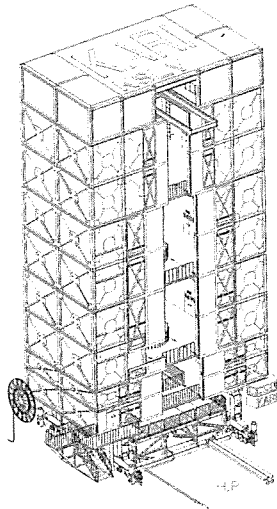


그림 5. 이동식 조립타워 설계안

구동시스템과 발사체 총 조립, 점검, 시험 등의 작업을 수행하기 위해 운용자가 발사체에 접근이 용이하도록 발사체의 주요 작업 높이에 설치되는 Working Platform, 외부로부터 발사체의 각 단별 조립체를 조립 타워 내부로 인양하기 위한 Overhead Crane, Trap Door 및 Folding Floor 등과 작업자의 층간 이동 용이성을 위한 Elevator, 조립 공구 및 검사 장비 사용을 위한 전원공급장치, 공압 공급설비 등이 운용이 용이하게 개발하여 구축될 예정이다.

2.5 옴비리칼 타워 설계

옴비리칼 타워는 발사패드와 동일한 장소에 위치하고 발사체와 가까운 거리에 고정식 철골구조물로 설치되며, 발사체와 위성체의 옴비리칼 배관과 배선을 용이하게 연결하고 발사체 이륙 전 또는 이륙과 동시에 자동 이탈할 수 있는 고신뢰도의 옴비리칼 분리장치로 구성된다.

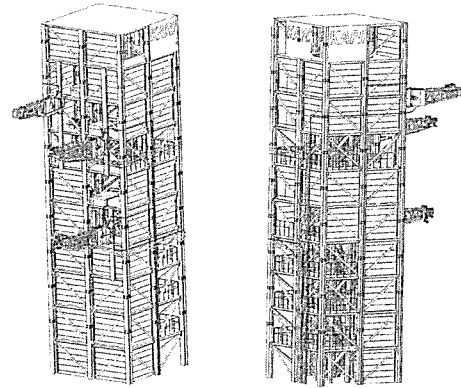


그림 6. 옴비리칼 타워 설계안

표 3. 이동식 조립타워 시스템 규격

규격	
구분	상세 내역
크기	▪ 15×18×38m(길이×폭×높이)
중량	▪ 약 450 ton
구조	▪ Truss 철골구조 (Steel Truss Structure) ▪ 볼트체결 (Bolt Joint type)
주행 속도	▪ Max. 1.5 km/h (25 m/min)
주요설비	▪ 구동시스템:Gantry Crane의 구동시스템 적용 ▪ 크레인(Overhead Crane) : 1조 (15 ton) ▪ 트랩도어(Trap Door) : 전·후방 총 5조 ▪ 폴딩 플로어(Folding Floor) : 1~4층 ▪ 제어실 : 이동식 조립타워 제어 및 통제 ▪ 케이블 릴 : 전원 공급 장치 ▪ 엘리베이터 : 층간 이동의 용이성 고려
부대설비	▪ 고압 압축공기 공급 시설 ▪ 전기시설 : 110V & 220V 공급 ▪ 조명시설/CC-Camera/영상/음향 시설
안전장치	▪ 비상계단 ▪ 스톱 앵커(Storm Anchor) : 작업 중 또는 약전후 시 이동식 조립타워를 고정 ▪ 버퍼 : Stopper와의 충돌 방지 ▪ 레일 브레이크 : 제동장치 ▪ 각종 센서류 : 위치 검출 및 제동용

구성품으로는 발사패드와 안전지역간의 이동을 위한

타워구조물은 발사체에 연결될 옴비리칼 장치를 위해 구축되는 기본적인 구조물로서, 여기에는 옴비리칼 압과 추진제 공급배관, 청정공기 공급배관 및 전기적인 케이블, 커넥터 등이 연결, 설치되고 발사체 이륙 시 옴비리칼 커넥터들이 안전하게 분리될 수 있도록 하는 옴비리칼 분리장치들로 구성된다. 또한 작업자들의 작업의 용이성을 위해 작업대와 안전 계단이 설치된다. 옴비리칼 장치는 전기적인 신호, 고압 또는 저압의 기체(Gas)와 Air-conditioning 그리고 연료, 냉각 그리고 유압에 관련된 유체(Fluid)를 발사체에 공급하는 역할을 한다.

표 4. 옴비리칼 타워 시스템 규격

규격	
구분	상세 내역
크기	▪ 8×8×30m(길이×폭×높이) ▪ LP 방향으로 옴비리칼 장치 6m 돌출
총중량	▪ 약 160톤
형식	▪ Off-Pad 형 옴비리칼 타워
설치 위치	▪ LP로부터 해변방향 후방 1m설치 ▪ LP & MAT의 중심과 UT의 중심이 동일한 선상에 위치
주요 구성품	▪ 타워 구조물 (Tower Structure) ▪ 1,2,3단 옴비리칼 분리장치, Working Platform ▪ 배관 및 전기케이블 고정 장치 류

이 장치의 주요 구성품으로는 엄비리칼 암, 엄비리칼 커넥터, 엄비리칼 밸브류, 엄비리칼 케이블류, 그리고 엄비리칼 분리기구물이 있다. 엄비리칼 암은 커넥터, 케이블 및 배관 등을 발사체까지 안전하게 연결되도록 하는 경로의 역할을 하고, 유압동력원을 이용하여 발사체와 직접 연결된 엄비리칼 커넥터를 안전하고 신속정확하게 이탈시키는 엄비리칼 분리장치가 여기에 포함되어 있다.

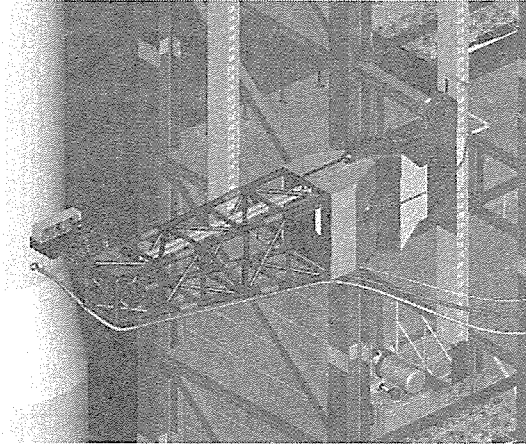


그림 7. 엄비리칼 분리장치 설계안

3. 결 론

본 논문에서는 소형위성발사체인 KSLV-I의 성공적인 발사시험을 위해 개발 중인 고흥 우주센터 내 발사장의 지상기계장비에 대한 시스템설계 내용을 제시하였다. KSLV-I 발사장의 운용방식을 결정함에 있어서 발사체 총 조립 방법, 위성체 조립절차, 조립운용방법 및 발사장에서 각종 장비와 인력 운용의 효율성 등과 해외선진 우주발사체의 발사장 발사운용절차를 분석하고 이를 고려하여 우리 실정에 적합한 발사운용방법의 전반적인 사항을 판단하여 AOP 방식으로 결정하였다.

지상장비는 발사체의 조립과 점검, 사전시험 및 발사시험을 효율적으로 수행위한 안전한 공간과 장비를 제공해야 하는 임무를 가지며 이들 요구사항을 충족시키기 위하여 발사장에 대한 시스템설계 이후 상세설계, 제작 및 총 조립을 통하여 발사장 지상장비가 구축되어 예비시험, 점검 등을 거쳐 KSLV-I의 발사시험 운용으로 이어질 것이다.

소형위성발사체를 위한 발사장 개발은 국내기술로 개발한 인공위성을 국내 개발하는 발사체에 실어 국내에 구축되는 우주센터 발사장에서 발사성공을 목표로 한다는 점에서 개발의 의의가 중요하고 크다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Walter Hammond, "Space Transportation : A Systems Approach to Analysis and Design," AIAA Education Series. AIAA., pp329-378, 1999.
2. Marks' "Mechanical Engineering Handbook" Sixth

Edition. Mc Graw-Hill

3. 조광래 외, 소형위성발사체(KSLV-I) 개발사업보고서(1), 한국항공우주연구원, 과학기술부, 2003.
4. 문신행 외, 한국형 우주센터 건설을 위한 사전기초연구, 한국항공우주연구원, 과학기술부, 2000.