

KSLV-I 총조립용 기계지원장비 개발 및 성능시험

진승보*, 정의승**

Development and Performance test of Mechanical Support Equipment for Assembly/Integration of KSLV-I

Seung-bo Jin*, Eui-Seung Chung**

Abstract

Ground complex composed of Assembly Complex(AC) and Launch Complex(LC) which is located on Oenarodo space center in Kohung is necessary for successful launching of KSLV-I. AC performs accepting of a KSLV-I 1st stage and 2nd stage, stage assembly, the integrated launch vehicle, the checked out, and all kinds of performance test, pre-launch tests and processing. At AC, the mechanical support equipments, that is called the technological equipments, are installed in the Launch Vehicle Assembly Test Building(LV ATB). These technological equipments have diverse forms of an interface with mechanical/electric device of the launch vehicle and have to provide a condition and the performance guarantee of an optimum in the launching operation process. In this paper, the requirements specification and manufacturing performance test for the mechanical support equipments which are used in the assembly/disassembly and test of the launch vehicle are introduced.

초 록

KSLV-I 발사체의 성공적인 발사를 위해서 필요한 발사장(GC, Ground Complex)은 조립장(AC, Assembly Complex)과 발사대(LC, Launch Complex)로 구분되며, 현재 고흥 외나로도 우주센터에 위치하고 있다. 그중 조립장은 KSLV-I 발사체 1단과 상단부의 입고, 총조립, 각종 성능시험, 발사 전 시험 및 준비 점검 등이 이루어지며, 이러한 기술적인 운영을 효율적으로 수행하기 위해 필요한 장비들이 조립장 종합조립동에 설치되어 있다. 이들 운용 장비들은 발사체의 여러 기계장치 그리고 전기, 전자장치와 다각적이고 다양한 형태의 인터페이스를 가지게 되며 발사체의 발사 전 준비점검과정에 있어 최적의 조건과 성능보장을 제공하여야 한다. 본 논문에서는 이러한 운용장비 중에서 발사체의 이동, 조립 및 분해 작업과 시험등을 지원하기 위한 기계지원장비에 대한 개발 요구조건 및 제작 성능시험을 소개하고 있다.

키워드 : 발사장(Ground Complex), 발사대(Launch Complex), 조립장(Assembly Complex)

접수일(2009년12월21일), 수정일(1차 : 2010년 6월 5, 2차 : 2010년 6월 17일, 게재 확정일 : 2010년 7월 1일)

* 발사체사업본부 체계종합팀/jsbjsb@kari.re.kr

** 발사체사업본부 체계종합팀/ces@kari.re.kr

1. 서 론

KSLV-I 발사체의 성공적인 발사를 위해서 필요한 발사장(GC, Ground Complex)은 조립장(AC, Assembly Complex)과 발사대(LC, Launch Complex)로 구분되며, 현재 고흥 외나로도 우주센터에 위치하고 있다. 그중 조립장은 KSLV-I 발사체 1단과 상단부의 입고, 총 조립, 각종 성능시험, 발사 전 시험 및 준비 점검 등이 이루어지며, 이러한 기술적인 운영을 효율적으로 수행하기 위해 필요한 장비들이 조립장 종합조립동(LV ATB, Launch Vehicle Assembly Test Building)에 설치되어 있다[1-2]. 이들 운용 장비들은 발사체의 여러 기계장치 그리고 전기, 전자장치와 다각적이고 다양한 형태의 인터페이스를 가지게 되며 발사체의 발사 전 준비점검과정에 있어 최적의 조건과 성능보장을 제공하여야 한다. 본 논문에서는 이러한 운용 장비 중에서 발사체의 이동, 조립 및 분해 작업과 시험등을 지원하기 위한 기계지원장비(SIAE, Set of Integration Assembly Equipment)에 대한 개발 요구조건 및 성능시험을 소개하고 있다.

2. 기계지원장비 개발 Process

기계지원장비 개발과정은 그림 1의 다이어그램과 같이 국산화 설계를 통해 요구조건 분석 과정을 거친 후 제작사에서 제작 및 제작성능시험을 수행한다. 제작사의 철저한 품질 관리를 거쳐 출하된 제품은 우주센터로 이송되어 우주센터 조립장의 종합조립동 레일트랙위에 설치된다. 설치가 완료되면 종합조립동 설비와의 인터페이스 점검을 위해 발사체의 중량과 외부 인터페이스가 동일한 시험치구인 로드목업을 이용하여 장비에 대한 독립성능시험을 수행하게 된다. 독립성능시험을 마치면 실제 발사체와 동일한 목업을 이용하여 1단과 상단부 조립, 검사, 시험, 인터페이스 점검 등을 확인하는 지상인증시험 과정을 거친다. 지상인증시험을 통과한 후 최종 발사운용 절

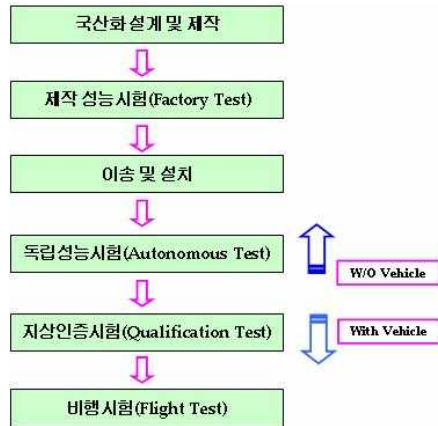


그림 1. 기계지원장비 개발 Process

차에 따라 비행 모델의 발사 전 준비 점검과정을 통해 기계지원장비의 개발이 완료된다.

3. 기계지원장비 설계 요구조건[3]

KSLV-I 발사운영 개념은 조립장에서 1단과 상단부를 수평조립한 후 이송장비를 이용하여 발사대로 이송하여 기립하게 된다. 따라서, 종합조립동에서 수평상태에서 1단과 상단부의 조립을 수행하기 위해서는 상, 하, 좌, 우, 회전의 자유도로 정밀 제어를 할 수 있는 SIAE인 캐리지장비가 최하 4기가 필요하며, 이 장비는 그림 2과 같이 하부 운반차(base trolley), 롤지지부(roll support)로 구성되어 있다. 롤지지부는 구동롤러(live roller)와 아이들 롤러(idling roller)를 움직이는 박스빔(box-section beam), 고정장치(grapple fixture) 그리고 크레이들 회전장치(cradle rotary mechanism)으로 이루어져 있다.

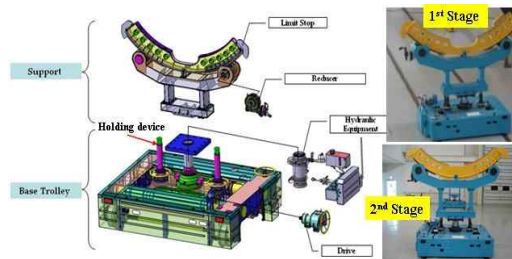


그림 2. Carriage장비 구성 및 형상

고정장치는 크레이들(cradle)을 충분히 견딜 수 있어야 하며, 회전장치(rotary mechanism)는 감쇄기어에 의한 수동으로 회전하며, 발사체 1단을 상단부와 조립하기 위해 요구되는 기축을 기준으로 수평축에 대해서 크레이들의 회전이 가능해야 한다. 스윙기어(swing gear)는 구동롤러(live roller)로부터 분리될 수 있어야 하며, 크레이들은 고무판이 부착되고 스톱퍼(limit stops)가 장착된 용접 구조물이어야 한다. 크레이들 중앙에는 1단부 캐리지장비의 경우 발사체 1단의 산화제 서비스 라인과 전선 덕트(wiring duct)의 통로를 제공하기 위해 큰 홈(groove)을 가지고 있어야 하나, 2단부 캐리지장비의 경우에는 없어도 된다. 롤러가 구르는 면은 두개의 고무블럭(rubber block)이 부착되며, 크레이들 끝단에는 회전 한계를 넘어서지 않도록 스톱퍼(limit stop)이 장착된다.

하부운반차는 1단 및 2단부에 사용되는 캐리지장비가 동일한 형상과 기능을 가진다. 높이가 다른 부품을 정렬하기위한 연결구조부를 가지며, 표준 사이즈의 레일트랙(1524 ± 2 mm) 위에서 트롤리의 이동과 상하, 좌우운동을 하기 위한 운동 메커니즘을 가져야한다. 이동은 핸드드라이브의 구동으로 수행하며, 고정하기위한 브레이크시스템이 있다. 상하, 좌우운동은 유압구동방식으로 설계되어 있으며, 또한 유압실린더 기동을 고정하기 위한 목적으로 잠금(holding or locking) 장치가 있다.

레일간 거리가 1524±2mm인 레일을 따라서 움직이도록 설치되어야 하며, 경사는 7min을 초과하지 말아야한다. 레일헤드 레벨위의 발사체 1단과의 길이방향 중심축위치의 정격높이는 3,450mm 이어야 하며, 발사체 상단부의 결합(분해)의 가능성을 확립하기 위해 적어도 3° 각도까지 길이 방향 축에 대해 발사체조립과 발사체 1단의 회전이 확립되어야 한다. 길이방향에서의 움직임에 대한 구동은 결합과정에서 발사체 1단, 2단의 연결부에 대한 부드러운서, 저속도 움직임이 확립되어야 한다. 발사체 단부의 결합부와 연결되는 기계장비 조립구조는 운영 지침 요구조건에 따라 부적절한 결합의 가능성을 배제해야 한다.

4. 제작 성능시험[4]

4.1 시험 절차

제작사에서 수행되는 SIAE에 대한 제작 성능 시험의 목적은 발사체의 조립 및 분해 절차의 원활한 수행과 준비를 위한 것이며, 이러한 시험을 통해서 제작이 완료된 제품에 대한 품질 보증과 시스템 시험을 위한 운영 및 선적등의 점검을 위한 것이기도 하다. 이러한 시험을 수행하기위한 시험절차는 다음과 같은 시퀀스를 따라서 수행한다.

- 설계문서의 완결성 및 상태 점검
- 기계장비의 완결성 및 상태 점검
- 시험에 필요한 부가적인 장비의 상태 점검
- 시험을 위한 장비 준비 점검
- 정적 시험 수행
- 동적 시험 수행
- 기능 시험 수행

이와 같은 시험을 수행하기 위해서는 시험에 필요한 시편과 시험설비들을 완비해야하며, 15ton급의 크레인이 필요하다. 그리고, 시험에 적용하는 시편은 적용하중치의 3%이내의 오차범위내의 중량 값을 가지는 시편이어야 하며, 정적 시험은 강도 시험과 잔류 변형의 점검을 수행하게 된다. 정하중 시험은 두 가지 단계에 의해서 수행하게 된다.

- 1단계 ; 용접과 설치에 따른 잔류 변형을 제거하기위해서 15분 동안 시험 하중아래에서 유연한 상태의 하중과 조건으로 시험을 한다.
- 2단계 ; 모든 하중상태에서 10분 동안 적용 하중을 2번 가한다. 이때, 부가되는 하중은 시편의 하중도 포함하며, 적용하중은 아래와 같은 계산식에 의한다.

$$P = K_{test} \cdot n_y \cdot g \cdot m \cdot (h)$$

where, $K_{test} = 1.15$ = 안전 계수

n_y = 과하중 계수

$g = 9.81m/sec^2$ = 중력 가속도

$m(kg)$ = 적용하중의 최대 질량

위의 하중을 적용하여 시험을 수행한 후 장비에 대해서 검사를 수행하며, 검사는 엄격하게 진행해야하며, 검사를 수행하는 동안 금속부, 용접부위, 조립부등의 파손이 허용되어서는 안 된다. 잔류변형에 대한 측정은 두 단계에서 하중을 모두 부가한 후에 측정 장비로 측정하며, 이 측정 정밀도는 1mm이어야 한다. 정적 시험을 하는 과정에서 결함이 발견되면 시험은 중단하게 되고, 결함에 대한 제거를 위한 결정을 내린 후에 시험이 재 수행하게 된다.

동하중 시험은 기계장비의 기능과 강도에 대한 점검이 그 목적이다. 시험은 정적시험에서 사용한 시험치구를 사용해서 하고, 모든 운영은 세 번하게 된다.

기능시험은 정적시험과 동적시험이 끝난 장비에 대해서 이루어지며, 시험은 정적시험에서 사용한 시험치구를 사용해서 세 번 반복 시험 하게 된다.

4.2 시험설비 및 부가 하중 요구조건

4.2.1 시험 설비 요구 조건

시험 설비가 구축되는 제작 공장의 바닥은 캐리지가 이동할 수 있는 최소 11m이상의 레일이 설치되어야 하며, 레일간의 간격은 1,524m이어야 한다. 또한 과중한 하중을 선적 가능하도록 15ton급 크레인이 준비되어 있어야 한다. 복잡한 설비만큼 이나 시험을 수행하는 동안 위험에 따른 안전조치가 충분히 마련되어 있어야 한다. 또한, 시험을 수행하기 전에 장비를 운영하는 작업자에 대해서는 안전 교육을 실시하여야 하며 시험하는 동안에는 숙련된 운영자를 제외한 인력은 시험구역 안으로의 출입을 제한하여야 한다.

4.2.2 시험 항목 및 부가 하중

기계장비에 대한 시험 항목 및 적용 하중과 부가 하중의 형태에 대해서는 아래 표1과 같다. 시험 항목은 하부 운반차와 캐리지조합체로 구분되며, 적용되는 하중의 형태는 하중시험을 사용하는 경우와 유압 실린더를 사용하는 경우로 대별된다.

표 1. 시험 항목 및 부가 하중 요건

No	Part Number	Part Name	FT		Mass (KN)	Loading Type
			구분	Force		
1	K-A101.0106	Base Trolley	Static Test	Px	10	Weight
				Px1	10	Weight
				Py	203	Weight
2	K-A101.0106	Base Trolley	Functioning Test	P1	147	Weight
				P2	147	Weight
					30	Weight
4	K-A101.0101	1st Carriage	Static Test	P1 Max	98.8	Weight
				P2 Max	110.4	Weight
	K-A101.0102	1st Carriage	Dynamic Test Functioning Test	P3	22.2	Hyd. Cylinder
				P4	12.5	Hyd. Cylinder
				P5	12.5	Hyd. Cylinder
5	K-A101.0103	2nd Carriage	Static Test	P1 Max	33	Weight
				P2 Max	48	Weight
	K-A101.0104	2nd Carriage	Dynamic Test Functioning Test	P3	0	Hyd. Cylinder
				P4	12.5	Hyd. Cylinder
				P5	12.5	Hyd. Cylinder

4.2.3 하부 운반차(Base trolley) 정하중 시험

하부 운반차에 대한 정하중 시험은 표 1과 같이 간단하게 보이지만, 실제 적용한 하중조건은 표 2와 같이 load case가 8가지에 대해서 각각 수행되어야 한다.

잠금장치(Locking device)가 상승유압실린더(lifting hydraulic cylinder)와의 간격이 5~10mm의 마진을 유지한 상태의 경우와 0mm인 경우로 나누어져 하중이 부과되며, 하중이 부과되는 위치는 그림3과 같은 방법으로 수행된다. 시험 전에 운반차는 초기 위치에 있어야 하며, 핸드 브레이크에 의해서 고정 상태로 놓이게 된다. 부과된 하중에 대한 실린더의 처짐 값을 예측하기 위한 목표 지점은 그림3의 위치에 설정하였다. 시험하중은 운반차의 중심 피봇위에 M24 볼트 16개로 고정시킨다. 수직하중은 그림3과 같이 중심축으로부터 좌우 125±5mm 떨어진 지점에 부가되며(load case 1, case 2), 수평하중은 지상으로부터 3600mm되는 지점에서 하중을 가하게 된다. 위와 같은 조건을 만족시키기 위해 시험 스탠드는 그림 4와 같은 철골 구조물로 되어 있으며, 외부 프레임은 철재 용접구조물이다.

편심이 되어 작용하는 수직하중은 납덩어리를 담고 있는 계측된 중량 박스를 이용하여 구현하였으며, 수평하중은 유압실린더로 부가했다. 안전을 위하여 외부 프레임에 시험 스탠드로부터 100mm 가량의 갭을 가지는 4개의 지지대를 설치하여 중량물의 전복을 방지하였다.

표 2. 하부 운반차 정하중 시험 load case

Load Case	Case 1(A.1)	Case 2(A.2)	Case 3(A.1)	Case 4(A.1)	Case 5(A.1)	Case 6(A.2)	Case 7(A.2)	Case 8(A.2)
Device of lock의 틈이	5~10mm 미만 유지		Device of lock의 틈이 0mm 유지					
Py	203±6	203±6	203±6	170±5	170±5	203±6	170±5	170±5
Px(압축)				10±3			10±3	
Px1(인장)					10±3			10±3

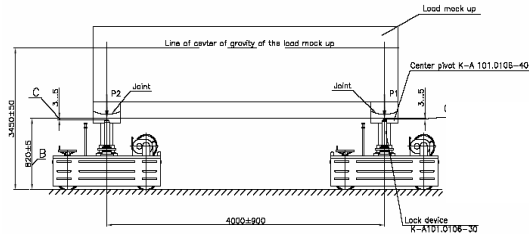


그림 5. 하부 운반차 기능시험 요건

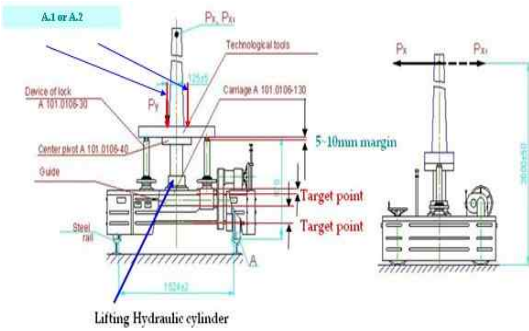


그림 3. 하부 운반차 정하중 시험 요건

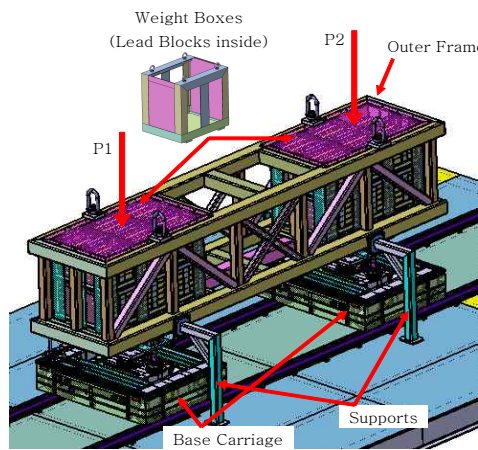


그림 6. 하부 운반차 기능시험 설비 안

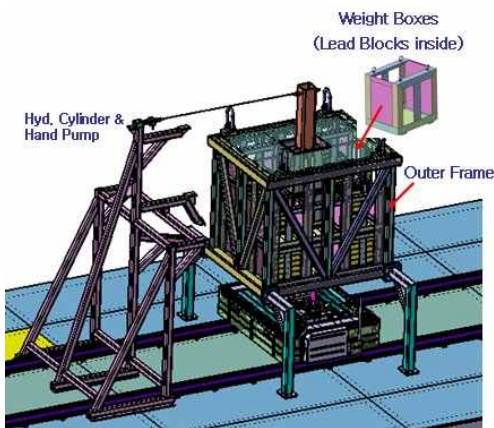


그림 4. 하부 운반차 정하중 시험 설비 안

4.2.4 하부 운반차 기능 시험

하부 운반차에 대한 기능시험의 하중 조건은 표1과 같으며, 시험 전에 운반차는 초기 위치에 있어야 하며, 핸드 브레이크에 의해서 고정 상태로 놓이게 된다. 시험하중은 그림 5와 같이 중심 피봇위에 M24 볼트 16개로 고정시킨다.

위의 시험조건을 모사하기 위해서 시험 스탠드는 그림 6과 같은 구조물로 되어 있으며, 부가되는 P1과 P2는 미리 계측된 중량 박스로 조절한다. 시험 중의 안전을 위하여 외부 프레임에 시험 스탠드로부터 100mm 가량의 갭을 가지는 4개의 지지대를 설치하여 중량물의 전복을 방지하였다.

4.2.5 1단부 캐리지 정하중, 동하중, 기능시험

1단부 캐리지 시스템의 정하중, 동하중, 기능 시험 그림 7과 같은 방법으로 수행되어야 한다. 시험 전에 운반차는 초기 위치에 있어야 하며, 시험편에 가해지는 하중은 시험편의 중심부에 적용되어야 하며, 바닥으로부터 E, F지점을 측정하여 3,450mm임을 확인해야 한다.

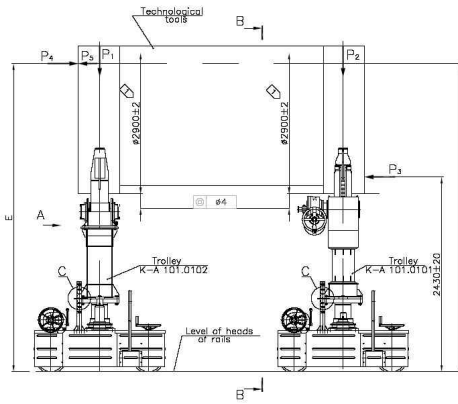


그림 7. 1단부 캐리지 하중 시험 요건

표 3. 1단부 캐리지 부가하중 요건

Carriage 사이의 거리 :		4000 mm							
1st Stage Weight		102.2 kN							
Upper Stage Weight		30 kN							
ILV Weight		132.2 kN							
Options	P1	P2	P3	P4	P5	R	N	V-Dir Weight	Weight Factor
1	98.8	110.4				85±5		209.20	1.58
2	70	82	22.2			85±5	65±5	152.00	1.15
3	30.2	86		12.5		85±5	65±5	116.20	1.14
4	30.2	86			12.5	85±5	65±5	116.20	1.14
5	70	82				85±5	65±5	152.00	1.15
6	61	71.2				85±5	65±5	132.20	1.00

1단부 캐리지에 대한 하중 요구 조건은 표3과 같다. 하중은 정하중, 동하중, 기능시험에 따라 6가지의 하중조건이 부가된다. load case 1번은 수직하중만 작용하는 정하중 시험, load case 2,3,4번은 수직하중과 측하중이 작용하는 정하중 시험, load case 5번은 동하중 시험, load case 6번은 기능시험에 적용된다. 여기서, P1과 P2는 발사체의 수직중량을 부담하여 적용하는 하중이며, P3는 추진제공급라인 수동체결장치의 어댑터와 발사체 1단부 후방부의 결합과 분해시 생성되는 하중이며, P4와 P5는 발사체 1단과 2단부의 결합과정에서 생성되는 하중이다. P6는 발사체를 조립하기 위해 크레이들부를 회전하는 운용과정에서 부가되는 하중이다.

1단부의 편심은 중심축으로부터 R(수평방향)=85, N(수직방향)=65만큼 떨어진 지점이며, 이 편심에 수직하중을 적용하는 것은 발사체가 캐리지 위에 불안정한 상태로 부가되었을 경우인 최악의 시나리오를 가정하였다. 위의 시험조건을

모사하기 위해서 시험 스텐드는 그림 8과 같은 구조물로 되어 있으며 편심에 부과되는 하중에 대해서는 그림 9와 같은 방식으로 시험편의 조합을 통해서 시험조건에 부합되는 하중을 가하게 된다. 측면 하중은 유압실린더의 의해 부가되며, 수직하중은 시험편의 중량으로 적용한다.

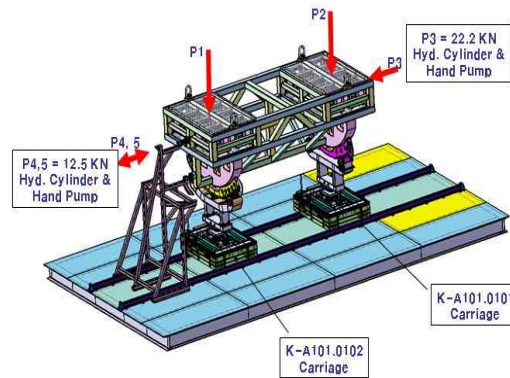


그림 8. 1단부 캐리지 시험 설비 안

- 16 Weight Boxes are used to accomplish the gross weight and CG requirement.

Weights	# of Pb block	Weight
W6	6	231.7
W12	12	395.7
W18	18	559.7
W24	24	723.7
W30	30	887.7
W36	36	1051.7

- Weight Box Distribution for Loading Options

Loading Opt	R1	R2	R3	R4	R6	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R16	R16
Test 1	W6	W36	W36	W36	W6	W36	W36	W36	W30	W36	W36	W36	W36	W36	W36	W36
Test 2, 6	-	W30	W36	-	-	W36	W36	-	W12	W18	W18	W36	W12	W12	W24	W36
Test 3, 4	-	-	-	-	-	-	-	-	W18	W18	W24	W36	W18	W12	W24	W36
Test 6	-	W12	W36	-	-	-	-	-	W8	W36	-	W12	W12	W12	W18	W24

그림 9. 1단부 캐리지 시험 시험편 조합 안

표 4. CATIA 3D모델상 추정치

Loading Opt	P1	P2	P1+P2	L	R	N
Test 1	9893	11214	21107	1874.9	83.8	2.8
Test 2, 5	7125	8253	15378	1853.2	86	66
Test 3, 4	3088	8717	11805	1046.3	87.3	65
Test 6	6134	7263	13397	1831.5	84.33	64.7

위의 하중이 실제 시험에 적합하게 적용되었는지에 대한 검증은 표 4와 같이 CATIA 3D 모

델에서 비교하였다. 그 결과 기저 프레임 구조물의 중량은 6,313kg이며, 모델상 추정치와 실제 적용 하중 요구조건과 오차 범위 내에 있었다.

4.2.6 2단부 캐리지 정하중, 동하중, 기능시험

2단부를 지지하는 캐리지에 대한 정하중, 동하중, 기능시험은 아래의 그림 10과 같은 방법으로 수행되어야 하며, 하중 요구 조건은 표 5와 같다. 2단부 핸들링 치구와 2단부 중량을 합한 총중량은 5ton이며, 2개의 2단부용 캐리지 T3, T4에 의해 지지된다. 2단의 편심은 R=50mm, N=165mm에 위치한다. 이 편심은 상단부 발사체 및 핸들링치구의 무게 중심의 위치를 보수적으로 계산한 값이다. 여기서, N값이 큰 이유는 2단부의 핸들링 치구가 아랫부분에 균형추가 장착되어 있기 때문이다. 1단부에 적용되는 P3는 상단부에는 적용되지 않는다. 측방향 하중인 P4, P5는 1단과 2단부의 결합할 때 발생하는 힘을 모사한 하중이며, 이것은 1단부와와의 연결부로서 작용 반작용에 따라 1단부의 하중조건과 같은 값을 적용한다. 이 하중은 유압실린더에 의해 부과된다.

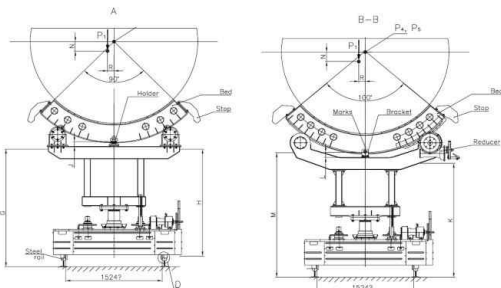
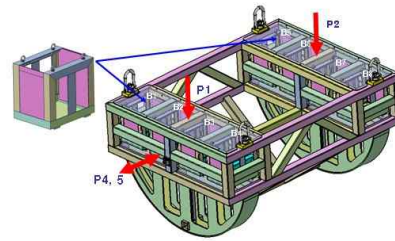


그림 10. 2단부 캐리지 하중 시험 요건

표 5. 2단부 캐리지 부가하중 요건

하중조건 (KN)

Option of loading	P1	P2	P4	P5	N	R
1	33	45	—	—	165±5	50±5
2	28	34	12.5	—	165±5	50±5
3	28	34	—	12.5	165±5	50±5
4	28	34	—	—	165±5	50±5
5	28	34	—	—	165±5	50±5



- Weight Box Distribution for Loading Options

Loading Opt	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
Test 1	W24	W24	W24	W24	W36	W36	W36	W36
Test 2, 3, 4, 5	-	W30	W30	-	W24	W24	W24	W24

그림 11. 2단부 캐리지 시험 시편 조합 안

위의 시험조건을 모사하기 위해서 시험 스텐드는 그림 11과 같은 구조물로 되어 있으며, 편심에 적용되는 P1, P2의 적용하중의 조건을 만족하기 위해서 남으로 채워져 있는 계측된 중량 박스의 적절한 조합으로 수행한다.

4.3 시험 결과

4.3.1 하부 운반차 정하중 시험 결과

하부 운반차는 1개당 8가지의 load case가 적용되므로 전체 32번의 하중조건아래에서 64번의 측정을 수행한다. 그림 12에서 보듯이 시험하중(구조물+납의 중량 합)을 설치한 후, 4.1절의 시험절차에 따라서 1단계로써 잔류 변형을 제거하기 위해서 초기하중(Preliminary loading) 15분을 유지 한 후 하중을 제거한다. 하중제거는 운반차와 시편을 체결하고 있는 볼트를 해제한 후 유압잭으로 시편을 들어올린다.



그림 12. 하부 운반차 정하중 시험

1단계가 끝나면 2단계 하중을 부과하게 되며, 부가하중 10분 유지 후 하중을 제거한 다음 측정 포인트를 측정한다. 다시 동일한 조건의 시험 하중을 가하여 10분 유지 후 하중을 제거한 다음 측정포인트를 측정한다. 두 번의 측정결과 값의 상대변위가 1mm 이내 이면 요구조건에 충족한다. 여기서 사용된 계측장비는 sight level를 사용하였다. 정하중 시험 결과 변형은 측정오차를 고려하면 거의 0임을 확인하였다.

4.3.2 하부 운반차 기능시험 결과

운반차를 레일 위에 설치하고 Unit 3(=T3)에 3ton (14.7ton) 및 Unit 4(=T4)에 14.7ton (3ton)의 하중을 그림 13과 같이 적용하였다. 시험은 아래와 같은 기능점검을 수행하여 이상 유무를 확인하였다.

A. 운반차의 K-A101.0107-10 유압실린더를 최대, 최저 300mm 이동(상하 운동)하여 이상 유무 확인.

B. 운반차를 좌·우측 끝단으로 300mm이동(중방향 운동)하여 이상 유무를 확인.

A~B까지 총 3회 반복 실시하여 기능에 이상이 없는지 확인한 결과 이상이 없음을 확인하였으며, 마지막으로 운반차의 드라이브 구동으로 레일을 따라 전·후 5m 이상 이동시켜 이동이 용이한지에 대한 확인을 마쳤다. Unit 3과 4의 하중을 바꾸어 위의 시험을 반복 실시하여 요구조건에 충족함을 확인하였다.



그림 13. 하부 운반차 기능 시험

4.3.3 캐리지 정하중, 동하중, 기능 시험 결과

1단부 캐리지에 대한 정하중, 동하중, 기능 시험 설비는 그림 14와 같이 구성하였으며, 정하중 시험은 하부 운반차의 정하중 시험 절차와 동일한 방법으로 수행하였다. 하중조건은 표 3의 load case 1,2,3,4번 값을 적용하였으며, 변형량 측정은 그림 14와 같이 6포인트에 대해서 수행하였으며, 측정결과는 표 6, 7, 8, 9와 같다. 여기서, G, H, K, M은 sight level로 측정을 하였으며, J, L은 버니아캘리퍼로 측정하였다. 동하중시험은 load case 5번을 적용하여 작동성을 점검하는 시험으로서, 캐리지의 감속기를 이용하여 지지부 (lodgement)를 좌우측의 스톱퍼까지 회전시킨 결과 작동성에 문제가 없음을 확인하였다. 또한, 회전한 상태에서 정지했을 경우 지지부와 시험치구 사이의 미끄럼 현상이 발생하지 않음을 확인하였다. Load case 6번을 적용한 기능시험에서 적용 하중 아래에서 지지부를 좌우측의 스톱퍼까지 회전시키는 3회 반복 시험 결과 문제가 없음을 확인하였으며, 최대회전각 측정 결과 요구조건인 10°에 정확하게 일치함을 확인하였다. 또한, 캐리지의 눈금자가 초기 상태인 0mm에서 150mm 상승과 150mm 하강을 했을 때 rail 하단부에서 발사체 중심축까지의 거리를 두 지점(E, F) 측정하였다.(중립상태에서 rail에서 발사체 축중심까지의 거리는 3450±10mm임) 측정은 두 지점 E(최대상승시-3595mm, 최대하강시- 3295mm), F(최대상승시-3600mm, 최대하강시-3300mm)에서 수행되었으며, 최대상승과 하강시의 E, F 높이차이가 20mm 이내이어야 하는 요구조건을 만족하였다.

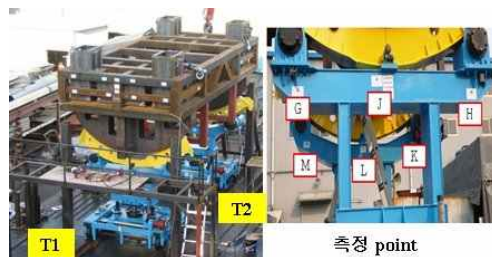


그림 14. 1단부 캐리지 복합 시험설비

표 6. Load case 1번 시험 결과

항 목	Point 측정치(mm)					
	G	J	H	M	L	K
1차결과(D1)	1769.95	85.0	1768.3	1762.0	102.5	1760.5
2차결과(D2)	1770.00	85.0	1768.3	1762.0	102.5	1760.5
변형량 (D2-D1)	0.05	0	0	0	0	0

표 7. Load case 2번 시험 결과

항 목	Point 측정치(mm)					
	G	J	H	M	L	K
1차결과(D1)	1769.5	85.2	1768.5	1761.9	102.5	1760.4
2차결과(D2)	1769.5	85.3	1768.5	1761.8	102.5	1760.3
변형량 (D2-D1)	0	0.1	0	-0.1	0	-0.1

표 8. Load case 3번 시험 결과

항 목	Point 측정치(mm)					
	G	J	H	M	L	K
1차결과(D1)	1769.4	85.0	1768.1	1762.3	102.5	1760.9
2차결과(D2)	1769.4	85.0	1768.3	1762.2	102.5	1760.7
변형량 (D2-D1)	0	0	0.2	-0.1	0	-0.2

표 9. Load case 4번 시험 결과

항 목	Point 측정치(mm)					
	G	J	H	M	L	K
1차결과(D1)	1769.5	85.0	1768.3	1762.1	102.1	1760.7
2차결과(D2)	1769.4	85.0	1768.2	1762.2	102.0	1760.7
변형량 (D2-D1)	-0.1	0	-0.1	0.1	-0.1	0

2단부 캐리지에 대한 정하중, 동하중, 기능 시험 설비는 그림 15와 같이 구성하였으며, 하중조건은 표5의 load case값을 적용하였다. 2단부 캐리지에 대한 복합시험은 부과하중조건만 조금 다를 뿐 1단부 시험과 동일한 절차에 따라서

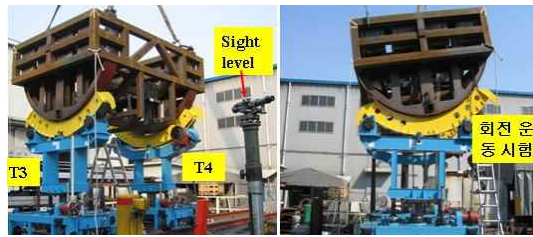


그림 15. 2단부 캐리지 복합 시험설비

수행되었으며, 시험결과 모두 요구조건에 충족함을 확인하였다.

5. 결 론

우주센터 조립장내 종합조립동에서 사용되는 총조립용 기계장비에 대한 제작 및 성능시험을 완료한 결과 제품의 기능 및 성능에 문제가 없음을 확인하였다. 기 완료된 제품에 대해서는 우주센터 종합조립동으로 이송하여 작업장에 설치한 후 지상인증시험을 거쳐 최종 비행 모델의 총조립에 사용되어 발사 전 준비 점검과정에서 부적합사항 없이 성공적으로 임무를 수행할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 진승보, 서진호, 원유진, 조병규, 정의승, "KSLV-I 조립장 구축 현황", 9회 우주발사체 심포지움, pp 20-23, January 2008
2. 진승보, 이영호, 정의승, 박정주, 조광래, "KSLV-I 조립복합시스템 설계," 한국항공우주 추계학회, 2005. 11. 10
3. 진승보, 원유진, 정의승, 박정주, 조광래 "KSLV-I 총조립용 기계지원장비 개발요건", 한국항공우주학회 춘계 학술발표대회, pp 523-526, Nov 2007
4. 진승보, 정의승, 박정주, 조광래, "KSLV-I 단조립용 기계장비 제작성능시험", 한국항공우주학회 2008 추계 학술발표대회, pp 523-526, Nov 2008