

대형 열진공챔버용 내부 위성체 근접 지구 설계

이상훈 * 조혁진**, 서희준***, 문귀원****

Design of Access Fixture for a Large Vacuum Chamber

Sang-Hoon Lee *, Hyokjin Cho**, Hee-Jun Seo***, Guee-Won Moon****

ABSTRACT

Thermal vacuum test should be carried out to verify the performance of the S/C on the ground under the simulated space environment. KARI already completed the construction of a Large Thermal Vacuum Chamber(LTVC) with 8 m of diameter and 10 m of length dimension. LTVC is for the purpose of performing the orbital environment test for large Space Craft(S/C). Inside LTVC, S/C is much smaller than LTVC. For the function test of S/C during the thermal vacuum test, the S/C has to be connected to Electrical Ground Support Equipment(EGSE) which includes several cable and RF wave guide inside LTVC. Also, MLI should be installed on S/C before the test. But it is very difficult to access the S/C inside big LTVC. To solve the accessibility to the S/C inside LTVC, KARI designed an access fixture. This fixture provides easy access to the any S/C thus can help safe installation and saving time for the related work inside LTVC. This paper describes whole process for the design of the access fixture.

초 록

우주환경은 고진공 환경과 태양 복사열에 의한 고온 환경 및 극저온이 반복되는 가혹한 환경으로, 위성체는 지상에서 발사되어 우주궤도에 진입한 순간부터 이러한 우주환경에 노출되어 위성체의 주요부품에 기능장애가 발생하고 결국 임무의 실패로 이어지기도 한다. 따라서 위성체는 지상에서 우주환경시험을 거쳐 기능 및 작동상태를 점검해야 한다. 한국항공우주연구원에서는 정지궤도 위성과 같은 대형 위성체의 시험을 위해 $\phi 8m \times L10m$ 급의 대형열진공챔버를 국산화 제작하였다. 대형챔버 내부에서 우주환경시험을 수행하기 위해서는 각종 EGSE cable의 연결, MLI 도포 및 대형 챔버 내부에 대한 접근이 필요하다. 대형열진공챔버는 위성체의 크기에 비해 매우 큰 진공용기로 실제 작업시 위성체에의 접근이 용이하지 않다. 이에 대형열진공챔버 내부에서 위성체 및 챔버 내부 접근의 용이성을 제공하는 전용 지구의 필요성이 대두되어 이를 설계하고자 하며, 본 논문은 access fixture라 불리는 전용지구의 설계 과정에 대해 설명한다.

Key Words : LTVC, Access fixture, Space craft, Thermal vacuum tesst, EGSE, FEM

* 이상훈, 한국항공우주연구원 위성연구본부 위성시험실 우주환경시험팀 leesh@kari.re.kr
** 조혁진, 한국항공우주연구원 위성연구본부 위성시험실 우주환경시험팀 witycho@kari.re.kr
*** 서희준, 한국항공우주연구원 위성연구본부 위성시험실 우주환경시험팀 seohj@kari.re.kr
**** 문귀원, 한국항공우주연구원 위성연구본부 위성시험실 우주환경시험팀 aeromoon@kari.re.kr

1. 서론

우주환경은 고진공 환경이며 태양 복사열에 의한 고온 환경 및 극저온이 반복되는 가혹한 환경으로 특징지어진다. 위성체는 지상에서 발사되어 우주궤도에 진입한 순간부터는 계속해서 우주환경에 노출되며 이러한 가혹한 우주환경에 의해서 위성체의 주요 부품에 기능장애가 초래되기도 하고 이는 결국 임무의 실패로 이어지기도 한다. 즉, 우주환경은 지상환경과는 판이하게 다르기 때문에 지상에서는 제대로 동작하는 것으로 관찰되는 위성체가 우주환경에서는 예상하지 못한 기능 장애를 보이기도하고, 이는 때때로 임무성공에 치명적인 영향을 미치기도 한다. 위와 같은 이유들로 인하여 위성체는 지상에서 우주환경시험을 거쳐 기능 및 작동상태를 점검해야 한다[1-2].

한국항공우주연구원 우주환경시험탑에서는 대형열진공챔버 시스템의 국산화 제작을 성공적으로 수행하여 각종 대형 위성시스템의 열진공시험에 사용 중이다. 위성체는 열진공시험을 위해 청정 조건을 갖춘 조립/준비실에서 조립을 마친 뒤, 열진공 챔버 내부에 장착 된다. 챔버 내부에 장착된 위성은 그 기능시험을 위하여 챔버 외부의 시험장비들과 연결이 필요하다. 각종 electrical cable, 고주파 RF cable 및 wave guide 등이 위성체와 외부 시험장비들 사이에 연결이 된다. 그림 1에는 직경 9m, 길이 10m의 대형열진공챔버 내부에 설치된 위성체 형상이 잘 나타나 있는데, 챔버 사이즈에 비해 작은 위성체에 cable 등을 연결하는 것이 매우 어렵고 위험하다. 이에 대형열진공챔버 내부에서 안전하고, 쉽게 위성체에 접근하기 위한 근접치구(access fixture) 제작을 위한 기술적 사양을 다음과 같이 기술한다.

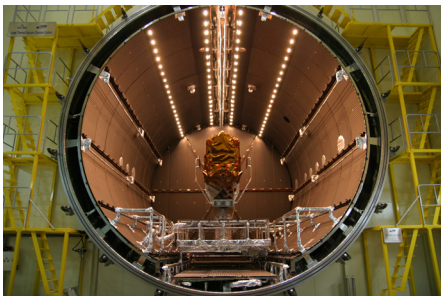


그림 1. The S/C inside LTVC

2. 설계 조건

근접치구 설계 조건은 챔버 내부 위성의 설치 조건 및 안전, 그리고 작업자의 안전을 고려하여 수립되었다. 각 요구 조건은 Table 1과 같이 정리된다.

표 1. Key performance requirements of the KARI fixture to access the S/C

Dimension	1) height - less than 2.9m 2) width : about 1.0m which is movable width using platform rail 3) length : about 1.5m (working plate)
support weight	max. 200kg (2 person)
weight	less than 1,500kg
speed	1) vertical : 133mm/s 2) horizontal : 100mm/s
material	AL 6061
Access area	1) right-left using platform rail (10m) in LTVC 2) up-down : max. - shroud top min. - less than 2m from Platform 3) work plate front-back : up to chamber center
Safety	overturn protection when 2 person work on fixture
Others	1) after installation of satellite, fixtures should be removed easily from LTVC. 2) all kind of oil forbidden in Access Fixture

근접치구에 대한 상세설계는 위성 및 챔버의 크기, 무게, 진공 호환성, 안전 그리고 기존 챔버 내부 구조물과의 상호작용을 고려하여 수행되었다. 특히, 위성 뿐만 아니라 챔버 내벽에도 접근을 용이하도록 하기 위해 telescope system을 적용하였다. 근접치구는 기본적으로 작업판, 이동

장치, 지지대, 레일, 안전장치 및 제어장치로 구성이 된다. 대형열진공챔버 내부 제한 조건 및 Table 1의 요구조건을 만족하도록 설계된 근접치구의 기본 개념도는 Fig. 2와 같다.

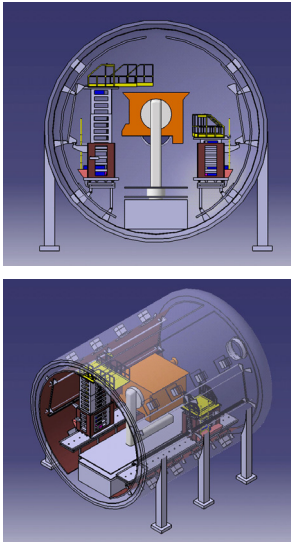


그림 2. Conceptual design for the Access Fixture

3. 해석

대형열진공챔버를 설계 제작할 당시 근접치구와 같은 대형구조물의 내부 설치는 고려되지 않았기 때문에, 챔버 내부에 근접치구를 설치하기 위하여서는 먼저 챔버 자체의 안전성을 확보하기 위한 상세 구조해석이 필요하다. 아울러, 근접치구 자체의 안정성 확보를 위한 구조해석이 수행되었다. 구조해석은 ANSYS 코드를 이용하여 수행되었고, 다음 3 가지 사항에 주안점을 두었다. ;

- 1) 챔버 내부 플랫폼 및 지지대의 항복하중
- 2) 근접치구가 수평방향으로 최대 펼쳐졌을 경우 전복 가능성
- 3) 근접치구가 수평방향으로 최대 펼쳐졌을 경우 수직 방향의 변위

3.1 대형열진공챔버 구조 해석

대형열진공챔버 내부에는 총 4개의 플랫폼이

설치되어 작업자의 이동 및 작업 수행이 가능하도록 되어 있으며, 플랫폼은 지지대 상부에 위치한다. Fig. 3은 지지대 및 플랫폼을 나타내고 있으며, 근접치구는 지지대 상부의 플랫폼에 설치된다.

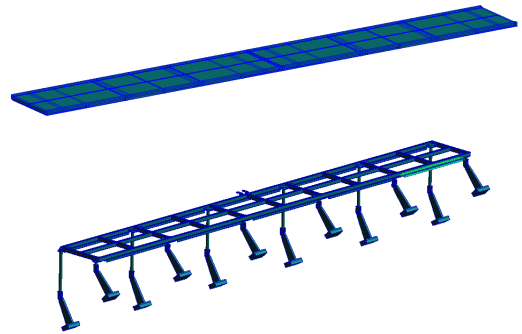


그림 3. Platform and supporting structure model

지지대는 대형열진공챔버의 양쪽에 설치가 되어 있고, 두 개의 플랫폼이 각각 한쪽에 쌍으로 놓여진다. 하나의 플랫폼에는 8개의 바퀴가 장착되어 있다. 플랫폼과 지지대는 SUS304로 제작이 되었고, 그 물리적 특성[3-4]은 Table 2에 나타난다.

Table 2 The specification of materials

Material	Young's modulus	Poisson ratio	Yield strength
AL6061	68.9(kN/mm ²)	0.33	115 (N/mm ²)
SUS304	200(kN/mm ²)	0.29	215 (N/mm ²)

먼저 플랫폼에 대한 해석이 수행되었다. 해석에서 하중은 3.5 TON(실제 하중(근접치구 + 작업자 2인)의 2배)으로 가정하였으며, 하중은 근접치구의 6개의 바퀴에 동일하게 분포하는 것으로 설정하였다. 플랫폼 구조에 따라 해석은 Fig. 4와 같이 다음 2가지 조건을 고려하였다.

- 1) Case 1 : 근접치구가 플랫폼의 중앙에 위치
- 2) Case 2 : 근접치구가 두 플랫폼의 중앙에 위치 (하나의 플랫폼의 끝단)

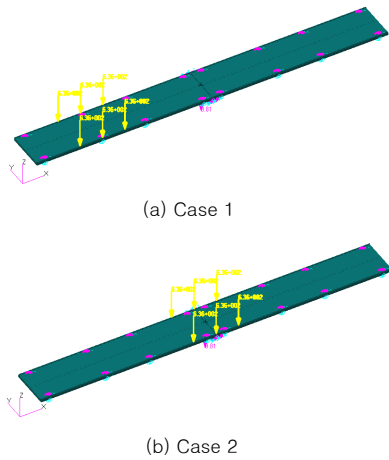


Figure 4. Load condition and Boundary condition for platform analysis

Table 2에서 보는 바와 같이 SUS304의 yield strength 는 215 N/mm² 이다. Fig. 5는 두 가지 경우에서 더 나쁜 조건인 case 1에 대한 해석 결과를 나타내고 있는데, 지지대의 바닥 부위에서 최대 변위는 1.01 mm 이고 최대 Von-Mises stress 는 191 N/mm² 로 허용 범위 내에 있음을 나타낸다. Table 3에 해석 결과가 정리되었다.

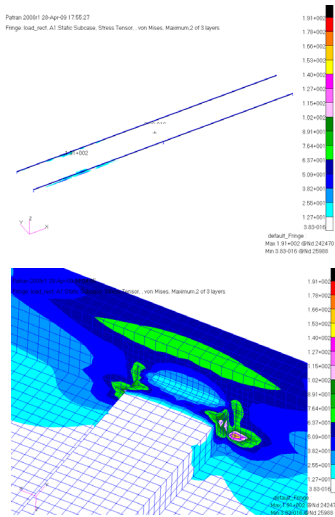


Figure 5. Platform analysis result for case 1 (The worst case)

Table 3 Analysis result for the platform

	Von-Mises Stress (N/mm ²)	Max. displacement (mm)	Yield strength (N/mm ²)
Case1	191	1.01	215
Case2	71.3	0.645	215

지지대는 하나의 수평빔과 여섯 개의 수직 버팀목으로 구성되어 있으며, 챔버에 고정 부착되는 구조물로서 챔버 내부의 저온 환경을 고려하여 SUS304L로 제작이 되었다. 해석은 플랫폼의 해석결과를 반영하여 Fig. 6과 같은 두 가지 경우를 고려하였다.

- 1) Case 1 : 플랫폼 해석 case 1의 경우
- 2) Case 2 : 플랫폼 해석 case 2의 경우

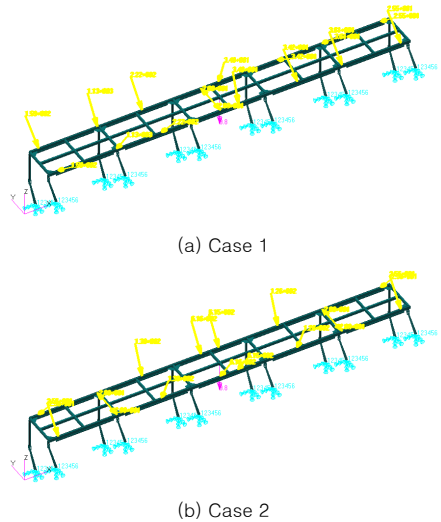


Figure 6. Load condition and Boundary condition for supporting structure analysis

Fig. 7 은 가장 나쁜 조건으로 해석된 case 1에 대한 해석결과를 나타내고 있는데, 수평빔의 상부에서 최대변위는 0.55mm이고 최대 Von-Mises stress는 173 N/mm² 로 나타난다. 결과값은 허용 범위를 만족하고 있으며, Table 4에 해석 결과가 정리되었다.

Table 4 Analysis result for the supporting structure

	Von-Mises Stress (N/mm ²)	Max. displacement (mm)	Yield strength (N/mm ²)
Case1	173	0.555	215
Case2	149	2.69	215

히 해석모델에서는 치구의 전복을 막기 위하여 전후에 고정점을 가정하였다. 고정점은 노란색으로 표시되어 있고, 바닥과 바닥으로부터 1,560mm 높이에 위치한다. 해석에 적용된 조건은 2명의 작업자 무게의 2배를 가정하여 200kg mass 두 개를 작업대 끝단에 설치하였다. 근접치구는 수직/수평방향으로 3단의 접이식 장치를 사용하였고, 수직방향으로는 300mm의 중첩 구간이 있고, 수평 방향으로는 400mm의 중첩구간이 각 두 곳씩 존재한다.

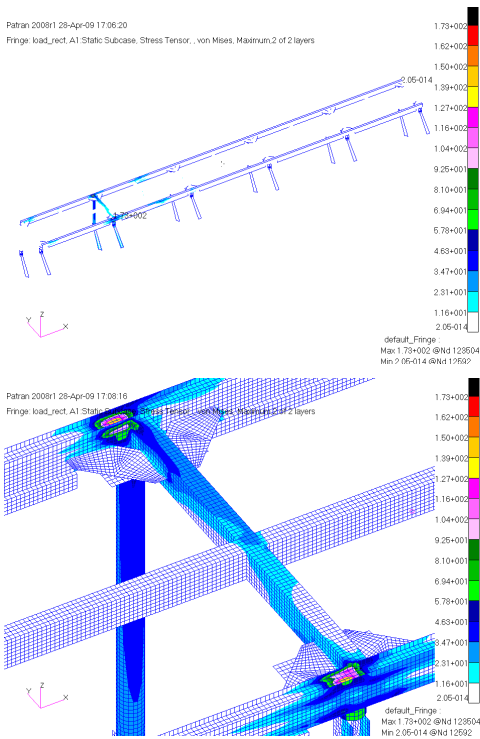
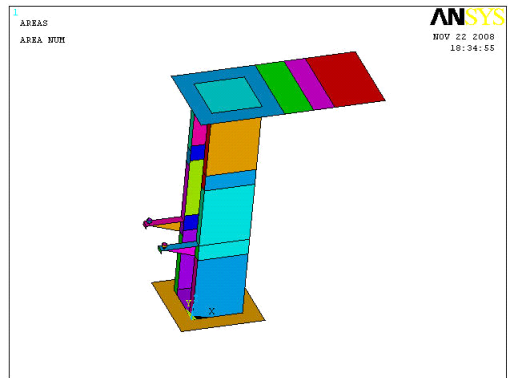


Figure 7. Supporting structure analysis result for case 1 (The worst case)

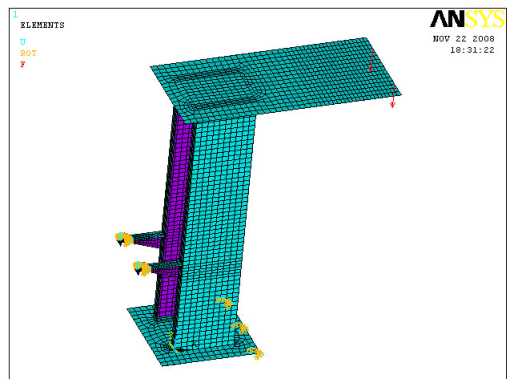
이상과 같은 대형열진공챔버 내부 구조물에 대한 안전성 평가를 위하여 수행한 구조해석 결과 약 1.5 TON 가량의 근접치구를 대형열진공챔버 내부에서 운용 가능함을 알 수 있다.

3.2 근접치구 해석

Fig. 8은 근접치구에 대한 3D 모델과 구조해석을 위하여 세분화된 형상을 보여주고 있다. 특



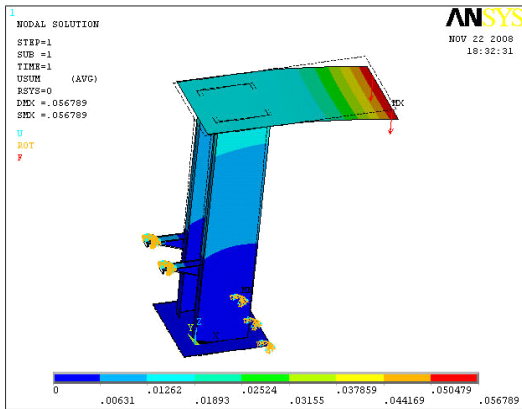
(a) 3D model



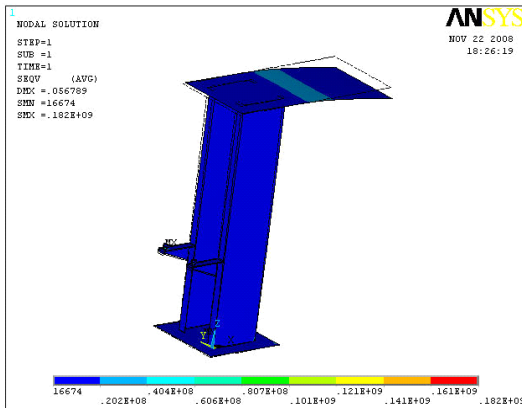
(b) Mesh model

Figure 8. Model of the fixture with 3-step vertical telescopic structure.

해석결과는 Fig. 9와 같으며 수평방향으로 작업대가 최대한 펼쳐졌을 경우 최대 변위는 51.2mm 이고 최대 응력은 42.6 MPa로서 Table 2에서 제시한 알루미늄에 대한 제한조건을 만족함을 보여준다.



(a) Maximum displacement



(b) Maximum strength

Figure 9. Analysis result for Fig. 8

4. 이송장치

수직 및 수평 방향으로의 이동을 위한 접이식 장치는 SERAPID 사의 제품을 이용한다. Fig. 9는 SERAPID 사의 접이식장치에 대한 개념도를 나타낸다. 수직 방향의 경우 최대 변위가 3,000mm인 LINKLIFT 50 모델이며, 수평방향의 경우는 최대 변위가 2,000mm인 CH40PSR2000 모델을 사용하였다. 모델은 최대 이송거리, 하중 및 제품 사이즈 등을 고려하여 선정하였다. 특히, 근접치구는 열진공챔버 내부에서 사용하는 관계로 오염 문제에 매우 민감하다. 수평방향에 CH40PSR 모델이 사용된 것은 별도의 윤활제 없이 사용 가능한 모델이기 때문이다.

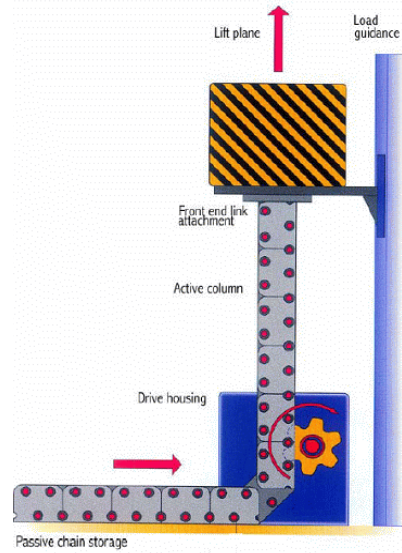


Figure 9. Working Principle of LINKLIFT50.

5. 안전 및 제어

근접치구는 고소작업대의 일종으로 작업자 및 고가 장비에 대한 안전성 확보가 매우 중요하다. 안전성 확보를 위하여 다음과 같은 장치들이 구축되었다:

- 1) 플랫폼 상부에서 근접치구의 이동 거리 제한을 위한 Limit switch
- 2) 수평 방향 전/후 운동 제한을 위한 Limit switch
- 3) 수직 방향 상/하 운동 제한을 위한 Limit switch
- 4) 근접센서 : 근접치구와 위성과의 충돌을 피하기 위하여 거리 측정 및 경보 발생이 가능한 근접센서를 작업대 전면에 설치
- 5) Stopper : 근접치구의 위치 고정을 위하여 두 개의 고정장치를 설치. Stopper가 작동되지 않을 때는 근접치구의 모든 작동 기능은 정지되도록 제어함.
- 6) 모터 브레이크 : 이송장치(특히, 수직방향의 LINKLIFT 50)를 구동하는 모터의 이상 발생시 모터를 강제적으로 멈추게 할 수 있는 브레이크. 브레이크는 모터 구동축에 장착되어 모터 이상 발생시 자동차 브레이크와 같이 모터축의 회전을 정지시킴.
- 7) Overload sensor : 근접치구는 2인용으로 설계되었다. 작업대에 200Kg 이상의 하중이 걸리게 되면, overload sensor가 이를 감지

하여 근접치구의 모든 작동기능을 정지시킴.

8) Emergency stop : 상부 작업대 및 제어판넬에 각각 비상스위치가 장착됨.

근접치구 작동을 위한 제어장치는 SERAPID의 이송장치(LINKLIFT 50, CH40PSR2000)를 위한 모터 제어용 PLC 제어 및 각종 안전장치와 limit sensor 작동에 기반을 두고 있다. 근접치구 제어는 Fig. 10에 나타난 제어 판넬을 통해 이루어지며, 이는 상부 작업대에 설치되어 있다. 또한 보조 제어판넬을 추가로 근접치구의 측면에 설치하여 사용자의 편의를 도모하였다. Fig. 10에서 보이는 바와 같이 제어판넬은 전원 스위치, 작업대 조종을 위한 조이스틱, limit sensor 작동 상태 확인을 위한 경고등, 수직/수평 방향 구동 전환 스위치 등으로 구성되어 있다. 근접치구는 3φ-380V / 50A AC UPS 전원을 사용한다.

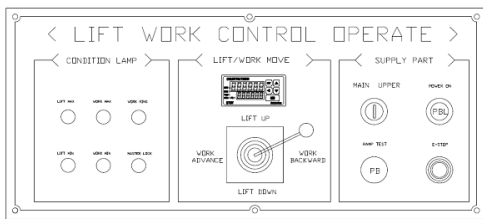


Figure 10. Control panel

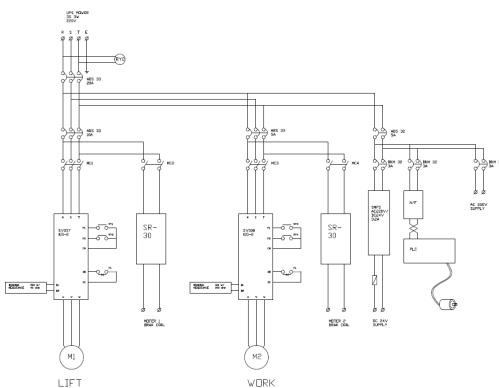


Figure 11. Detailed circuit diagram for the fixture operation

제어 회로는 크게 LINKLIFT50 및 CH40PSR 2000의 모터를 구동하고, 치구의 telescope 장치가 구동을 시작하고 종료하는 시점에서 보다 안정

적이고 부드러운 운영을 위한 인버터 제어 등으로 구성이 된다. 아울러, 치구의 위치를 확인 할 수 있는 지시계 등 또한 Fig. 11과 같이 포함되어 있다.

6. 요약

이상과 같이 한국항공우주연구원에서는 대형열진공챔버 내부에서 위성 접근에 사용할 근접치구를 설계하였다. 개발된 근접치구는 위성체 열진공시험 준비 과정에서 작업자의 노력과 작업 시간 단축에 큰 기여를 할 것으로 기대한다.

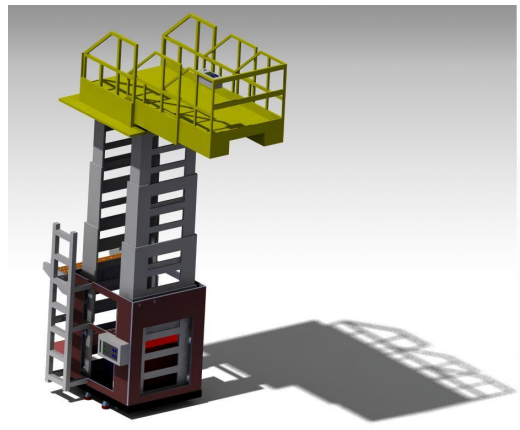


Figure 12. 3D model of Access Fixture

참고문헌

- (1) 서희준, 조혁진, 이상훈, 문귀원, 최석원. "정지레도 위성용 대형열진공챔버 설계", 한국항공우주학회 춘계학술발표회 논문집, 2003
- (2) Sang-Hoon Lee, Hee-Jun Seo, Hyokjin Cho, Guee-Won Moon, Seok-Weon Choi, Seong-Yeon Yoo, "Development of Large Thermal Vacuum Chamber(8m X L10m)", 6th International Symposium on Environmental Testing for th Space Programmes, 2006
- (3) 허남일, 김형섭, 조승연, 임기학 "KSTAR 저온진공용기 구조해석", 한국조선도,저온공학회 논문집, 1999.
- (4) P.Lazzarini, F. Ratti "New Specimen Access Device for the Large Space Simulator", Proceedings of the 5th International Symposium on Environmental Testing for th Space Programmes, 2004