한국소음진동공학회 2005년도 춘계학술대회논문집, pp.949~952.

위성광학탑재체 개발을 위한 나노급 방진장치 개념 설계

Concept Design of Vibration Isolation System for Development of Optical Payload of Satellite

이상훈* · 조혁진 · 서희준 · 김영기 · 문귀원 · 문상무 · 김홍배

Sang-Hoon Lee, Hyokjin Cho, Hee-Jun Seo, Young-Key Kim, Guee-Won Moon, Sang-Moo Moon, Hong-Bea Kim

Key Words : Seismic Mass, Vacuum Seal, Optical Payload of Satellite. Thermal Vacuum Test

ABSTRACT

According to the national space program in Korea, 15 satellites will be launch into space up to 2015. Especially, KARI is going to develope of its own a high resolution camera of less than 1m to be mounted on next Multipurpose Satellite. When performing testing of large spacecraft or hardware that will be launched into orbit, it is necessary to conduct a testing with space-simulated environment. To achieve this requirement, thermal vacuum chamber is generally used. KARI has been developed a very Large Thermal Vacuum Chamber(LTVC) from 2003 to accomodate future space program, such as KOMPSAT, COMS, and Launch vehicles. This new facility will be used to qualify the first self developed High Resolution Camera, which will be loaded on KOMPSAT-3. To perform an optical test for space camera, it is necessary to provide vibration free environment. Thus the vibration responses on the optical table due to external vibration should be minimized by using a special isolation system. In this paper, we propose the concept design of vibration isolation system for the development of the high resolution camera.

기호설명

F_t : Transmitted force	c : Damping constant
k : Stiffness	f_n : Natural frequency
δ : Relative displacement	ζ : Damping ratio
σs : Static deflection	λ : Wave length

1. 서 론

국가 우주개발 중장기 계획에 따르면 2003년부터 2015년까지 다목적실용위성 7기, 과학위성 4기, 통신해양기상위성을 포함한 정지궤도 위성 4기등 총 15기의 위성 개발 계획을 갖고 있다. 이러한 위성들은 지구의 대기, 해양, 기상 등을 관측하고, 우주환경의 측정 및 각종 실험 등을 수행하며, 안정적인 통신 방송 서비스를 제공하는 역할을 하게 될 것이다. 특히 다목적실용위성의 경우, 정밀 지상관측을 위한 고해상도 관측카메라를 탑재할 예정이며, 국내 기술 주도하에 개발하여 2008년 발사될 예정이다. 국내 기술로 개발될 고해상도 관측 카메라에 대한 신뢰도 있는 우주환경에 대한 검증시험을 수행하기 위해서는 고진공 및 열환경을 부가할 수 있는 열진공 챔버의 구축이 필수적이며, 현재 한국항공우주연구원에서는 위성용 광학탑재체의 국산화 개발에 이용하기 위하여 2005년 완공을 목표로 ϕ8m×L10m급의 대형열진공챔버를 제작하고 있다.[1]

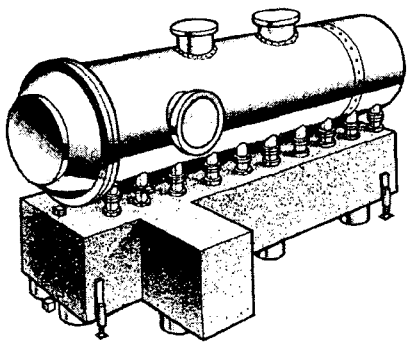


그림 1. 열진공챔버용 방진장치 개념도

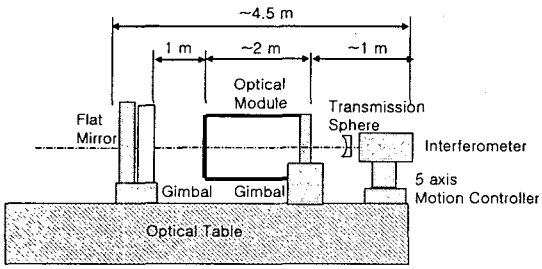
* 한국항공우주연구원
E-mail : leesh@kari.re.kr
Tel : (042) 860-2852, Fax : (042) 860-2234

또한 고해상도 관측 카메라의 개발에 있어서는 무엇보다도 외부 진동으로부터 탑재체 시험장비가 충분히 차단이 되어져야 한다. 1m 이하의 해상도를 갖는 광학카메라의 개발을 위해서는 나노미터 수준의 안정된 환경을 제공하는 시험장비가 요구되어 진다. 본 논문에서는 현재 제작 중인 대형 열진공챔버 내에서 광학탑재체의 독자적 개발에 필요한 조립 및 시험이 가능도록 하기 위한 나노급 방진시스템의 개념설계를 다루고자 한다.

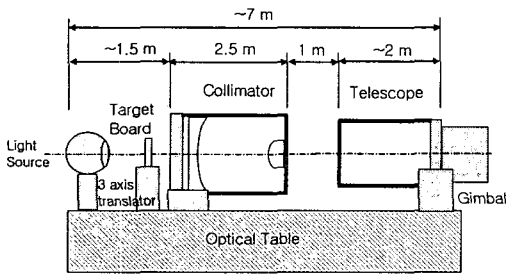
2. 방진장치 요구조건

2.1 광학시험 요구조건

고해상도 관측 카메라의 단품에 대한 가공 정밀도 및 OM(Optical Module)의 정렬 정밀도가 약 λ/20 ~ λ/30rms 이므로, 외부 진동으로 인한 광학 테이블상에 설치되는 시험장비간의 최대 허용 상대변위는 10nm(약 λ/50 rms) 이하로 규정되어 있다. 또한 고해상도 관측 카메라의 광학적 전달함수(MTF, Modulation Transfer Function)의 측정의 경우, 외란에 의한 측정오차가 약 1% 이내(Focal Plane상의 image motion이 5/100 pixel이하)로 규정되어있으며, 이러한 조건을 충족하기 위해서는 콜리메이터, 평면 반사경 및 간섭계등의 광축정렬이 약 0.05μrad이하로 규제되어야 한다.



(a) OM Level 정렬형상

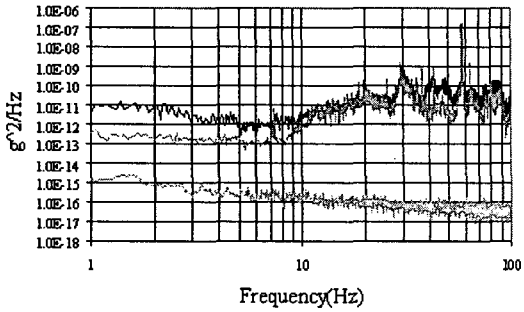


(b) 탑재체 Level MTF 측정형상

그림 1. 광학 테이블상의 시험형상

2.2 지반진동 환경

대형열진공챔버가 설치될 부지에서의 지반진동을 측정한 결과는 그림 2와 같다.



--- Working --- Non-working ---- Background noise

그림 2. 열진공챔버 부지내 진동레벨

지반 진동에 가장 큰 영향을 주는 인자는 시설내의 공조장치, 크레인 작동, 주변 시험장비 및 시설주변의 차량주행으로 인한 가진으로, 본 측정에서는 시설을 유지하기 위하여 기본적으로 작동하여야 하는 공조장치만으로 인한 지반진동(Non-working)과 이외에 크레인작동, 주변 시험장비 및 차량주행을 고려한 지반진동(Working)을 각각 측정하였다. 진동레벨을 비교시, Working 조건하의 레벨이 상대적으로 큰값을 나타내고 있으며, 60Hz부근을 제외할 경우, 약 10^{-9} g^2/Hz 이하이다. 60Hz 부근의 피크는 공조장치의 모터 및 주변의 변압기등에 의한 영향인 것으로 판단되며, 향후 가진원을 찾아내어 방진처리하거나, 광학 측정 시 작동을 중지시킬 예정이다.

3. 방진장치 설계

3.1 진동절연장치의 구성

지반진동을 차단하기 위하여, 그림 1, 3과 같이 열진공챔버 하부에 방진대와 Isolator로 구성된 진동절연장치를 설치할 예정이다. 지반진동과 광학테이블 상에서의 상대변위에 대한 관계를 유도하기 위하여, 방진장치는 그림 3과 같은 단순 진동계로 모델링이 가능하다.[2]

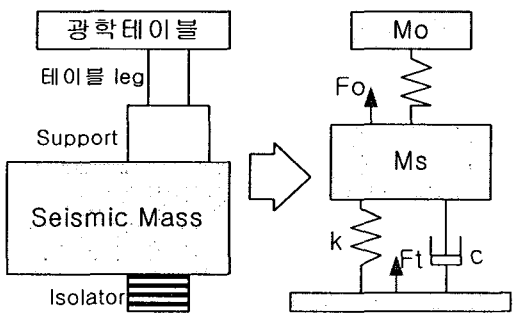


그림 3. 단순 진동계 모델링

방진장치의 성능은 일반적으로 진동전달률(transmissibility)로 표현할 수 있다.[2] 그림 3에서 seismic mass 하부의 일차 진동계만을 고려할 때, 진동전달률은 식 (1)와 같이 표현이 된다.

$$T = \frac{F_t}{F_o} = \sqrt{\frac{1 + \left(2\zeta \frac{f_d}{f_n}\right)^2}{\left(1 - \frac{f_d^2}{f_n^2}\right)^2 + \left(2\zeta \frac{f_d}{f_n}\right)^2}} \qquad (1)$$

식(1)에 나타나듯이 진동전달률은 방진장치의 고유진동수와 damping에 의해 결정이 된다.

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{\sigma_s}} \qquad (2)$$

식(2)에서 보듯이 방진장치의 고유진동수는 static deflection의 함수로서, 낮은 고유진동수를 얻기 위해서는 매우 큰 static deflection을 가져야 한다.[3]

Isolator는 독일 FABREEKA사의 pneumatic isolator를 사용하였으며, 콘크리트 블록과 결합된 pneumatic isolator로 구성된 방진장치의 수직방향 고유진동수는 0.8Hz, 수평방향으로는 2.0Hz의 고유진동수를 갖도록 설계되었다. 또한 방진장치의 damping rate는 12dB/octave이다.[4]

상기 조건에 따라 진동전달률은 계산하면 그림 4와 같으나. 방진대의 flexible mode등의 영향등을 고려하여, 20Hz이상의 대역에서는 감쇠율을 약 0.01로 간주하는 것이 일반적이다.

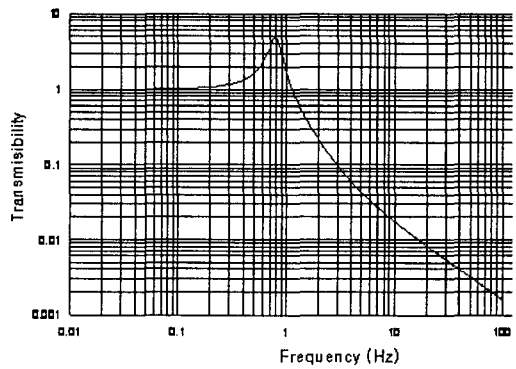


그림 4. 방진장치의 진동전달율 곡선

그림 5는 방진대 상면 즉 광학 테이블에 가해지는 진동레벨로서, 이 레벨값을 기준으로 하여, 광학테이블에 대한 사양 및 요구조건에 대한 적합성 여부를 계산하여야 한다. 일반적인 광학 테이블은 샌드위치 구조로, 알류미늄 허니콤과 양

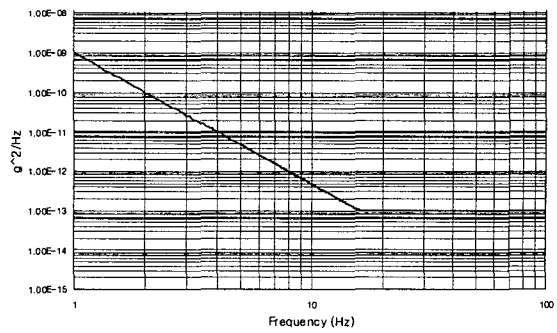
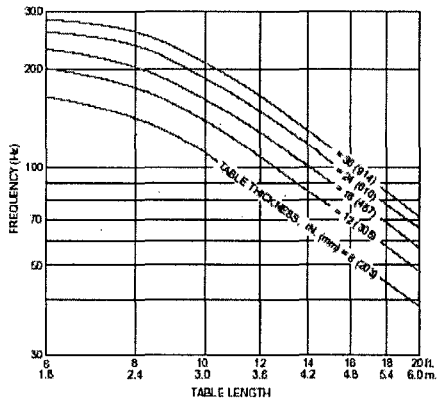


그림 5 방진대 상면의 진동레벨



Minimum frequency guide for any vibrational mode of Newport tables.

그림 6 광학테이블의 치수별 고유진동수

면에 스테인레스 스틸 판재로 구성되어진다. 광학테이블의 폭은 약 2m, 길이는 약 7m 내외이고, 두께를 600mm로 가정시 고유진동수는 약 60Hz 내외일 것으로 추정된다. 증폭비는 위에 언급된 재질일 경우, 약 10정도로 추정된다.

3.2 광학 테이블의 응답 분석

광학테이블 하단의 가진레벨과 광학 테이블의 동적 특성을 이용하여, 광학테이블 상면의 최대 상대 변위는 다음과 같이 Miles Equation을 이용하여 구할 수 있다.

$$\delta_{Re_{max}} = \frac{6}{4\pi^2 f_n^2}\sqrt{\frac{\pi}{2} Q\, Y_{APSD}(f_n) f_n} = 4nm \qquad (3)$$

식 3)의 결과로부터, 광학테이블의 상대변위 요구조건인 10nm를 만족하는 것을 알 수 있다. 광학 테이블 상면에 설치되는 장비들에 대한 광축정렬 요구조건은 탑재체, 콜리

메이터등에 대한 세부적인 사양이 도출되지 않은 상태이므로, 세부적인 동적특성이 확정되는 데로 확인할 예정이다.

3.3 방진장치 세부사양

위에서 언급된 고유진동수와 진동전달율을 만족하기 위해 설계된 진동차단장치의 규격은 표 1과 같다.

표 1. 방진장치 규격

Dimension (L×W×H)	7.7×5.0(8.0)×2.0m
Weight	185 Ton
Material	reinforced concrete C 30/35
Air mount spring Constant	k_f=3,080,000N.m
Support weight	about 6,000kg

방진대는 강성을 갖고 isolator의 설치를 위하여 "T"자 형태를 갖도록 하였고, 1차 고유진동수는 100Hz 이상이 되도록 설계되었다. 방진대와 Isolator의 강체모드에 대한 고유진동수를 0.8Hz 로 하기 위하여 그림 7과 같이 15개의 isolator를 설치하도록 하였다.

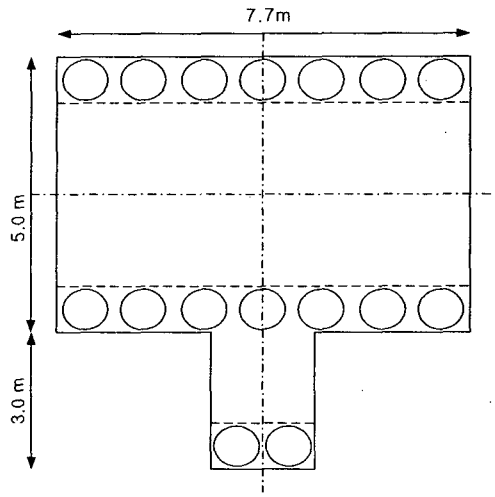


그림 7. 광학카메라 열진공시험용 방진장치

3.4 Vacuum Seal 장치

광학카메라의 열진공시험을 위해서는 광학테이블을 외부 진동으로부터 차단함과 동시에 챔버 자체의 진동으로부터도 완전히 분리시켜야 할 뿐아니라 챔버 내부의 고진공이 파괴되지 않아야 한다. 이러한 두 조건을 충족시키기 위해 제안된 방진장치 가운데 챔버와 인터페이스 되는 부분은 다음 그림 8과 같다. 진공유지장치는 10^{-6} Torr의 고진공하에서 1×10-7ℓ/sec 이하의 누설율을 갖으며, 고진공하에서 탈기체(outgassing) 현상이 발생하지 않도록 하기위하여 Viton®을 사용한 다이어프램식 차단막을 이용하였다.

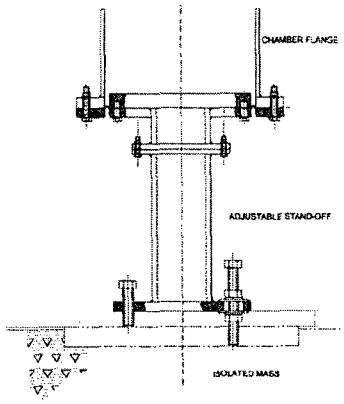


그림 8. 진공유지장치 개념도

4. 결 론

위성용 고해상도 카메라 개발을 위한 광학 테이블이 설치될 방진시스템의 개념설계를 수행하였다. 고해상도 탑재체에 대한 광학시험을 수행하기 위해서는 테이블 상에서의 상대변위 10nm 이하로 규제되어야 한다. 이를 만족시키기 위한 방진대의 설계를 위하여, 설치될 현장의 진동 레벨을 측정하고, 이를 허용레벨까지 감쇠시킬 수 있도록 방진시스템의 규격을 산정하였다. 아울러 방진시스템은 위성부품에 대한 시험장치에 적용할 목적에 부합할 수 있도록 고진공 유지장치를 고안하였다.

본 연구를 통해 고안된 나노급 방진시스템은 고해상도 지구관측 카메라의 열진공시험에 사용될 것이며, 이를 계기로 광학탑재체의 독자적 개발에 공헌할 것으로 판단한다.

참 고 문 헌

(1) LEE. S.H etc. 2004, "Thermal System Development for Thermal Vacuum Chamber", IEST,

(2) Crede, Charles E. and Ruzicka Jerome E., 1988, Shock and Vibration Handbook,

(3) Greenbelt, MD. "Vibration Isolation System for use in a Large Thermal-Vacuum Test Facility", FABREEKA International Inc.

(4) Dankowski, J.C.,1999, "Low Frequency Shock and Vibration Isolation of Precision Engineering and Nano Technology", Paper at Euspen Conference I, Bremen.