

인공위성 구조체의 진동저감 설계 및 해석

Design and Analysis of LEO EO satellite for Vibration Reduction

임재혁† · 김홍배* · 김경원** · 김선원** · 황도순**

Jae Hyuk Lim , Hong-Bae Kim, Kyung-Won Kim, Sun-Won Kim and Do-Soon Hwang

1. 서론

인공위성이 발사체에 탑재되어 발사될 때, 극심한 발사하중(저주파진동, 랜덤하중 및 분리충격)에 노출된다. 따라서, 인공위성은 이러한 발사환경하에서 위성구조체와 내부의 탑재장비가 안전하도록 설계되어야 한다[1]. 또한 성공적으로 발사된 후에도 임무수행 시에 데이터 수신 및 발열원에 대한 국소적인 냉각을 위해 다양한 구동장치를 가동하며, 이로 인해 미소진동에 노출된다. 이러한 미소진동은 광학탐체체를 가진하여 초점면(Focal Plane)상의 영상운동을 야기하며, 이로 인해 영상의 선명도를 저하시킨다. 특히, 고해상도 관측위성일수록 미소진동에 의한 영상품질의 저하가 커지므로 위성개발 시에 영상품질에 대한 영향평가는 필수적이다[2-3]. 본 논문에서는 인공위성의 설계 시 사용되는 다양한 진동해석방법에 대해 소개하도록 한다.

2. 발사환경에서의 진동저감 설계 및 해석

인공위성의 구조체설계를 위한 설계요구조건은 발사체 회사에서 제공하는 설계매뉴얼에 따라 결정된다. 저주파진동에 대해서는 최소고유주파수 및 준정적하중, 음향 및 랜덤하중에 대해서는 환경요구조건(EV Spec.)에 따른다. 준정적하중은 주로 패널, 플랫폼 및 태양전지판과 같은 구조체의 손상여부 판단 시 사용되며, 음향 및 랜덤하중은 탑재되는 전자장비의 안전성을 평가하는 데에 사용된다.

2.1 설계요구조건

플랫폼 및 패널 등의 각부재의 고유진동수는 발사체와의 공진을 피하기 위해 결정되며, 다목적실용위성 3 호의 경우에는 축방향으로 35Hz 및 횡방향으로 20Hz 이상이어야 한다. 또한 발사체에서 전달되는 축방향 $\pm 11G$, 횡방향 $\pm 3.5G$ 의 준정적하중을 견뎌야 한다. 또한 각 부재의 고유진동수는 서로 일치하지 않도록 해야 한다.

- 고유진동수
 - 횡방향(Lateral) > 15Hz
 - 축방향(axial) > 35Hz
- 준정적하중
 - 횡방향(Lateral) $\pm 3.5G$
 - 축방향(axial) $\pm 11G$

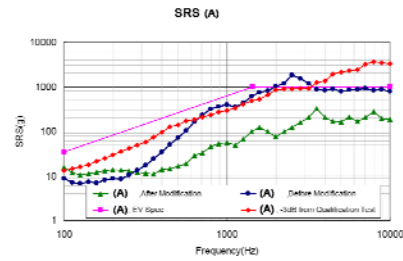


Fig. 1 EV Specification of Electronic Box

2.2 유한요소모델과 진동해석

2.1 절에 기술된 설계요구조건을 만족하는 위성구조체를 검증하기 위해선 진동시험과 더불어 다양한 진동해석이 수행된다. 이를 위해 Fig. 2(a)와 같이 유한요소모델을 작성한다. 작성 후에 고유주파수 및 주파수응답이 진동시험결과와 일치하도록 유한요소모델을 보정한다. 이 때에 MSC.NASTRAN 에서 제공하는 고유치해석 및 주파수응답 해석기법을 사용한다. Fig. 1(b)와 (c)에 주요 횡방향과 축방향의 고유진동모드 형상을 나타내었다.

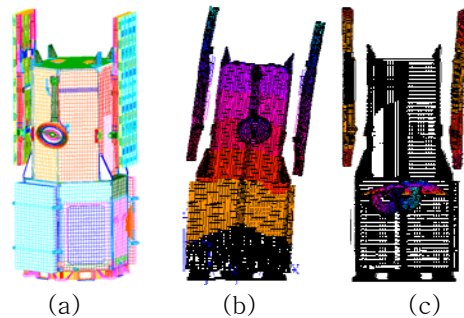


Fig. 2 Finite Element Model and Natural Frequencies: (a) Finite Element Model (b) Lateral Natural Frequency (c) Axial Natural Frequency

3. 임무수행조건에서의 진동저감 설계 및 해석

인공위성은 Fig. 3 과 같이 임무수행 시 다양한 가진원에 의해 미소진동에 노출된다. 관측위성의 경우 이로 인해 영상탐재체에 미소한 떨림이 발생하며 이는 영상품질 저하에 직결된다. 이를 위해 위성설계 시 이를 반영하도록 하고 있으며 지터해석이 수행된다.

3.1 설계요구조건

미소진동에 의한 영상의 품질저감은 5%정도만 허용하고 있다. 이는 수식(1)에 MTF(Modulate Transfer Function)로 환산 시 95%가 된다.

$$MTF_{jitter} = \exp(-2\pi\sigma^2_{jitter} f^2) \dots\dots\dots(1)$$

여기서 σ 는 영상의 이동량으로 $\sigma = \text{focal length(mm)} \times \text{LOS jitter(um)}$ 으로 나타내며, pixel 로도 표현된다. f 는 광학탐재체 특성에 의해 결정되는 Cut-off frequency 이다. 수식 (1)에 따라 MTF 95%를 위해 허용 가능한 이동량은 $\sigma = 0.1$ pixel 이 된다.

3.2 지터해석(Jitter Analysis)

지터해석을 위해선 Fig. 4 와 같이 유한요소모델을 이용해 가진 점에 단위하중이 가해질 때 탐재카메라를 구성하는 거울에 움직임을 유한요소모델로부터 구해낸다(B). 여기에 거울의 움직임에 따른 광학민감도를 CODE-V 를 통해 구하며(C), 가진원에 입력하중(A)을 곱하여 최종적으로 미소진동에 의한 선명도의 저하를 MTF 로 계산해낸다(D).

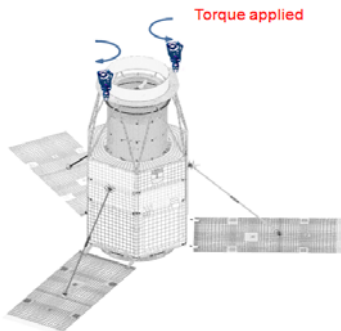


Fig. 3 Micro-vibration induced by X-band Antenna Operation

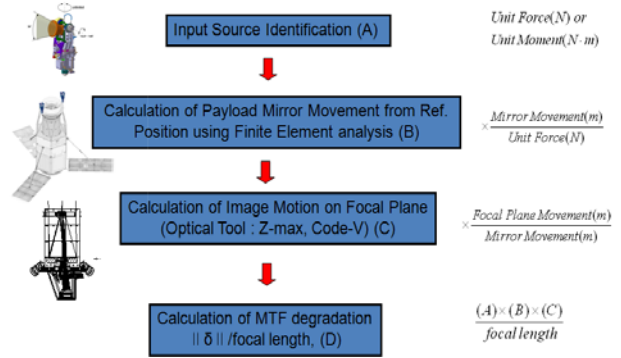


Fig. 4 Jitter Analysis Flow

4. 결론

본 논문에서는 인공위성 구조체의 진동저감을 위한 설계방법 및 해석방법에 살펴보았다. 크게 인공위성발사 시와 임무수행 시에 필요한 설계방법 및 해석에 따라 구분하였으며, 차기 위성구조체 설계에 반영할 예정이다.

참고문헌

- [1] 황도순, “인공위성 구조체 설계 및 해석”, 한국항공우주학회지, p.111-121, 1999
- [2] 임재혁, 김홍배, 김정원, 김선원, 황도순, “미소진동에 의한 지구관측위성 영상품질 영향평가”, 한국우주과학회 추계학술대회 논문집, p.28, 2009
- [3] 김홍배, 이원범, 임재혁 “광학식 조준장치에 대한 진동영향 평가에 대한 연구”, 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, pp. 836-837, 2009