

Safety Analysis of Satellite Equipment under Random Vibration

김창호† · 김경원* · 김선원* · 임재혁* · 황도순**

Chang-Ho Kim, Kyung-Won Kim, Sun-Won Kim, Jae Hyuk Lim and Do-Soon Hwang

1. 서 론

위성체에 가해지는 음향하중은 발사체 초기점화와 음속영역 통과 시에 가장 주요하게 발생한다. 음향하중에 의해 발생한 진동에 대하여 내부에 장착된 장비 및 구조체는 안정성을 확보해야 한다. 이러한 진동을 랜덤진동으로 표현하여 시스템 레벨의 음향하중에 의한 각 장비들에서 발생하는 랜덤진동을 예측 및 측정하고, 장비 설계에 사용된 랜덤진동 규격과 비교를 하여 장비들의 안전성을 검토하게 된다.

본 논문은 음향하중 시험에 의해 위성체 내부 장비들에서 발생하는 랜덤진동을 측정하고 이를 각 장비들의 랜덤하중 설계 규격과 비교하여 시험결과를 분석하였다.

2. 본 론

2.1 시험 요구조건

시험 형상은 Fig. 1 과 같고, 시험 레벨을 제어하기 위한 마이크로폰은 반사에 의한 효과를 줄이고 정확한 측정을 위해 위성체나 음향시험실 벽으로부터 최소 1 미터 이상 거리를 두도록 위치하였다. 21개의 지점에서 진동을 측정하기 위하여 센서를 장착하였다. Fig. 2 는 시험수준에 대한 요구조건을 보여준다.



Fig. 1 Configuration for Acoustic Test

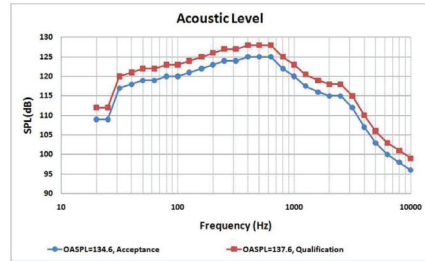


Fig. 2 Test requirement for Acoustic Test

2.2 음향하중 시험 결과

음향하중 시험을 수행하는 동안 약 21개의 지점에서 랜덤진동을 측정하여 장비의 규격과 비교를 하였다. 이들 중 7개의 장비들이 규격을 만족하지 못하였고 본 논문에서는 대표적으로 통신용 안테나와 TAM에 대한 측정결과를 Fig. 3과 Fig. 4에서 보여준다.

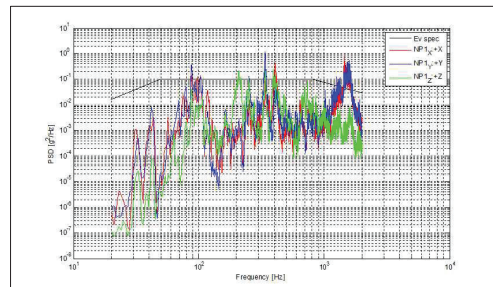


Fig. 3 통신용 안테나 측정값과 규격 비교

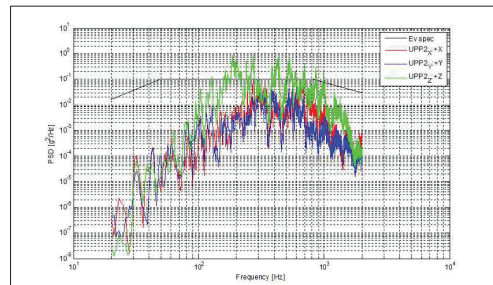


Fig. 4 TAM 측정값과 규격 비교

† 주저자: 한국항공우주연구원 위성구조팀
E-mail : kch@kari.re.kr
Tel : (042) 860-2752, Fax: (042) 860-2603

* 한국항공우주연구원 위성구조팀
** 한국항공우주연구원 위성본체실

측정된 랜덤진동 레벨이 규격을 만족하지 못한다 함은 실제 발사 시 발생하는 음향하중에 의해 유도되는 랜덤진동에 대해 장비들의 규격을 넘어선다는 것을 의미하고 즉, 장비의 안정성에 대해 검증되지 않았음을 나타낸다. 위성체가 검증모델이므로 시험은 검증레벨까지 수행이 되었지만, 탑재장비들의 규격서에 기술된 승인레벨 규격에 맞춰 승인레벨의 음향하중 시험 결과와 비교를 수행하였다.

2.3 장비들의 랜덤진동 안정성 분석

2.3.1 안정성 분석방법

측정된 랜덤진동 레벨이 규격을 넘는 장비들에 대해서 VRS(Vibration Response Spectrum)방식으로 검증을 하였다. VRS는 충격하중에 대한 SRS(Shock Response Spectrum)과 유사한 방식으로, 각 주파수에서 공진점을 가지는 단자유도계 시스템들이 주어지는 랜덤하중에 대해 예상되는 가속도 RMS(Root-Mean-Square) 값을 스펙트럼 형식으로 나타내는 방식이다. 일반적으로 쓰이는 Miles equation은 입력 PSD(Power Spectral Density)를 flat으로 가정하는데 반해, VRS는 주파수에 따라 변하는 입력 PSD를 기반으로 구성된 방법이다.

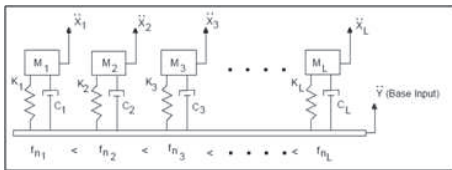


Fig. 5 각주파수에서 모드가 있는 단자유도계 시스템

$$\ddot{X}_{GRMS}(f_n, \xi) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{[1 + (2\xi\rho_i)^2]}{[1 - \rho_i^2]^2 + (2\xi\rho_i)^2}} \hat{Y}_{A PSD}(f_i) \Delta f_i, \quad \rho_i = \frac{f_i}{f_n}$$

Fig. 6 Vibration Response Spectrum 계산식

2.3.2 안정성 분석

2.3.2.1 통신용 안테나 안정성 분석

측정된 overall grms 값 대비 규격은 약 58%의 마진을 가지고 있지만, 1/3 octave band의 PSD 레벨비교에서 국부적인 초과 현상이 발생하고 있다. 이런 국부적인 초과에 대한 영향을 알아보기 위한 VRS 방법에서는, 마찬가지로 규격에 대한 VRS 대비 측정된 레벨의 VRS가 Fig. 7에서와 같이 초과하고 있다. 그러나 음향시험이 수행된 모델의 플랫폼 형상과 장비의 배치, 심체의 두께 등의 설계가 변경되어 실제 비행모델에서는 문제가 없을 것으로 예상되며 추후 비행모델 시험 시 확인을 할 예정이다.

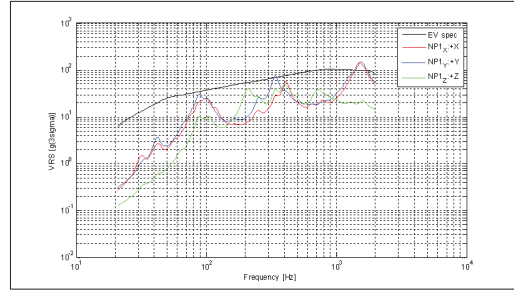


Fig. 7 통신용 안테나 VRS 곡선 비교

2.3.2.2 TAM 장비 안정성 분석

측정된 overall grms 값 대비 규격은 약 34%의 마진을 가지고 있지만, 1/3 octave band의 PSD 레벨비교에서 국부적인 초과 현상이 발생하고 있다. 이런 국부적인 초과에 대한 영향을 알아보기 위한 VRS 방법에서는, 마찬가지로 규격에 대한 VRS 대비 측정된 레벨의 VRS가 Fig. 8에서와 같이 초과하고 있다. 그러나 장비의 첫 번째 고유모드는 약 1000Hz로 측정된 시험값의 VRS가 초과하는 500Hz보다 2배 이상 떨어져 있으며 1000Hz인 장비의 모드에서 예상되는 69g(3σ) 대비 규격에 의한 최대 허용 grms 값이 105g(3σ)로 충분한 마진이 있으므로, 음향 하중에 의해 유도되는 랜덤진동에 대해 안전함을 알 수 있다.



Fig. 8 TAM VRS 곡선 비교

3. 결론

음향하중 시험은 위성 구조체의 안정성 뿐만 아니라, 음향하중에 의해 유도되는 랜덤진동 하중에 대해 탑재되는 장비들의 안정성 또한 검증을 목적으로 한다. 장비 규격과 시험 시 측정된 하중의 비교를 통해 대부분의 장비들이 안전함을 확인할 수 있었고, 일부 국부적인 초과현상이 발생하는 총 7개의 장비에 대해서는 VRS 방법을 적용하여 장비들에 대한 안정성을 확인하였다. 결론적으로 음향하중 시험을 통해 탑재된 장비들이 실제 발사 시 모두 안전함을 확인할 수 있었다.