

다목적 실용위성 2호 구조-열모델의 음향 환경 시험

김홍배* · 문상무** · 김영기** · 우성현** · 이상철** · 김성훈***

High Intensity Acoustic Test for KOMPSAT-2 STM

Hong-Bae Kim, Sang-Mu Moon, Young-Key Kim, Sung-Hyun Woo, Sung-Hoon Kim, Sang-Seol Lee

Key words : High Intensity Acoustic Test(고에너지 음향환경시험), Satellite(위성체), KOMPSAT-2(다목적실용위성 2호), SEA(통계적 에너지 해석법)

ABSTRACT

High intensity vibro-acoustic testing is the appropriate method for flight qualification testing of space flight vehicle which must ensure the acoustic environment of launch. To qualify vibro-acoustic environment during its flight, High Intensity Acoustic Test was performed for KOMPSAT-2(Korea Multi-Purpose SATellite) STM(Structural Thermal Model). This paper presents the detailed description on the high intensity acoustic test for KOMPSAT-2. Additionally the test results was compared with the analysis ones, which were estimated with 3-D SEA(Statistical Energy Analysis) model.

I. 서론

위성체는 발사체에 탑재되어 임무수행을 위한 우주 설정궤도로 이동하게되며, 이 과정에서 발사체에서 분사되는 발생되는 방대한 양의 추진체 분사, 고속 추진에 따른 페어링 외기의 동압 변화등은 위성체가 안치되어 있는 페어링 내부에 수천 Hz의 주파수 대역에 걸쳐 130 ~ 150 dB에 이르는 음장(Acoustic Field)을 형성한다.

이러한 페어링 내부의 고에너지 음장은 위성체 구조물 및 탑재물의 기계적인 진동을 유발하여, 물리적인 파손을 일으키거나 주요 기능에 중대한 결함을 유발시킬 수 있다.

이에 따라 위성체는 개발단계에서부터 소음환경에 대한 검증시험을 수행하며, 특히 국내 주도로 개발중인 국산 다목적 위성 2호의 경우, 기존에 검증되지 않은 초도 생산품목들에 대해서는 이에 대한 검증이

매우 중요하다.

본 논문에서는 다목적 실용위성 2호에 대하여 한국에서 최초로 수행된 음향환경에 대한 검증시험내용을 소개하고 시험결과와 3차원 SEA 모델을 이용하여 위성체의 각 위치별로 예측한 고주파대역의 진동레벨 예측치와 비교분석을 수행하였다.

II. 음향환경시험

다목적실용위성 2호의 열구조적 검증시험 및 특성분석을 위하여 설계/제작된 열구조 해석모델은 2001년 11월부터 2002년 2월까지 한국항공우주연구원내 우주시험동(SITC, Satellite Integration and Test Center) 조립을 마치고 진동시험과 같은 일련의 검증시험(Qualification Test)과정을 거친후, 2월말 음향환경시험이 수행될 독일의 IABG(Munich 소재)로 운송되었다. 이후 음향가진에 의한 진동응답을 측정하기 위하여 위성체의 주요 부위에 약 100여개의 가속도계를 설치하였다.

*정회원, 한국항공우주연구원 우주시험연구그룹

**정회원, 한국항공우주연구원 우주시험연구그룹

*** 한국항공우주연구원 위성본체연구그룹

IABG의 음향시험시설은 2001년 5월에 준공된 최신의 시험시설로서, 잔향실 내부 체적이 1,378m³ 이고, Fig. 3과 같이 가진 매개체인 공기를 압축하기 위한 장치, 주파수별 음압레벨을 조정하기 위한 음향가진기 및 혼을 사용하여 25 - 10,000Hz의 주파수 대역에 대하여 최대 156dB의 음압을 시험 대상물에 부가할 수 있는 시험시설이다.

위성체에 부가될 스펙트럼 형상은 Fig. 2와 같으며, 이는 다목적 실용위성 2호의 모든 발사체의 음향환경 스펙트럼을 포함하도록 설정되었다[1].

위성체를 챔버내에 넣지않은 상태에서 1차 시험결과 약 2,500Hz근방에서 기준 음압에 대하여 약 5dB정도 낮게 부가되었다. 이는 음향가진기의 최대 제어가능 주파수대역인 1,200 Hz를 상회하는 대역으로서 현재 음향가진장치 및 혼의 구성으로는 제어가 불가능하며, 젯 노즐등을 사용하여 제어가 가능한 것으로 파악되었다.

항우연 및 ASTRIUM의 engineer의 분석결과 음향시험시 주파수 대역별 기준레벨에 대한 시험레벨의 허용차를 만족하지는 못하지만, 기준 음압에서 2,500 Hz대역의 Sharp peak의 경우, 음향가진이 구조물에 영향을 미치는 2,000 Hz이상의 대역이고, 대상 발사체들의 Acoustic Environment를 고려하여도 충분한 Margin이 있으므로 -5dB정도의 입력감소는 시험결과에 영향이 없는 것으로 판단되어 위성체에 대한 음향검증시험을 실시하기로 하였다[2].

III. 진동레벨예측

위성체의 음향-진동 연성 해석을 통하여, 발사과정에서 위성체 구조물 및 주요 탑재물에 발생되는 음향

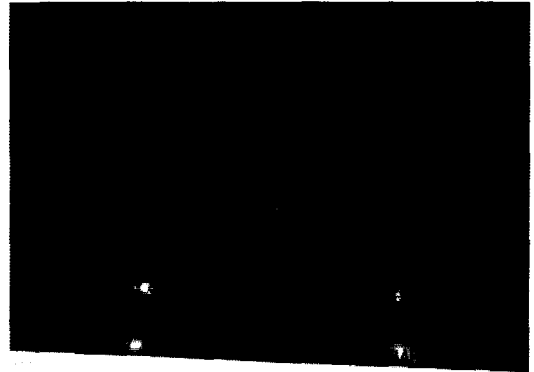


Fig. 1 KOMPSAT-2 STM Acoustic Test

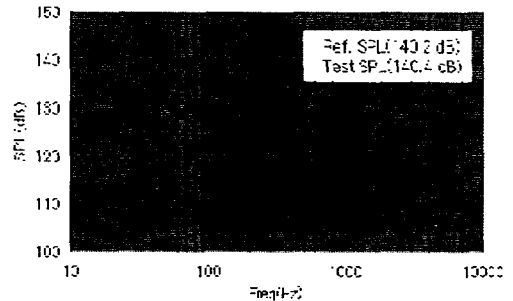


Fig. 2 Comparisons of SPL(dB, Ref. vs Test)

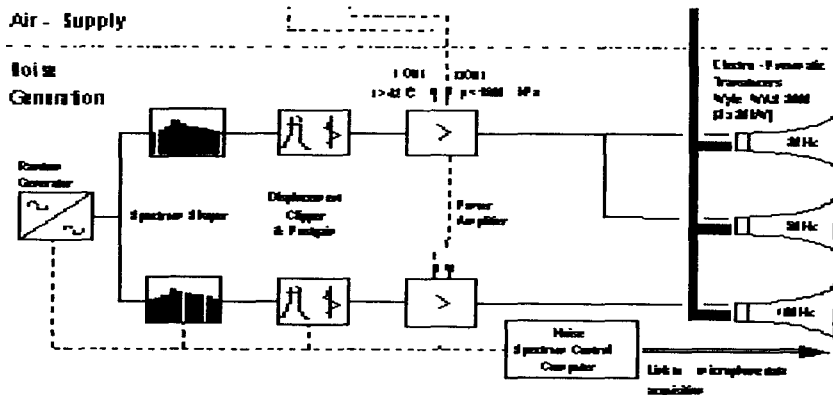


Fig. 3 IABG Acoustic Test Chamber Control Logic

유발진동(Vibro-Acoustic Response) 레벨을 예측하는 것은 위성체의 성공적인 임무 수행을 위하여 매우 중요한 작업이다.

하지만 일반적인 구조해석방법인 유한요소법(Finite Element Method, FEM)과 경계요소법(Boundary Element Method, BEM)등은 구조물의 모드 정보를 요구하므로, 정확한 모드 정보를 추출할 수 없는 300 Hz 이상의 주파수 영역에 대하여는 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 없으며, 증가된 계산량으로 인하여 계산자체가 불가능한 경우가 대부분이다. 최근에는 이러한 고주파수 대역의 위성체 음향-진동 연계 해석을 위하여 위성체를 상호 에너지 전달이 가능하고, 에너지를 방출 또는 흡수 할 수 있는 서브시스템(Sub-System)의 연결체로 가정하고 진동현상을 통계적인 에너지의 흐름 현상으로 다루는 통계적 에너지 해석(Statistical Energy Analysis, SEA) 기법이 널리 사용되어지고 있다[3, 4].

통계적 에너지 해석 기법은 연계된 서브시스템들 간의 에너지 평형상태를 가정한다. 그림 은 두 개의 서브시스템으로 이루어진 단순 SEA 모델의 에너지 흐름도를 나타낸다.

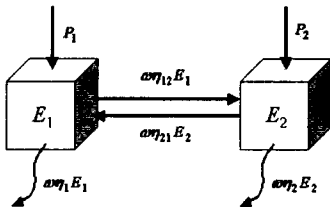


Fig. 4 Simple SEA Model

두 시스템의 에너지 평형식은 중심주파수(Central Frequency) ω , 시간 평균화된 에너지 입력 P_i , 서브시스템 내부 에너지 E_i , 모드 밀도(Modal Density) n_i , 감쇠손실계수(Damping Loss Factor, DLF) η_i , 연성 손실계수(Coupling Loss Factor, CLF) η_{ij} 에 의하여 식(1)과 같이 나타내어진다.

$$P_1 = \omega \eta_1 E_1 + \omega \eta_{12} n_1 \left(\frac{E_1}{n_1} - \frac{E_2}{n_2} \right)$$

$$P_2 = \omega \eta_2 E_2 + \omega \eta_{21} n_2 \left(\frac{E_2}{n_2} - \frac{E_1}{n_1} \right) \quad (1)$$

위성체를 포함한 일반적인 구조물은 k개의 서브시스템의 연결체로 모사될 수 있으며, 이 경우 에너지 평형식은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\omega C E = P \quad (2)$$

C : (k×k) 손실계수 행렬

E : (k×1) 서브시스템 내부 에너지 행렬

P : (k×1) 입력 에너지 행렬

위성체 주요 구조물의 진동레벨은 각 구조물을 나타내는 서브시스템의 에너지를 식 (2)로부터 계산하여 구한다.

다목적실용위성 2호의 구조는 크게 버스시스템, 태양전지판 및 주 탑재물인 MSC의 세가지 부분으로 나뉘어지며, 이중 위성체의 몸체를 이루는 버스시스템은 탑재체부(Payload Module), 전자장비부(Avionic Module), 추진부(Propulsion Module)의 세 부분으로 세분되어진다(Fig. 5).

다목적 실용위성 2호의 SEA 3차원 모델링을 위하여 위성체의 각 플랫폼, 본체 덮개 패널(Closing Panel) 및 태양전지판은 1% 감쇠계수를 가진 허니콤(Honeycomb) 중심재(Core)를 포함한 알루미늄 샌드위치 패널로 모델링하였으며, MSC와 추진체 탱크는 각각 동일한 감쇠계수를 가진 복합재료 셀과 등방성 셀로 모사하였다. 또한 위성체의 주골격은 감쇠계수 1%의 알루미늄 빔 요소로 모델링하였다.

특히 탑재물이 부착되어지는 본체 덮개 패널의 경우 샌드위치 패널 중심재의 밀도값에 대하여 식(3)와 같이 수정된 값을 사용함으로써 탑재물의 세부적인 모델링 없이 질량부가(Added Mass) 효과만을 고려하였다.

$$\rho = \frac{\text{Core Mass} + \text{Payload Mass}}{\text{Core Volume}} \quad (3)$$

위성체의 내부는 Fig. 6과 같이 세 개의 음향공간(Acoustic Cavity)으로 모델링하였으며, 각각은 본체 덮개 패널 및 플랫폼과 면접촉(Area Junction)을 통하여 에너지를 주고받도록 하였다.

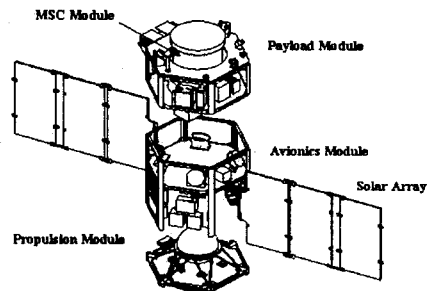


Fig. 5 KOMPSAT-II Structure

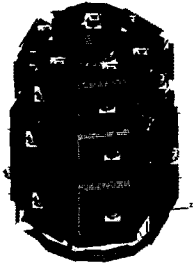


Fig. 6 KOMPSAT-II SEA Model

IV. 결과

Fig. 7은 다목적 실용위성 2호의 주 탑재물인 고해상도 카메라(Multi-Spectral Camera)를 지지하고 있는 탑재체부 플랫폼의 음향가진에 의한 진동응답레벨 및 통계적 해석법을 통한 예측치를 비교치를 나타내고 있다. 다목적실용위성 2호의 구조특성분석 중 주 탑재체인 카메라 부위의 진동특성분석은 대상물의 환경시험기준을 산정함에 있어 가장 중요한 업무였으며, 통계적 해석을 통한 진동응답레벨의 예측이 실제 시험치의 응답레벨을 매우 근사적으로 예측하였음을 볼 수 있다.

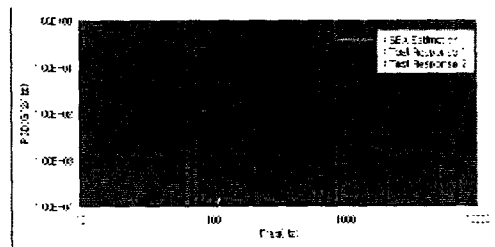
Fig. 8은 태양전지판 각 부위의 응답레벨과 통계적해석법을 이용한 예측치와의 비교를 나타내고 있다. 태양전지판은 면적대 질량비가 위성체의 다른 부위에 비하여 매우 크므로, 음향가진에 의한 영향이 상대적으로 크다. 이에 따라 진동레벨이 Fig. 8(b)에 나타난바와 같이 약 10 - 30 Grms에 이르고 있다. 통계적 해석을 통한 응답의 예측은 태양전지판의 여러 위치에 대한 변동량을 비교적 정확히 예측함을 볼 수 있다.

V. 결론

본 연구에서는 국내에서 최초로 수행된 다목적 실용위성 2호기 구조 열해석 모델(Structural Thermal Model, STM)에 대한 음향가진시험과정을 소개하였으며, 발사과정에서 패어링 내부의 위성 본체 및 주 탑재물에 발생하는 음향유발 진동 레벨을 예측하고 진동 에너지 전달경로의 추적이 가능하도록 다목적 실용위성 2호기에 대한 3차원 통계적 에너지 해석모델과의 응답특성등을 비교분석하였다. 음향가진시험을 통하여 얻은 실험적 결과는 기 개발된 해석모델의 물성 변수

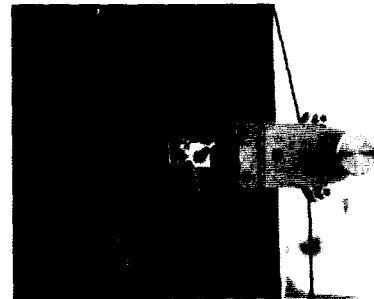


(a)

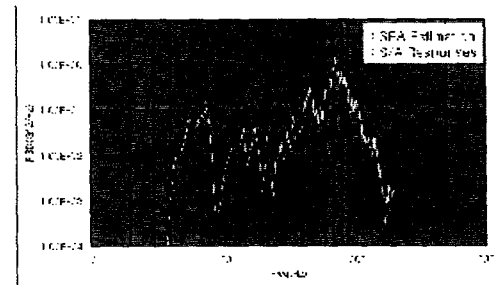


(b)

Fig. 7 Response at MSC Interface (a) Accelerometer Position. (b) Comparisons of SEA Estimation and Test Results.



(a)



(b)

Fig. 8 Response at Solar Array Panels (a) Accelerometer Position. (b) Comparisons of SEA Estimation and Test Results.

의 수정 및 보완에 이용되어질 것이다.

참고문헌

- [1] "Input Data for Acoustic Analysis", IOC K2-01-420-023, Korea Aerospace Research Institute, 2001
- [2] "KOMPSAT-2 STM Acoustic Test Test Readiness Review", Korea Aerospace Research Institute, 2002
- [3] A. J. Keane, W. G. Price, Statistical Energy Analysis, Cambridge University Press, 1994.
- [4] R. H. Lyon, R. G. DeJong, Statistical Energy Analysis, Cambridge University Press, 1994.