

통계적 에너지 해석을 이용한 RazakSAT 의 음향진동 연성해석 Vibroacoustic Analysis of RazakSAT using SEA

강명석, 배정석, 김종운, 최웅*, 우성현, 김영기**

Myung-Seok Kang, JeongSeok Bae, Jongun Kim, Woong Choi, Sung-Hyun Woo and YoungKey K. Kim

Key Words : SEA (통계적 에너지 해석), Acoustic Test (음향시험)

ABSTRACT

The vibroacoustic analysis has been carried out on the RazakSAT qualification model which was developed by SI and ATSB. Statistical energy analysis was used for the analysis and the results was compared with acoustic test results. The equipments of the RazakSAT are simplified as uniformly distributed mass on the panels in the SEA model. According to the comparison of the analysis and test results, SEA is useful estimation of the response in high frequency region and the results are valid when the assumption of equipartition of modal energy is agreed.

1. 서론

인공위성이 발사로켓에 실려서 발사되는 과정에서 위성체를 가진하는 진동의 원인으로 추진기관에서 발생하여 로켓을 통하여 전달되는 진동하중과 대기를 고속으로 비행하면서 위성을 둘러싼 페어링(Fairing)이 발생시키는 음향하중이 있다. 이러한 진동하중은 수십~수천 Hz 의 주파수대역에 걸쳐 작용한다. 위성체를 경유하여 전달되는 추진장치의 진동하중은 로켓을 타고 위성체가 체결된 면까지 전달되는 과정에서 상당량의 고주파 성분은 감소된다. 반면에 로켓의 페어링에서 전달되는 음향하중은 페어링 내부에 수천 Hz 까지의 주파수범위에서 130~150dB 의 음장을 형성하고 이 음장이 위성체를 직접 가진하게 된다. 추진장치 또는 음향에 의한 진동은 랜덤진동의 특성을 가지며 위성체의 구조적인 진동을 유발하여 위성체에 손상을 줄 수 있으므로 해석을 통하여 발사 환경에서의 음향가진에 의한 기계구조물의 진동을 예측하고 강도설계에 이를 반영하여야 한다^(1,2).

구조해석에서 가장 많이 사용되는 유한요소법은 일반적으로 200Hz 이하의 범위에서는 신뢰성 높은 결과를 제공하나 높은 주파수 대역에서는 계산량도 크게 늘고 모드가 경계조건에 대하여 민감하게 영향을 받아 신뢰성 있는 해석결과를 얻기 어렵다. 통계적 에너지 해석법⁽³⁾(SEA: Statistical energy analysis)은 유한요소법을 적용하기 어려운 모드밀도가 높은 고주파영역에 대하여 적용되는 해석방법이다.

본 논문에서는 ㈜세트렉아이(SI)가 말레이시아의 ATSB社와 공동으로 개발하고 있는 적도궤도 위성인 RazakSAT의 인증모델에 대하여 음향하중에 대한 통계적 에너지 해석(SEA)을 수행하고 이를 시험결과와 비교하여 유효성을 검토하였다.

2. SEA 해석모델

2.1 RazakSAT의 구조

RazakSAT은 그림 1과 같이 두칸의 내부공간으로 구성된 육각기둥형태로서 전개되는 세장의 태양전지판이 있으며 내부에는 고도 678km에서 흑백 2.5m, 칼라 5m의 해상도를 가지는 원기둥 형태의 지구관측카메라 MAC(Medium Aperture Camera)을 중간패널(Middle deck)에 장착하고 있다.

2.2 RazakSAT의 SEA 해석모델의 구조

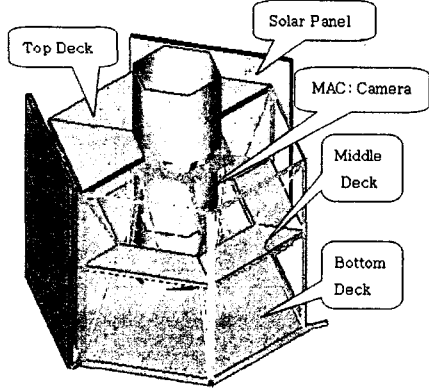


그림 1. RazakSAT의 구조

RazakSAT의 기계구조물의 면은 샌드위치패널로 제작되었으며 각 면에 부착된 탑재물들은 강성에 영향을 주지 않으며 면에 추가되는 균일한 질

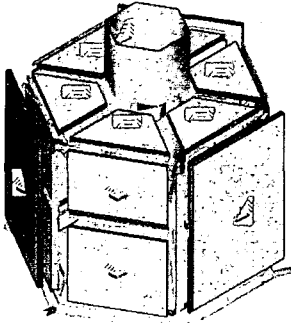
* ㈜세트렉아이

E-mail : kms@satreci.com

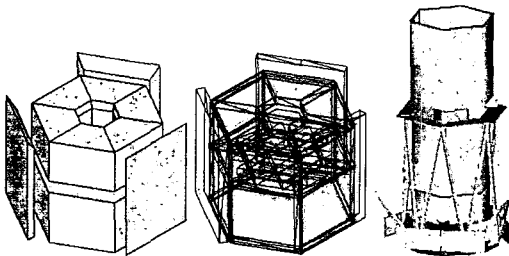
Tel : (042) 365-7543, Fax : (042) 365-7549

** 한국항공우주연구원

량으로 가정하여 식(1)과 같이 허니콤 코아의 밀도를 수정하여 적용하였다.



(a) 빔과 셀로 구성된 서비스시스템과 확장음장으로 외부면에 가해지는 음향가진



(b) 음향공간 (b) 서비스시스템간의 연결 (c) MAC

그림 2 SEA 해석모델

$$\rho = \frac{\text{Core Mass} + \text{Payload Mass}}{\text{Core Volume}} \quad (1)$$

$$\eta_i = 0.02 \quad (f < 500\text{Hz}) \quad (2)$$

$$\eta_i = 0.02 \times 500 / f \quad (f > 500\text{Hz})$$

샌드위치패널의 감쇠손실인자(damping loss factor)는 주파수의 함수로서 식(2)와 같이 500Hz 이하에서는 일정하고 이 이상에서는 주파수에 반비례하는 모델을 사용하였다. 골조를 이루는 알루미늄 빔들은 감쇠계수 1%의 빔요소로 모델링 하였다.

구성된 SEA 해석 모델을 그림 2에 나타내었다. 노출된 모든 면은 외부로부터 확장음장에 의하여 가진되고 태양전지판에 의하여 가려지는 덮개패널(closure panel)은 직접 가진되지 않고 태양전지판과 사이의 공간으로 형성되는 음향공간을 통하여 전달되도록 하였다.

MAC의 경통은 위성체의 음향공간과 연결을 하여 상판(top deck), 중간판(middle deck), 그리고 덮개판으로부터 음향하중이 전달되도록 모델링

3. 음향시험

RazakSAT 인증모델의 음향시험은 2004년 12월 항공우주연구원에서 수행하였다. 그림 3은 음향시험을 위하여 RazakSAT을 음향챔버에 설치한 모습이다.

음향가진에 의한 위성체의 기계적 진동은 패널 등 각 부분에 설치된 가속도계로 10~2000Hz 범위의 응답을 측정하여 기록하였다.

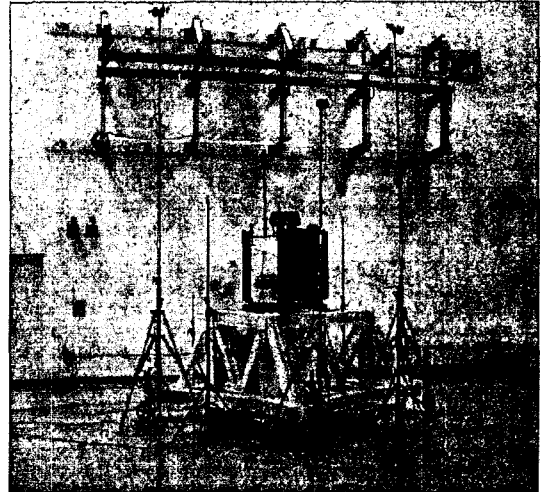


그림 3 RazakSAT 인증모델의 음향시험

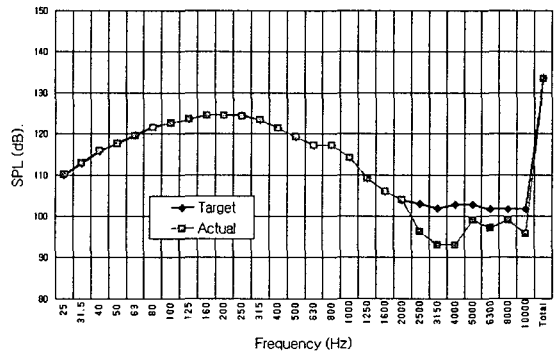
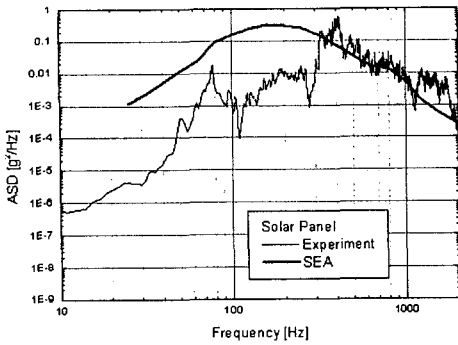


그림 4 음향시험의 인증레벨과 시험시 실제 가진레벨

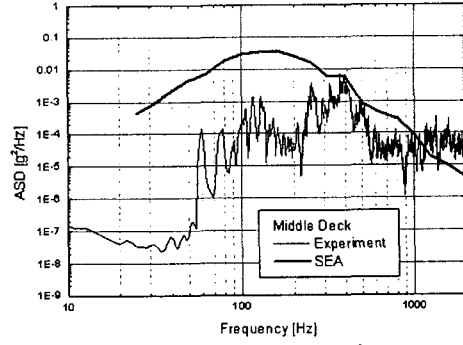
4. 음향시험과 해석결과

4.1 위성체의 응답

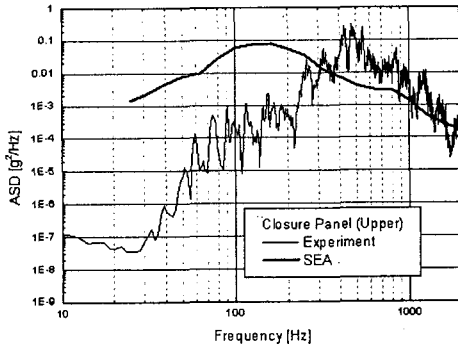
음향하중에 대한 위성체의 응답은 태양전지판, 덮개판, 상판, 중간판, 그리고 바닥판에서 측정하였고 SEA 해석결과와 함께 그림 5 (a)~(f)에 나타내었다.



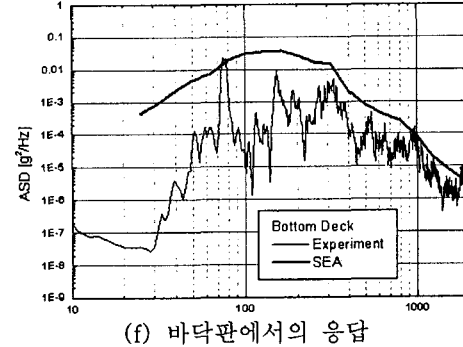
(a) 태양전지판의 응답



(e) 중간판에서의 응답

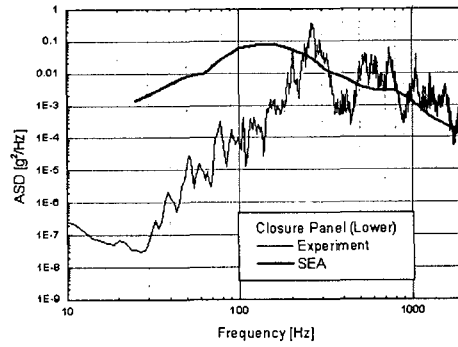


(b) 덮개판 상부에서의 응답

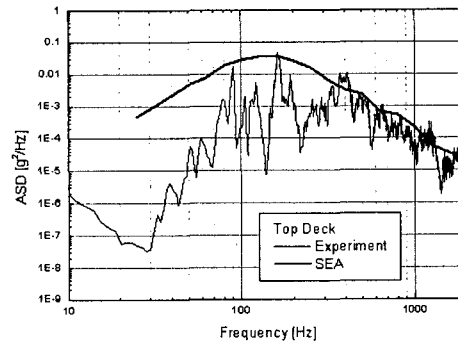


(f) 바닥판에서의 응답

그림 5 위성체의 음향가진에 대한 응답



(c) 덮개판 하부에서의 응답



(d) 상판에서의 응답

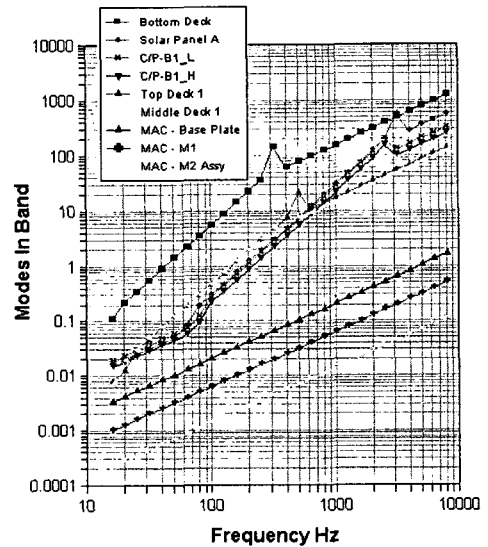


그림 6 주파수 대역별 모드수

그림 6의 주파수 대역별 모드수를 볼 때 SEA의 가정인 모드에너지의 균등성(equi-partition of modal energy)이 성립한다고 볼 수 있는 주파수 300Hz 이상에서 해석결과가 의미를 갖는다.

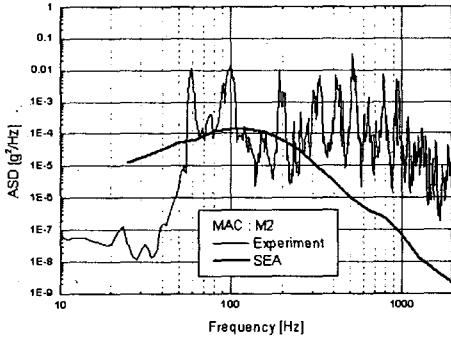
위성체와 세개의 지점에서 체결되어 있는 태양전지판은 위성체의 동적특성과의 연계성이 작아 외부의 음향가진특성과 자체의 물성에 지배적인

영향을 받는다. 따라서 응답특성은 실험치와 해석치가 상당히 근사하다.

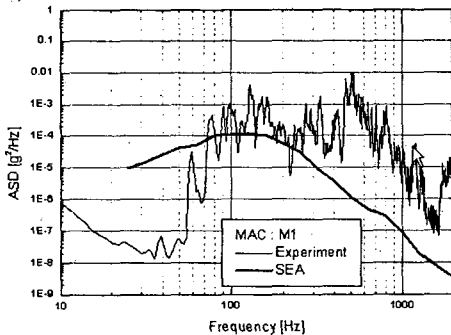
상판과 중간판은 도넛형태의 한장의 판이지만 SEA 모델링의 제한에 의하여 6 개의 분리된 판으로 표현하였다. 상판과 중간판의 결과들을 비교할 때 중간판에서 해석과 시험결과의 경향이 차이가 나는 것은 그림 6에서 보이듯이 주파수 밴드당 모드수가 적은 MAC 이 중간판에 부착되어 오차가 커진 것으로 판단된다.

바닥판에서는 시험치에 비하여 해석치가 높게 나타났다. 시험시 위성체 하부의 분리시스템을 지그에 클램핑하여 진동에너지가 지그로 유출되는 현상이 있으나 해석모델에서는 이것이 반영되지 않은 것이 원인으로 판단된다.

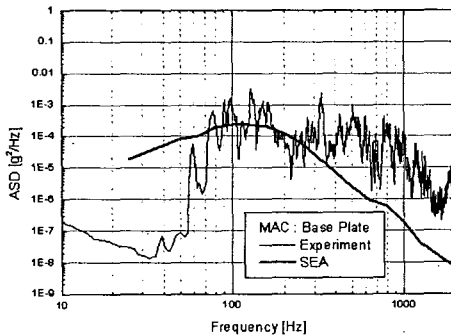
4.2 MAC 의 응답



(a) MAC 의 부경(M2)에서의 응답



(b) MAC 의 주경(M1)에서의 응답



(c) MAC 의 기관(base plate)에서의 응답

그림 7 MAC 에서의 응답

RazakSAT 의 주탑재체인 MAC 의 주요부분에서의 응답을 그림 7 (a)~(c)에 나타내었다. MAC 의 주경과 부경, 그리고 기관에서의 응답은 위성체의 각 부분에 비하여 실험결과와 해석결과의 편차가 크게 나타났다. 이것은 외부로부터 오는 음향하중이 직접적으로 MAC 에 전달되지 않고 위성체를 거쳐 구조진동으로 전달되는 것이 대부분이며 주파수대역에서의 모드수가 전 범위에서 1 이하로 모드에너지 균등성에 대한 가정을 만족하지 못하기 때문인 것으로 분석된다.

5. 결론

RazakSAT 의 인증모델에 대한 음향시험결과와 SEA 를 통한 해석결과를 비교하였다. 위성체와 탑재체인 MAC 의 주요부분에서의 응답을 비교검토함으로써 다음의 결론을 얻었다.

- 위성체의 SEA 결과는 모드에너지 균등성조건이 성립하는 300Hz 이상에서 의미있는 결과를 보인다.
- 구조적인 연계가 작은 태양전지판에서의 응답은 해석과 시험결과가 상당히 근사하였다.
- 중간판과 같이 모드수가 적으며 중량이 큰 부착물이 있을 경우 경향의 차이가 나타날 수 있다.
- MAC 과 같이 주파수 밴드당 모드수가 적은 서브시스템의 경우 SEA 의 해석오차가 크게 나타난다.

참고문헌

- (1) 우성현 등, 2004, "다목적 실용위성 2 호 구조-열 해석 모델의 음향 시험 및 통계적 에너지 해석", 10th HanPAM 2004 User Conference, pp. 233~238.
- (2) Soon-Hong Park, 등, 2004, "Vibroacoustic Analysis of Rocket Payload using AutoSEA, 10th HanPAM 2004 User Conference.
- (3) " AutoSEA2 2003, User' s Guide" .