

공명기를 이용한 소형위성발사체 탑재부의 음향하중 저감

Acoustic Load Reduction in the Payload of Small Launch Vehicle by using Resonators

서상현†·정호경*·박순홍*·장영순*·이영무*

Sang-Hyeon Seo, Ho-Kyeong Jeong, Soon-Hong Park, Young-Soon Jang and Yeong-Moo Yi

Key Words : Acoustic Mode(음향모드), Resonator(공명기), Absorption Coefficient(흡음률), Insertion Loss(삽입손실)

ABSTRACT

To protect a satellite and electronic equipment from the acoustic load generated by rocket propulsion system, many launch vehicle use acoustic blanket. Acoustic load is main source of random vibration working on the payload. Most high frequency region of the acoustic loads is reduced by payload fairing skins and acoustic blanket, but low frequency region is not. In order to reduce acoustic load of low frequency region, we designed array resonator panel which was made of composite materials. Insertion loss capacity of the payload fairing with acoustic blanket was verified from PLF acoustic test in the acoustic chamber.

1. 서론

위성 발사체의 발사 시 추진 기관에서 발생하는 상당한 수준의 음향하중(acoustic load)은 탑재한 위성체 및 기타 탑재물을 가진하는 중요한 진동원 중 하나이다. 특히 발사체 상단부의 경우, 추진 기관에 의한 진동 중 고주파 요소는 대부분 감소되어 전달되므로 음향하중이 가장 주요한 동적 하중으로 작용하게 된다.

음향 하중에 의한 위성체 또는 탑재물의 진동레벨을 줄이기 위해서는 먼저 이들을 보호하기 위한 페어링 외피에 대한 차음 특성을 고려하는 것이 필요하다. 그러나 일반적으로 페어링에 의한 외부 음향 하중의 차음만으로는 위성체나 탑재부가 견딜 수 있는 음향하중레벨을 초과하므로 이를 더욱 감소시킬 수 있는 음향블랭킷(acoustic blanket) 등의 음향 제어 기구를 사용하게 된다.

음향블랭킷의 사용 목적은 페어링 외피와 결합된 상태에서의 차음 및 내부 음향 공간의 흡음 특성을 증가시

키기 위한 것으로 볼 수 있다. 일반적인 차음재를 적용할 경우 고주파 영역에서는 우수하지만 저주파 영역에서의 차음 성능을 만족시키기 위해서는 질량 법칙(mass law)을 고려할 때 무게가 크게 증가해야 하기 때문에 발사체의 경우 적합하지 않다. 그러한 이유로 저주파 영역에서는 차음보다는 특정 주파수에서의 흡음을 목적으로 하는 헬름홀츠 공명기(Helmholtz resonator)를 적용하게 된다.

외부 음향하중이 주어질 때 내부음압레벨은 내부 음향모드(acoustic mode)의 고유주파수에 해당하는 영역에서 큰 값을 가지면서 흡차음 성능을 나타내는 삽입손실 성능을 많이 저하시킬 수 있다. 따라서 적절한 음향공명기의 설계를 위해 먼저 내부 공간의 음향모드를 파악하고, 이에 효과적인 위치에 배치하는 것이 중요하다.

실물형 페어링 외피 및 음향블랭킷을 적용한 실험을 통하여 공명주파수에서의 음향하중 저감 특성을 검증하였다.

2. 공명기 및 음향블랭킷의 설계

2.1 PLF(payload fairing) 내부 음향모드

소형위성발사체 탑재부에 해당하는 페어링 외피 내부 음향공간에서의 음향모드를 확인하기 위하여 유한요소해석을 수행하였다(1). ANSYS에서 Fluid30 요소를 사용하였고, 매질은 공기를 적용하였다.

† 한국항공우주연구원

E-mail : ssh@kari.re.kr

Tel : (042) 860-2541, Fax : (042) 860-2233

* 한국항공우주연구원

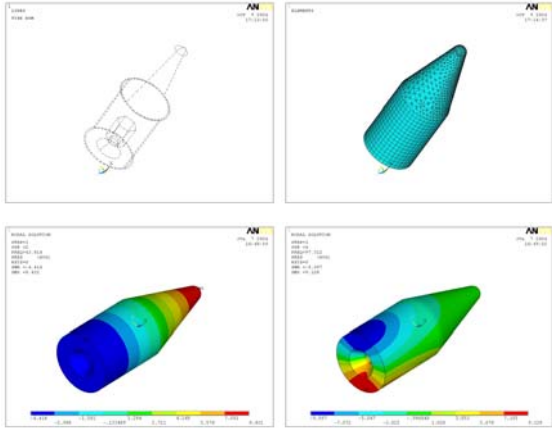


Fig. 1 Acoustic mode analysis of PLF

100Hz 이하의 해석 결과를 살펴보면 길이 방향으로 1차, 2차 모드가 43Hz, 72Hz에서 나타나고, 아래쪽 반경 방향으로 3차 모드가 94Hz, 97Hz에서 나타난다. 100Hz 이상에서는 음향블랭킷의 흡차음 성능을 기대할 수 있기 때문에 100Hz 이하의 영역에서 공명기를 적용하였다. 따라서 1차, 2차 모드에 대한 공명기를 설계하여 시편 단위 흡음률을 측정하였다.

2.2 공명기 및 음향블랭킷의 흡음률 측정

공명기는 아래 그림과 같이 좁은 목 입구와 내부 공동으로 이루어진 형상으로 제작된다. 강성 및 경량화를 위해서 복합재를 외피로, 내부에는 폼이 삽입되는 형태로 제작하였다.



Fig. 2 Composite acoustic resonator

흡음률 측정은 덕트를 이용한 Two-microphone method를 사용하였다(2).

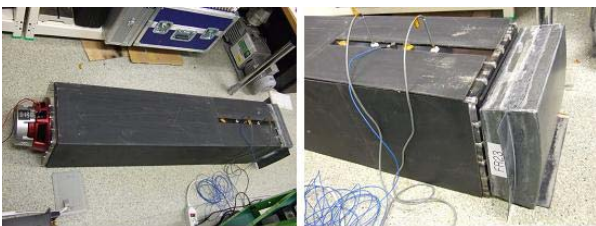


Fig. 3 Measurement instruments of absorption coefficient

발사 시 예상되는 페어링 내부 음압레벨을 고려하여

약 100dB 이상에서 약 129dB까지 가진 음압을 변화시켜 가면서 흡음률을 측정하였다. 이는 높은 음압레벨에서 공명기의 흡음특성이 비선형 거동을 보이기 때문이다.

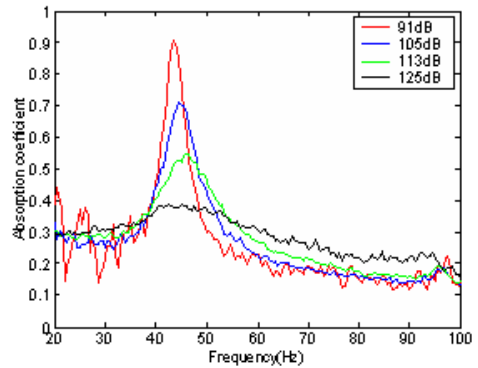


Fig. 4 Absorption coefficient of the 1st mode resonator

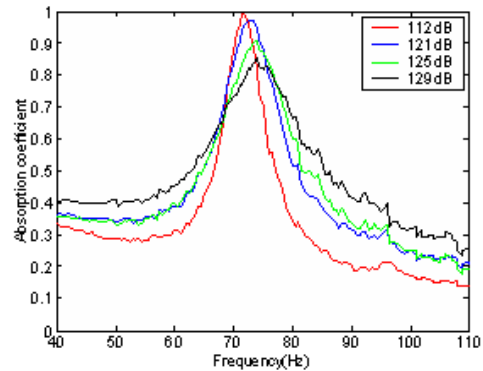


Fig. 5 Absorption coefficient of the 2nd mode resonator

흡음률 측정결과를 살펴보면 음압이 높아질수록 피크가 줄어들면서 주파수가 약간 이동하는 현상을 볼 수 있다. 그리고 대역폭은 다소 넓어진다. 1차 모드 공명기의 경우 45Hz 정도로 이동하고, 2차 모드 공명기의 경우 74Hz 정도로 이동하는 것을 관찰할 수 있다. 따라서 페어링 내부에서 음압레벨을 고려하여 공명기 설계가 이루어져야 함을 확인할 수 있다.

공명기와 함께 적용될 음향블랭킷의 경우 내부에 흡음재가 레이어로 삽입되고, 외부로 PTFE로 감싼 형태로 제작된다. 1차, 2차 공명기 및 음향블랭킷의 흡음률을 비교해서 나타내면 Fig. 7과 같다. 참고로 음향블랭킷의 경우 가진 음압에 따른 흡음률 변화는 거의 나타나지 않는다.



Fig. 6 Acoustic blanket scale-down specimen

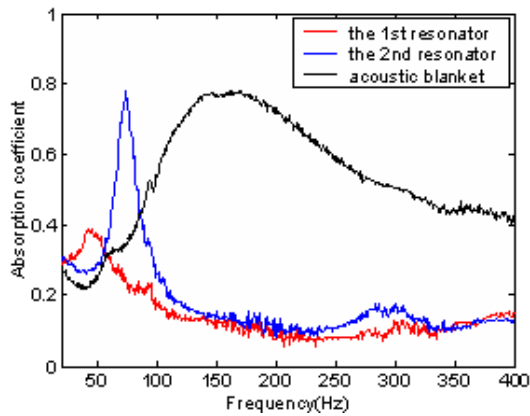


Fig. 7 Comparison of absorption coefficient

3. PLF 음향시험

3.1 음향시험 시편

페어링 내부 공간의 음향 가짐에 의한 외부 음압레벨을 기준으로 내부 음압레벨의 차이를 나타내는 삽입손실 IL(Insertion Loss)을 측정하기 위하여 음향챔버 내에서 음향시험을 수행하였다. 페어링 내부 공명기 및 블랭킷 배치는 Fig. 8과 같고, 가진 음압레벨을 달리 하면서 외부 기준 마이크로폰을 기준으로 삽입손실을 구하였고, 음향공명기 및 음향블랭킷을 적용하지 않은 경우와 비교하였다. 그리고 음향모드해석 결과를 검증하기 위해 내부 배치된 마이크로폰에서 측정되는 SPL(Sound Pressure Level)을 통하여 음향모드를 확인하였다.

음향시험의 페어링 내부 음압레벨을 측정하기 위하여 길이에 따라 90° 간격으로 마이크로폰을 28채널을 사용하였다. Fig. 9는 시험 시편을 보여주고 있다.

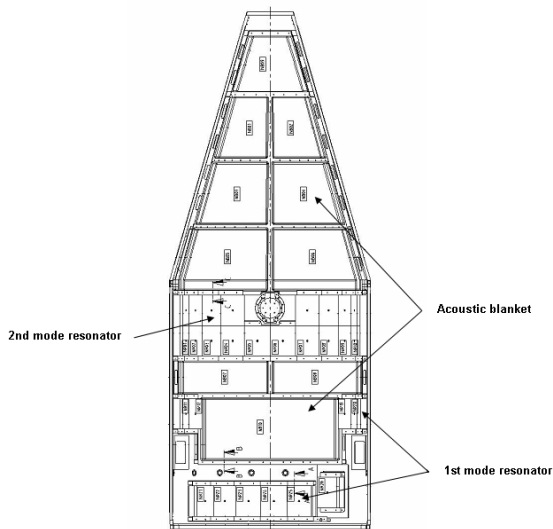


Fig. 8 Arrangement of resonators and acoustic blanket in the PLF



Fig. 9 Acoustic test of the PLF

3.2 시험 결과

Fig. 10은 음향블랭킷 및 공명기를 장착하지 않았을 경우 페어링 외피만의 삽입손실을 외부가진 음압레벨을 -12dB, -6dB, -3dB, full level(overall 148dB) 순으로 측정된 값이 되겠다. 음압변화에 따른 삽입손실 변화는 거의 보이지 않고, 내부 음향모드에 해당하는 주파수에서 삽입손실이 상대적으로 떨어짐을 확인할 수 있다. 앞서 언급한 해석에 의한 음향모드의 주파수와 근사하다는 것을 확인할 수 있었다.

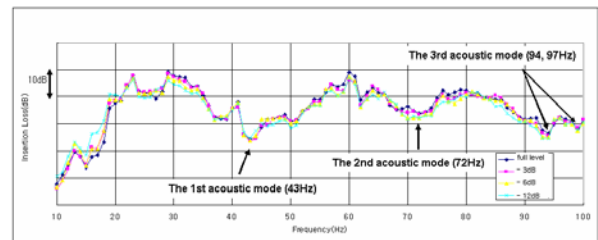


Fig. 10 Insertion loss of the PLF without acoustic blanket

다음으로 페어링 내부 음향공명기 및 블랭킷의 설치 여부에 따른 삽입손실의 실험결과를 살펴보면 Fig. 11과 같다. 전체적으로 봤을 때 저주파 영역에서 1차 모드에 해당하는 43Hz 부근에서 삽입손실이 크게 떨어지는 것을 알 수 있고 약 46Hz를 기준으로 삽입손실이 크게 증가하는 경향을 보이는데, 이는 단위 공명기의 흡음률 측정실험에서 주파수가 이동한 현상으로 확인할 수 있다.

Fig. 12를 살펴보면 가진 음압의 크기를 높게 하면서 비교한 결과에서 삽입손실이 공명주파수를 중심으로 증가한다. 이는 앞서 언급한 높은 음압에 의한 공명기 목에서의 비선형성을 반영한다고 볼 수 있다. 하지만 시편 단위 시험에서는 음압이 증가함에 따라 공명주파수에서의 흡음률이 감소하게 되는데, Fig. 12의 결과는 이와 상반되게 나타난다. 이에 대한 사항은 보다 다양한 실험과 이론 연구를 통하여 검증할 필요가 있다고 판단된다.

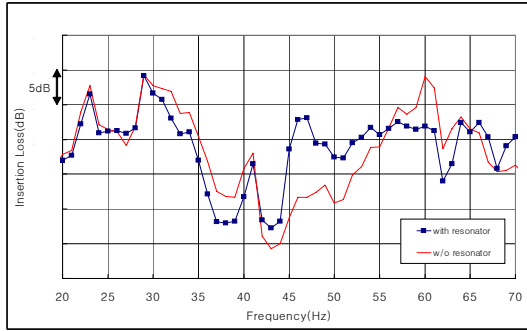


Fig. 11 Comparison of insertion loss (narrow band)

Fig. 13은 공명기 및 음향블랭킷 장착 유무에 따른 삽입손실의 차이를 1/3 옥타브 밴드에서 비교한 것이다. 공명주파수의 이동으로 인하여 삽입손실 성능이 목표로 한 1차 음향모드가 있는 40Hz 밴드가 아닌 50Hz 밴드에서 크게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 2차 모드의 경우 기본적으로 목표 레벨을 만족하고 있음을 보여주고, 3차 모드에서 보다 취약한 것을 알 수 있다. 따라서 2차 모드 공명기를 3차 모드로 설계변경 할 필요가 있고, 1차 모드의 경우 좀 더 저주파로 주파수 조정이 필요하다. 여기서 Fig. 13은 PLF 내부에서 위성체 및 전자탑재물이 배치되는 하단부 평균 음압을 기준으로 계산한 삽입손실이 되겠고, Fig. 14는 상단부 평균 음압을 기준으로 한 삽입손실이다. PLF 상단부 큰 쪽에서 더욱 높은 삽입손실 성능을 가짐을 확인할 수 있다.

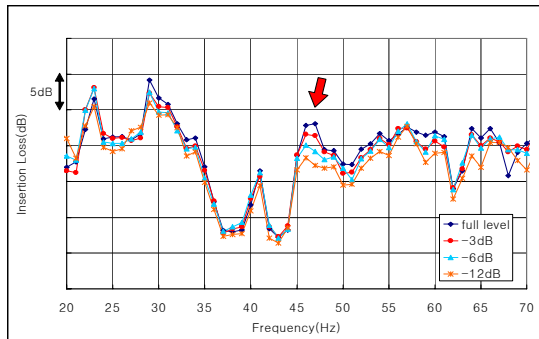


Fig. 12 Variation of insertion loss by excitation SPL

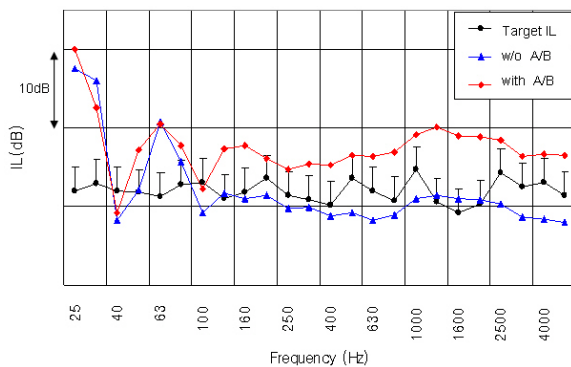


Fig. 13 Comparison of IL at lower region of PLF (1/3 octave band)

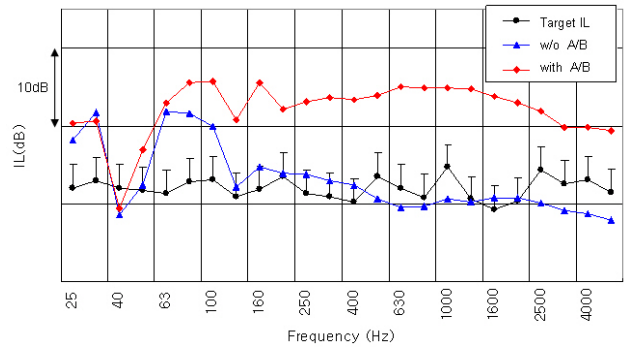


Fig. 14 Comparison of IL at upper region of PLF (1/3 octave band)

4. 결론

위성 발사체 탑재부 내의 음향공간에 대한 음향모드 해석을 통하여 제어해야 할 주요 모드에 해당하는 음향 공명기를 설계하여 단위 시편 실험을 통하여 공명주파수 및 흡음률 특성을 확인하였다. 음향모드 해석에 기초하여 무게 및 배치를 고려하여 공명기 및 음향블랭킷을 설계하였고, 음향시험을 통하여 그 성능을 비교, 분석하였다. 공명기의 높은 음압에서의 비선형 특성으로 인하여 1차 모드에서 좀 더 주파수를 낮추는 조정이 필요하고, 2차 모드 공명기 대신에 3차 모드에 해당하는 공명기를 적용하기로 설계 변경하였다. 따라서 전체적인 목표 삽입손실을 만족하게 될 것이고, 향후 공명기의 비선형 특성에 대한 연구가 심도 있게 수행되어야 할 것이다.

참고 문헌

- (1) 박순홍, 장영순, 2003. "위성 발사체의 탑재부 음향모드 해석," 13th Korea ANSYS User's Conference, p.40,
- (2) ASTM E1050-98, "Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using A Tube, Two Microphones and A Digital Frequency Analysis System".