

발사체 음향 하중 저감을 위한 수동형 흡음 기구 개념 및 실험적 평가

Experimental evaluation of passive absorption devices for the reduction of acoustic loads of space launch vehicle

박순홍†·서상현*·장영순**

S.-H. Park, S.-H. Seo and Y.-S. Jang

서의 적용 가능성을 검토하였다.

1. 서 론

위성 발사체 설계에 있어 지상에서의 이륙 및 비행 중 경험하게 되는 랜덤 진동 하중은 위성체 및 전자 탑재체의 손상 및 오작동을 야기할 수 있음은 주지의 사실이다. 특히 위성 탑재부쪽의 랜덤 진동 하중의 주요 원인은 발사체 주 엔진에 의한 음향 하중 및 비행중의 난류 등에 의해 가진되는 공력 음향 하중으로서 발사체 설계 단계에서부터 이를 저감하기 위한 노력을 하고 있다.

올해 8월에 발사된 한국 최초의 우주 발사체 나로호(KSLV-I)에는 음향 하중 저감을 위한 흡음 기구가 적용되었고, 향후 개발될 한국형 발사체에도 음향 하중 저감 시스템이 적용될 예정이다. 위성 발사체에 적용되는 흡음 기구는 일반적인 흡음 기구와는 달리 고음압에서 작동하고, 청정, 진공 및 온도 등의 특수 환경 조건을 만족하여야 하며, 비행시 작용하는 관성 하중 또는 진동 하중 등에 의해 파손되지 않아야 하는 등의 여러 환경 조건을 만족하여야 한다. 또한 가능하면 경량이고, 페이로드 체적의 희생을 줄이기 위해 얇은 형태를 가져야 하며 중-저주파수 대역의 음향 에너지를 저감할 수 있어야 한다.

이와 같은 음향 하중 저감 기구는 크게 능동형과 수동형으로 구분할 수 있는데, 최근 압전 소자 등을 이용한 능동 소음 제어 등에 대한 연구가 진행되고 있으며, 그 성능에 있어 큰 장점이 있으나, 단 한 부분의 오작동도 발사 임무의 실패로 이어질 수 있음을 고려한다면 여전히 수동형 흡음 기구도 좋은 선택이라 할 수 있다.

본 논문에서는 음향 블랑킷으로 대표되는 몇 가지 수동형 흡음 기구의 특성을 살펴보고 기존의 음향 블랑킷에 비해 취급성이 개선되고, 경량화가 가능하여 발사체 흡음 기구로

2. 본 론

2.1 수동형 흡음 기구

(1) 음향 블랑킷(Acoustic blanket)

델타 로켓, 타이탄 로켓 등과 같은 위성 발사체에 많이 사용되었으며, 나로호에서도 사용된 음향 블랑킷은 흡음재를 위성 발사 환경 조건에 적합하도록 특수 필름 등으로 밀봉하여 제작한 것으로서 차음 성능 개선 등을 위해 질량판의 삽입 등이 가능하다. 다만 특수 접착 과정 등과 같은 제작상의 난점이 있고 조립 운용 중 작업자 등에 의한 파손이 쉽게 발생할 수 있는 단점이 있다.

(2) 헬름홀쯔 공명기

흡음재 등으로 구현하기 어려운 100 Hz 내외의 음향 공진을 제어하기 위해 사용된다. 아리안 5호 등과 같은 상용 위성 발사체에서 사용되었고, 나로호의 경우에도 저주파수 음향 공진을 제어하기 위해 사용되었다. 헬름홀쯔 공명기는 단위 공명기의 흡음 성능 뿐만 아니라 배열로 장착하는 최적 위치를 결정하는 방법도 주요한 설계 요소라 할 수 있다.

(3) 박막-공동 흡음 기구

박막과 공동의 이너턴스 및 컴플라이언스 작동 효과에 의해 특정 주파수에서 높은 흡음률을 얻을 수 있다[1,2]. 흡음재 등과 같이 입자가 발생할 수 있는 제어 요소를 사용하지 않기 때문에 청정 조건과 같은 위성 발사체의 요구 조건에 부합할 수 있다. 그러나, 고음압과 같은 조건에서의 흡음 성능 변화에 대해서는 연구가 더 필요하다.

(4) 미세 천공 판넬-공동 흡음 기구

Maa[3]에 의해 제안되었고, 1 mm 미만의 다수의 미세 구멍을 판넬에 가공하고 그 후면에 공동을 형성함으로써 중고주파수 대역의 흡음을 수행할 수 있다. 역시 청정 조건을 만족하고, 취급성이 좋은 점이 큰 장점이 되지만, 입사 음압이 커지는 경우 수치 모델의 수정이 필요하며, 흡음률의 감소가 예상된다.

† 한국항공우주연구원 발사체구조팀
E-mail : shpark@kari.re.kr
Tel: (042) 860-2093, Fax: (042) 860-2233

* 한국항공우주연구원 발사체구조팀

** 한국항공우주연구원 발사체구조팀

2.2 실험적 평가

(1) 실험 방법

박막-공동 흡음 기구 및 미세 천공 판넬-공동 흡음 기구의 흡음 특성을 평가하기 위해 다음과 같은 실험 장치를 이용하였다. 가로, 세로 각각 260mm이고 길이 1300mm인 사각 덕트 끝단에 중-저주파수를 가진할 수 있는 우퍼 스피커를 장착하고, 끝단에는 시편을 장착할 수 있도록 하였다. 덕트에서 측정할 수 있는 최저 주파수는 50 Hz이고, 평면파가 가진될 수 있는 최대 주파수는 650 Hz이다. 이때 최저 주파수는 스피커가 가진 주파수와, 고음압으로 가진하는 경우 덕트의 구조 진동으로 인하여 흡음률이 정확하게 측정되지 못하는 주파수와도 관계 있다. 유효 주파수 범위는 위성 발사체의 음향 하중이 대부분 중-저주파수에 큰 에너지를 가진다는 점을 고려하여 덕트의 크기를 결정하였다.

박막-공동 흡음 기구 시편은 실리콘 고무 3종(두께 1mm, 2mm, 4mm)을 245x245x55 mm³의 공동 체적을 가지는 복합재료 시편(공명기 시편의 일부)에 접착하여 구성하였다. 한편 미세 천공 판넬-공동 흡음 기구 시편은 미세 천공 판넬(직경 0.4mm, 구멍 간격 3.96mm 및 동일한 직경과 구멍 간격 5.01mm 각각 1장)과 90mm 깊이의 공동을 가지는 아크릴 박스를 이용하여 구성하였다. 지면 관계상 몇 가지 실험 결과만을 살펴보면, 그림 1과 같이 박막-공동 흡음 기구의 경우 가진 음압이 커지면 어느 시점까지는 흡음률이 상승하나 특정 음압 이후로 흡음률이 감소하는 경향을 보였다. 한편 참고 문헌과 같이 박막의 질량이 커질수록 최대 흡음 주파수가 저주파수로 이동하는 점을 이용하여 흡음률 최대치를 원하는 주파수에 조절할 수 있으나 100 Hz 이하에서 최대 흡음률을 구현하기 위해서는 단위 면밀도가 크게 증가하여 경량화 측면에서 위성 발사체에 적용하기에는 불리함을 보였다.

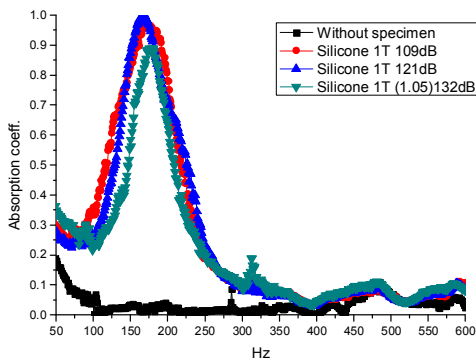


그림 1 박막-공동 흡음기구의 입사 음압에 따른 흡음률의 변화

한편 미세 천공 판넬-공동 흡음 기구는 공동 깊이를 90mm로 하여 130dB(overall, ~800Hz)로 가진하였을때의 흡음률을 측정하고 이를 Maa[3]의 미세 천공 임피던스를

이용하여 계산한 흡음률 예측치와 비교하였다. (그림 2) 결과를 살펴보면 비교적 수치 계산 결과와 유사한 결과를 보여주는 것을 볼 수 있는데, 이는 가진 수준을 130dB (overall) 수준으로 하더라도 협대역 스펙트럼으로는 80dB 수준을 나타내기 때문에 수치 계산에 사용된 임피던스가 유효함을 의미한다.

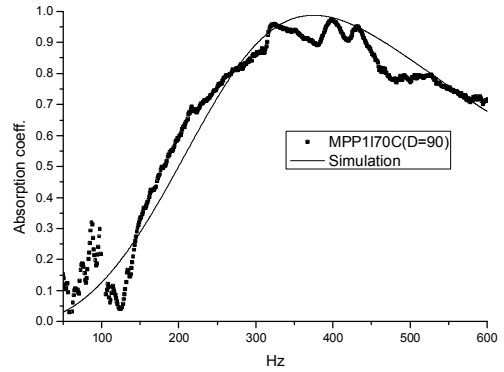


그림 2. 미세 천공 판넬 흡음 기구의 흡음률

3. 결 론

박막-공동 흡음 기구는 대역폭이 좁은 대신 저주파수 대역의 흡음이 가능하다는 장점이 있으나, 저주파수 대역으로 흡음률의 피크를 설계하는 경우 중량이 크게 증가할 가능성이 있어 실제 적용은 쉽지 않을 것으로 보인다. 한편 미세 천공 판넬 흡음 기구의 경우 총합 130 dB의 가진 음압에 대해서도 수치 모델과 유사한 흡음률을 보이고, 저주파수 대역의 흡음은 어렵지만 중주파수 대역의 흡음에 장점이 있을 것으로 판단된다. 다만 실제 위성 발사체의 경우에는 가진 음압이 이보다 다소 높기 때문에 향후 좀 더 가진 수준을 높여 그 특성을 파악해 볼 필요가 있다.

참고문헌

- [1] 김양한, 임종민, "박막-공동계의 주파수 특성과 응용," 한국소음진동공학회지 제9권 제6호, 1123-1130, 1999
- [2] K. Sakagami, M. Kiyama, M. Morimoto & D. Takahashi, " Sound Absorption of a Cavity-Backed Membrane: A Step towards Method for Membrane-Type Absorbers," Applied Acoustics, Vol. 49, No.3, 237-247, 1996
- [3] D.-Y. Maa, "Potential of microperforated panel absorber," J. Acoust. Soc. Am, Vol.104, No.5, 2861-2866, 1998