

우주 발사체의 음향 하중 저감을 위한 미세 천공판-공동 흡음 기구의 적용성

Applicability of Micro-perforated Panel Absorbers for the Reduction of Acoustic Loads of a Space Launch Vehicle

박순홍† · 서상현* · 장영순**

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

1. 서 론

우주 발사체가 이륙 및 비행 중에 경험하게 되는 랜덤 진동 하중은 탑재된 위성체 및 전자 탑재체의 손상 및 오작동을 야기할 수 있는데, 이의 주요 원인은 발사체 주 엔진에 의한 음향 하중 및 비행중의 난류 등에 의해 가진되는 공력 음향 하중이다. 특히 발사체가 대형화 될수록 성능에 비례하여 음향 하중이 증가하므로 이를 저감하기 위해 여러 형태의 흡음 기구를 탑재하고 있다.

위성 발사체에 적용되는 흡음 기구는 일반적인 흡음 기구와는 달리 매우 높은 음압에서 작동하고, 청정, 진공, 온도, 관성 하중 및 진동 등의 특수 환경 조건을 만족하여야 한다. 또한 페이로드 체적의 최대화를 위해 얇은 형태를 가져야 하고, 경량이어야 한다. 일반적으로 저주파수 음향 모드의 제어를 위해서는 헬름홀츠 공명기 형태의 배열이 사용되며, 그 이상의 영역에서는 음향 블랑켓으로 대표되는 흡음 기구가 사용되고 있다.⁽¹⁾ 이 중 음향 블랑켓은 흡음 성능은 우수하지만, 제작, 조립 및 취급이 까다롭고, 부착을 위한 추가 구조가 필요하여 무겁다는 단점이 있다.

최근 많은 연구가 진행되고 있는 미세 천공판-공동 흡음 기구⁽²⁾는 얇은 판넬에 지름 1 mm 미만의 다수의 미세 구멍을 가공하고 그 후면에 공동을 형성함으로써 흡음을 수행할 수 있다. 미세 천공판-공동 흡음 기구는 우주 발사체용 흡음 기구에 요구되는 환경 조건을 만족하고, 취급성이 좋은 점이 장점으로 음향 블랑켓의 대체가 가능할 것으로 판단된다. 그러나, Maa 에 의해 제안된 음향 임피던스 모델은 낮은 음압의 경우에만 적용될 수 있어 이를 우주 발사체에 적용하기 위해서는 높은 입사 음압의 경우 음향 임피던스의 변화를 규명하고 이를 설계에 반영할 필요가 있다. 본

논문에서는 200~600 Hz 대역의 흡음을 위한 미세 천공판-공동 흡음 기구의 적용성을 검토하기 위해 입사 음압을 변화시키면서 음향 임피던스를 측정하였다. 입사 음압이 증가할 때 레지스턴스의 증가는 음압레벨 (SPL, dB)에 따라 점진적으로 증가하며, 미세 천공판의 두께가 얇은 경우 더 큰 증가를 보였다. 또한 리액턴스는 흡음률 선도가 광대역 (broad band)인 점을 감안하면 그 변화를 무시하여도 좋을 수 있었다.

2. 본 론

미세 천공판 흡음 기구를 높은 음압 환경에 적용하기 위해서는 높은 가진 음압에서의 음향 임피던스의 특성을 파악하고, 그 특성을 설계에 반영할 수 있어야 한다. 이를 위하여 아래와 같이 미세 구멍 면적이 260mm X 260mm인 2종의 미세 천공판 (알루미늄 합금 박판)을 제작하고, 깊이 90 mm 의 직육면체 공동을 이용하여 미세 천공판-공동 흡음 기구를 구성한 후 임피던스 및 흡음률을 측정하였다.

Table 1 Microperforated panels for experiments

ID	Thickness, <i>t</i> (mm)	Hole diameter, <i>d</i> (mm)	Aperture ratio, σ (%)
MPP1	0.5	0.4	0.5
MPP2	1.0	0.4	0.8

이론적으로 MPP1의 경우 381 Hz에서 1.0의 흡음률, MPP2의 경우 375 Hz에서 0.99의 흡음률 가지게 된다. 임피던스 측정을 위해 한 변의 길이가 260mm 인 정사각형 단면을 가지는 덕트를 이용하여 임피던스 튜브 (impedance tube)를 제작하고, 두 개의 마이크로폰을 이용하여 미세 천공판-공동 흡음 기구의 표면 음향 임피던스를 측정하였다. 참고로 임피던스 튜브의 유효 측정 주파수 대역은 최대 650 Hz이다. 한편 미세 천공판 바로 앞에 마이크로폰을 추가로 설치하여 가진 음압을 계측하고 이를 기준으로 음압을 높여가며 음향 임피던스를 측정하였다.

먼저 두께 1.0 mm 인 MPP2를 이용한 미세 천공판-공동 흡음기구의 음압에 따른 수직 입사 흡음률, 정규화된 비음

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

* 한국항공우주연구원

** 한국항공우주연구원

항 레지스턴스를 Fig. 1, 2에 나타내었다. 리액턴스는 변화를 무시할 수 있어 지면상 생략하였다. Fig. 1을 보면 음압이 증가함에 따라 흡음률이 감소함을 알 수 있고, 흡음률의 최대 주파수의 변화는 흡음률 선도의 대역폭이 넓기 때문에 무시할 수 있음을 확인할 수 있다. 가진 음압이 증가하는 경우 흡음률이 감소하는 이유는 Fig.2에 보여진 바와 같이 음향 레지스턴스가 증가하기 때문인데, 가진 음압이 증가할수록 미세 구멍 내의 유속이 증가하여 난류(turbulence) 및 제트(jet)에 의한 레지스턴스의 비선형 항이 큰 영향을 주기 때문이다.⁽³⁾

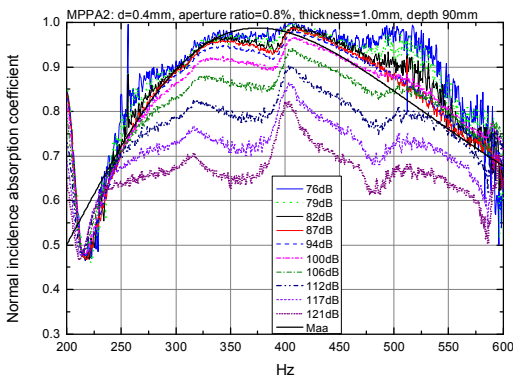


Fig.1 Measured normal incidence absorption coefficient of MPPA ($t=1\text{mm}$, $d=0.4\text{mm}$, aperture ratio=0.8%, $D=90\text{ mm}$) according to excitation level

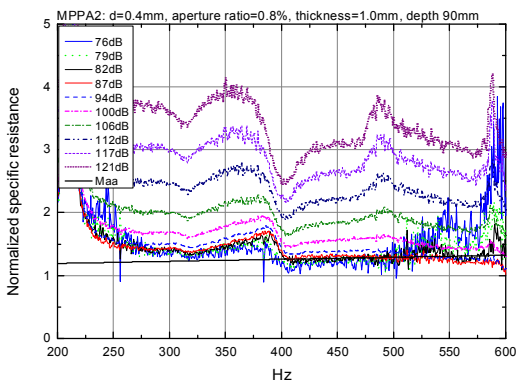


Fig.2 Measured normalized specific acoustic resistance of MPPA ($t=1\text{mm}$, $d=0.4\text{mm}$, aperture ratio=0.8%, $D=90\text{ mm}$) according to excitation level

한편 좀 더 얇은 MPP (MPP1, 두께 0.5 mm)의 경우에도 유사한 경향이 관찰되었다. 특히 레지스턴스의 변화는 음압이 증가할수록 MPP2보다 레지스턴스가 좀 더 크게 증가하여, 흡음률이 좀 더 감소함을 알 수 있었다. 참고로 Ingard⁽³⁾의 연구에서도 구멍의 두께가 얇아질수록 레지스턴스의 비선형 항의 증가가 두드러짐이 보고된 바 있다. 비선형 항을 좀 더 자세히 살펴보기 위해 정규화된 비음향 레지스턴스를 다음 식과 같이 가진 음압(SPL)에 무관한 선형항과 가진 음압에 따라 변하는 비선형항으로 구분하여 표현하고, 흡음률 피크가 존재하는 주파수 대역에서의 평균값

을 취하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$r_b(SPL) = r_{L,b} + r_{NL,b}(SPL) \quad (1)$$

앞서 살펴본 두 개의 미세 천공판-공동 흡음기구에 대하여 가진 음압에 따라 변하는 $r_{NL,b}$ 을 구해 보면 Fig. 3과 같다. 두 경우 모두 400 Hz 1/3 옥타브 대역 (octave band)에 흡음률 피크 주파수가 있으므로 400 Hz 1/3 옥타브 밴드 대역의 가진 음압을 x 축으로 하고, 400 Hz 1/3 옥타브 밴드의 값을 평균한 $r_{NL,b}$ 값을 나타내었다. 음압(SPL,dB)이 증가함에 따라 $r_{NL,b}$ 이 점진적으로 증가하는데, 이는 멱함수(power function) 또는 2차 다항식(포물선) 형태로 표현 가능함을 알 수 있다. 또한 MPP의 두께가 얇은 경우 $r_{NL,b}$ 의 증가가 좀 더 크게 나타남을 볼 수 있다. 따라서, 실제 적용시 음압에 의한 음향 임피던스를 고려하기 위해서는 이와 같은 실험 결과를 토대로 $r_{NL,b}$ 의 값을 곡선 맞춤(curve fitting)하고, 이를 낮은 음압에서의 임피던스에 보정항으로 삽입하면 수직 입사 흡음률의 예측 및 인클로저(enclosure)내의 소음 제어에 대한 수치해석이 가능할 것으로 판단된다.

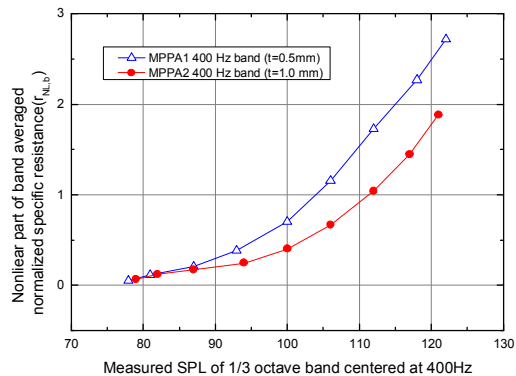


Fig.3 Nonlinear part of band averaged normalized specific resistance according to excitation pressure level

참 고 문 헌

- (1) Park, S.-H., Seo, S.-H., Jang, Y.-S., 2009, "Experimental Evaluation of Passive Acoustic Absorbers for the Reduction of Acoustic Loads of Launch Vehicles," Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp 615-616.
- (2) Maa, D.-Y., 1998, "Potential of Microperforated Panel Absorber," J. Acoust. Soc. Am., Vol.104, No.5, pp. 2861-2866.
- (3) Ingard, U., 1953, "On the theory and Design of Acoustic Resoantors," J. Acoust. Soc. Am, Vol. 25, pp. 1037-1062.