

# 높은 입사 음압에서의 미세 천공판을 이용한 흡음 기구의 설계

## Design of a Micro-perforated Panel Absorber at High Incident Sound Pressure

박 순 홍† · 서 상 현\* · 장 영 순\*

Soon-Hong Park, Sang-Hyun Seo and Young-Soon Jang

(2010년 9월 3일 접수 ; 2010년 9월 29일 심사완료)

**Key Words** : Acoustic Impedance(음향 임피던스), Acoustic Resistance(음향 레지스턴스), Micro-perforated Panel (미세 천공판), High Incident Sound Pressure(높은 입사 음압), Acoustic Absorber(흡음 기구)

### ABSTRACT

Reduction of acoustic loads of space launch vehicles can be achieved by acoustic absorbers satisfying strict cleanness requirements. This limited the use of general porous materials and requires non-porous sound absorbers. Micro-perforated panel absorbers(MPPA) is one of promising sound absorbers satisfying the cleanness requirement for launch vehicles. However, its applicability was limited to low sound pressure levels according to the acoustic impedance model of micro-perforated panels. In this paper the applicability of micro-perforated panel absorbers at high incident sound pressure was investigated in experimental ways. The absorption characteristics of a micro-perforated panel absorber was simulated according to its design variables, e.g., minute hole diameters and aperture ratios. It was shown that optimal design can be readily done by using proposed design charts. Experiments were conducted to measure acoustic properties of the designed micro-perforated panel absorbers. The results showed that acoustic resistance increases rapidly as incident sound pressure level does but change of acoustic reactance can be neglected in a practical point of view. This caused the decrease of peak value of absorption coefficient at high incident sound pressure level, but the amount of reduction can be accepted in practice. The major advantage of the micro-perforated panel absorber(wide absorption bandwidth) was still kept at high sound pressure level.

### 1. 서 론

우주 발사체가 이륙 및 비행 중에 경험하게 되는 랜덤 진동 하중은 탑재된 위성체 및 전자 탑재체의 손상 및 오작동을 야기할 수 있음은 주지의 사실이다<sup>(1)</sup>. 특히 노즈 페어링 또는 위성 탑재부를 가진하는 랜덤 진동 하중의 주요 원인은 발사체 주 엔진

에 의한 음향 하중 및 비행중의 난류 등에 의해 가진되는 공력 음향 하중이다. 특히 발사체 추진 기관의 성능이 향상될수록 성능에 비례하여 음향 하중이 증가하므로 이를 저감하기 위해 여러 형태의 흡음 기구를 탑재하고 있다<sup>(2)</sup>.

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. 설계시 주로 관심을 가지는 주파수 대역은

† 교신저자; 정회원, 한국항공우주연구원 발사체연구본부  
E-mail : shpark@kari.re.kr

Tel : (042)860-2093, Fax : (042)860-2233

\* 한국항공우주연구원 발사체연구본부

노즈 페어링 내부의 음향 공간의 저차 모드가 존재하는 주파수부터 높게는 500~600 Hz 이하의 주파수 대역이다. 위성 발사체의 위성 탑재부에 가해지는 음향 하중 스펙트럼은 소형 위성 발사체의 경우 100~200 Hz 부근에서 약 140 dB 이상의 피크값을 가지며, 유효 주파수 대역에서의 합은 약 150 dB 이상의 값을 가진다<sup>(1)</sup>. 일반적으로 저주파수 음향 모드의 제어를 위해서는 헬름홀쯔 공명기 형태의 배열이 사용되며, 그 이상의 영역에서는 음향 블랑켓으로 대표되는 흡음 기구가 사용되고 있다<sup>(3)</sup>. 두께의 제한으로 음향 블랑켓은 200~300 Hz 이상의 주파수 대역의 흡음을 목표로 설계되며, 흡음재를 특수한 외피로 둘러싸서 청정 조건을 만족하도록 제작된다. 음향 블랑켓은 흡음 성능은 우수하지만, 제작, 조립 및 취급이 까다롭고, 부착을 위한 추가 구조가 필요하여 무겁다는 단점이 있다.

Maa<sup>(4)</sup>에 의해 제안된 미세 천공판-공동 흡음 기구는 얇은 판넬에 지름 1 mm 미만의 다수의 미세 구멍을 가공하고 그 후면에 공동을 형성함으로써 흡음을 수행할 수 있다. 천공내의 점성 영역에 의한 흡음은 오래전부터 관심의 대상이었으며 Crandall<sup>(5)</sup>에 의해 정리된 바 있으나, Crandall은 지름 1 mm 이하의 미세 구멍에 대해서는 관심을 가지지 않았다. 그러나 Maa는 지름 1 mm 이하의 천공이 가지는 레지스턴스(resistance) 및 이너턴스(inertia)의 효과에 주목하고 추가로 공동을 이용한 공명형 흡음 기구를 제안하였다. 미세 천공판-공동 흡음 기구는 우주 발사체용 흡음 기구에 요구되는 환경 조건을 만족하고, 취급성이 좋은 점이 장점으로 음향 블랑켓의 대체가 가능할 것으로 판단된다<sup>(3)</sup>. 그러나, Maa에 의해 제안된 음향 임피던스 모델은 낮은 음압의 경우에 제시된 것으로 미세 천공판-공동 흡음 기구를 우주 발사체에 적용하기 위해서는 높은 입사 음압의 경우 음향 임피던스의 변화를 규명하고 이를 설계에 반영할 필요가 있다.

이 논문에서는 200~600 Hz 대역의 흡음을 위한 미세 천공판-공동 흡음 기구를 효과적으로 설계하기 위해 설계 선도를 예시하고, 설계 인자의 변화에 따른 흡음 특성의 변화를 살펴보았다. 또한 음압 변화에 따른 음향 임피던스 특성을 파악하기 위해 제작한 2종의 미세 천공판을 이용하여 입사 음압을 소형 위성 발사체의 400 Hz 1/3 옥타브 대역의 음압

수준까지 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 것을 알 수 있었다.

## 2. 미세 천공판-공동 흡음 기구의 설계

### 2.1 낮은 입사 음압에서의 음향 임피던스

Fig. 1과 같은 미세 천공판-공동 흡음 기구(MPPA)를 생각하자.

미세 천공판의 두께를  $t$ , 균일한 간격인 미세 구멍의 직경을  $d$ , 그 간격을  $l$ , 공동의 깊이를  $D$ 라 하면, 미세 천공판-공동 흡음 기구 표면에서의 정규화된 비 음향 임피던스(normalized specific acoustic impedance)를 다음 식과 같이 표현할 수 있다<sup>(4)</sup>.

$$z_{MPP} = r_{MPP} + jx_{MPP} \quad (1)$$

여기서,  $r_{MPP}$ 는 정규화된 비 음향 레지스턴스(normalized specific resistance)로서

$$r_{MPP} = \frac{32\eta t}{\rho_0 c_0 d^2 \sigma} \left( \sqrt{1 + \frac{k_p^2}{32}} + \frac{\sqrt{2}}{32} k_p \frac{d}{t} \right) \quad (2)$$

와 같이 표현할 수 있고,  $x_{MPP}$ 는 정규화된 비 음향 리액턴스(normalized specific acoustic resistance)로서 미세 천공판에 의한 이너턴스와 공동에 의한 컴플라이언스(compliance)를 포함하며 다음과 같이 표현된다.

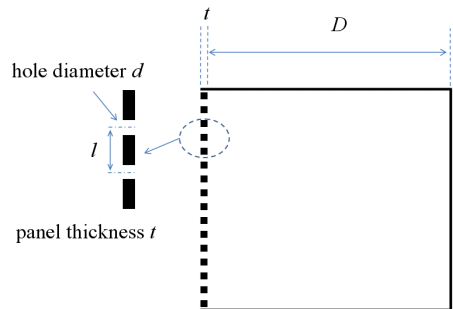


Fig. 1 Microperforated panel absorber(MPPA)

$$x_{MPP} = \frac{\omega}{c_0} \frac{t}{\sigma} \left( 1 + 0.85 \frac{d}{t} + \frac{1}{\sqrt{9 + k_p^2/2}} \right) + \cot \left( \frac{\omega D}{c_0} \right) \quad (3)$$

여기서  $\eta$ 는 공기의 점성 계수(coefficient of viscosity of air),  $c_0$ 는 공기중의 음속(speed of sound in air),  $\rho_0$ 는 공기의 밀도(density of air),  $\sigma$ 는 공극률(aperture ratio)로서 미세 천공판 전체 면적 대비 미세 구멍의 총 면적의 비로 정의된다. 또한  $k_p$ 는 무차원수로 식 (4)와 같이 정의되는데, 식 (2), (3)은  $1 < k_p < 10$ 의 경우 유효하다.

$$k_p = \frac{d}{2} \sqrt{\frac{\rho_0 \omega}{\eta}} \quad (4)$$

$k_p$ 는 물리적으로 미세 구멍의 반경에 대한 미세 구멍내의 점성 경계면 두께의 비를 의미하는데, 다른 조건이 동일하다면 미세 구멍의 직경이 작을 때 관 내 점성 영역이 커지므로 레지스턴스가 증가하여 흡음이 가능한 주파수 대역폭이 증가하는 효과를 얻게 된다(이는 다음 절의 Fig. 4에서도 확인 가능함).

미세 천공판-공동 흡음 기구(MPPA)의 성능을 흡음률로 표현한다면, 흡음률이 가장 높은 주파수, 즉 미세 천공판-공동 흡음 기구의 공진주파수는 식 (3)의 값이 0이 될 때이며, 이때 흡음률의 최대값은 아래 식에 의해 결정된다.

$$\alpha = \frac{4r_{MPP}}{(1+r_{MPP})^2} \quad (5)$$

즉, 원하는 주파수 대역에서 최대 흡음률을 얻을 수 있도록 하기 위해서는 미세 천공판의  $r_{MPP}$ 이 1에 가까워 질 수 있도록 설계하는 것이 필요하다.

## 2.2 설계 방법

소음 제어 목표, 예를 들면 최대 흡음 주파수 및 흡음 주파수 대역 등이 주어졌을 때 미세 천공판-공동 흡음 기구를 이에 맞게 설계하기 위해서 미세 천공판 및 공동의 형상을 규정하는 인자의 변화에 따른 흡음률의 변화를 살펴보았다.

미세 천공판-공동 흡음 기구의 설계 인자로는 미

세 천공판의 두께  $t$ , 균일한 간격인 미세 구멍의 직경  $d$ , 그 간격  $l$  및 공동의 깊이  $D$ 를 들 수 있다. 여기서 미세 구멍 직경 및 간격은 미세 구멍 직경 및 공극률  $\sigma$ 로 다시 표현할 수 있다.

Fig. 2에 미세 천공판의 두께를 1.0 mm, 공동의 깊이를 90 mm로 가정하고 미세 구멍 직경 및 공극률의 변화에 따른 공진주파수(Fig. 2), 흡음률 최대값(Fig. 3), 흡음률 0.5 이상인 주파수 대역(Fig. 4)를 나타내었다. 미세 천공판-공동 흡음 기구의 공진 주파수는 미세 구멍 직경에는 둔감하지만, 공극률 증가시 크게 증가함을 알 수 있고(Fig. 2), 미세 구멍 직경이 큰 경우에는 공극률이 작을수록, 미세 구멍 직경이 작은 경우에는 공극률이 클수록 최대 흡음률이 1에 가까워짐을 알 수 있다(Fig. 3). 한편 흡음률 선도의 주파수 대역폭을 넓게 하기 위해서는 특정한 미세 구멍 직경 및 공극률의 조합이 있음도 알 수 있다(Fig. 4).

만약 흡음률 피크가 350~400 Hz 부근에 존재하고 가능하면 흡음 대역폭이 넓은 미세 천공판-공동 흡음기구를 설계한다면 Fig. 2로부터 공극률(aperture ratio)이 0.5~1% 범위에 있어야 함을 알 수 있고, Fig. 3으로부터 최대 흡음률이 0.95 이상이 되게 하려면 미세 구멍 직경은 0.3 mm 이상이 되어야 함을 알 수 있다. 마지막으로 Fig. 4로부터 0.5 이상의 흡음률을 가지는 주파수 대역이 최대(약 540 Hz 대역폭)가 되도록 고려하면 미세 구멍 직경이 약 0.4 mm 부근이 적절한 것을 알 수 있다. 이와 같은 절차를 거쳐 미세 구멍 직경 0.4 mm, 공극률 0.8%로 미세 천공판을 설계할 수 있다.

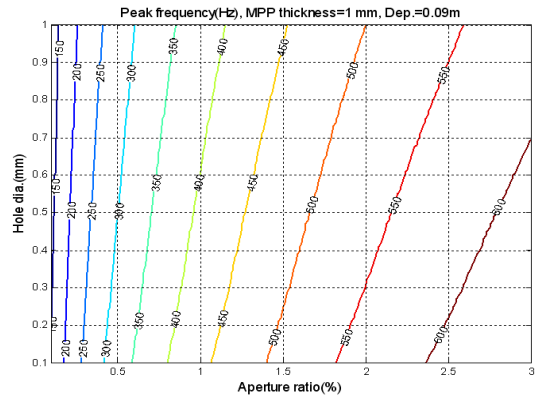


Fig. 2 MPPA resonant frequency( $t=1$  mm,  $D=90$  mm)

### 2.3 공동의 깊이에 따른 영향

미세 천공판-공동 흡음 기구를 설계하는데 Figs. 2~4의 세 개의 선도를 통해 미세 구멍 및 공극률을 결정할 수 있음을 보았다. 실제 문제에 적용하는 경우 목표하는 흡음률 선도를 얻기 위해서 미세 천공판의 설계 인자(미세 구멍 직경, 및 공극률)를 변경하여 다양한 미세 천공판을 제작하기는 쉽지 않다. 이는 미세 천공판 제작의 어려움이 가장 큰 원인이라 할 수 있다. 따라서, 특정한 미세 구멍 직경, 공극률 및 두께로 제작된 미세 천공판을 이용하고, 공동의 깊이를 조절하여 흡음 영역을 조절하는 것이 합리적이다. Fig. 5는 두께 1.0 mm, 미세 구멍 직경 0.4 mm, 공극률 0.8%인 미세 천공판에 깊이 200 mm,

100 mm, 50 mm인 공동을 사용하는 경우의 수직 입사 흡음률의 수치 해석 결과를 보여주고 있다. 그리고, 아래에는 Fig. 5에 대한 정규화된 비 음향 레지스턴스 및 리액턴스를 나타내었다. 여기서 주목할 점은 레지스턴스가 주파수에 따라 증가하지만 그 증가치가 작아서 공명주파수가 변화하더라도 흡음률 최대값의 변화는 작다는 점이다. 즉, 특정 흡음 조건으로 미세 천공판을 설계한 경우라 하더라도 공동의 깊이를 조절하여 피크 흡음률의 값을 유지하면서 피크 주파수를 조절하는 것이 가능하다.

이와 같은 특성은 여러 주파수 대역의 흡음을 위해

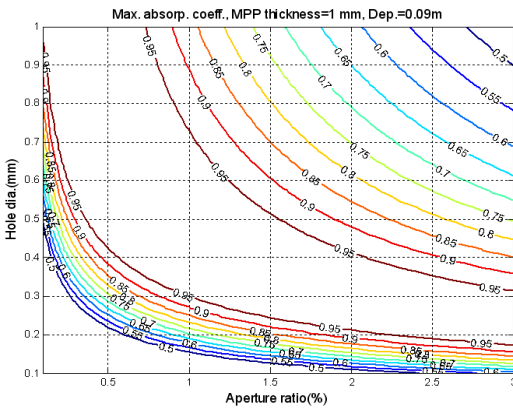


Fig. 3 MPPA Maximum absorption coefficient(for normal incidence)( $t=1$  mm,  $D=90$  mm)

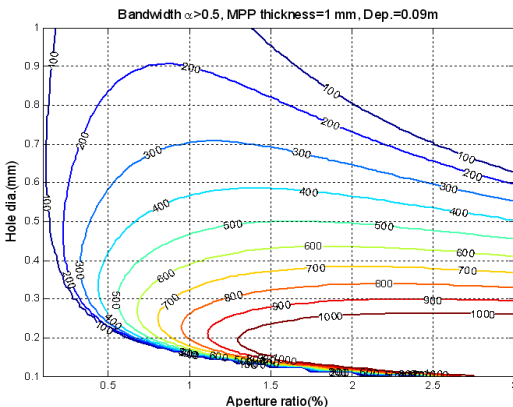


Fig. 4 MPPA frequency bandwidth of absorption coefficient curve whose value is over 0.5(for normal incidence) ( $t=1$  mm,  $D=90$  mm)

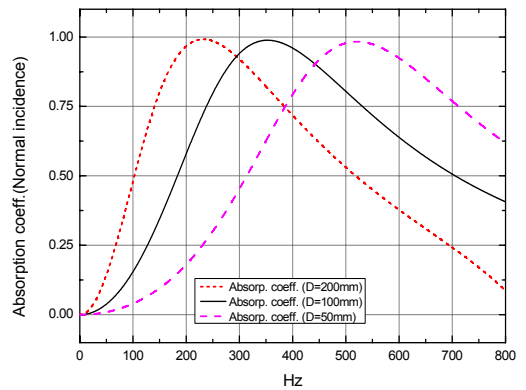


Fig. 5 Normal incidence absorption coefficient of MPPA(MPP :  $t=1.0$  mm,  $d=0.4$  mm, aperture ratio=0.8 %) according to cavity depth ( $D=120, 90, 70$  mm)

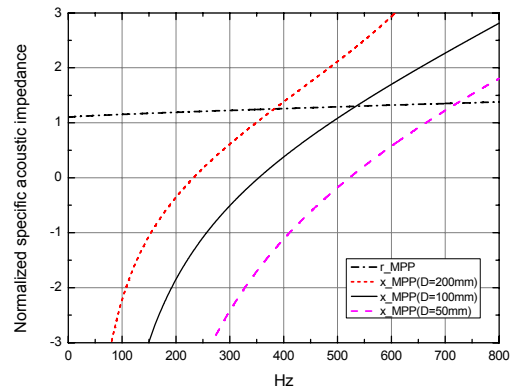


Fig. 6 Normalized specific acoustic impedance of MPPA,  $r_{MPP}$ : resistance,  $x_{MPP}$ : reactance(MPP :  $t=1.0$  mm,  $d=0.4$  mm, aperture ratio=0.8 %) according to cavity depth ( $D=120, 90, 70$  mm)

다른 미세 천공판을 제작하지 않고, 공동의 깊이를 조절하는 방법으로 목표를 달성할 수 있음을 의미한다. 즉, 미세 천공판-공동 흡음 기구의 실제 적용 시 다양한 깊이의 공동을 사용하여 흡음 주파수 대역을 넓힐 수 있게 하며, 미세 구멍 직경 및 간격 등의 가공 오차에 의한 성능 저하에 둔감하다는 장점이 있다.

### 3. 가진 음압에 따른 음향 임피던스 특성

높은 가진 음압에서 미세 천공판-공동 흡음 기구를 적용하기 위해서는 높은 음압에서의 음향 임피던스의 변화를 설계에 반영할 수 있어야 한다. 이 논문에서는 아래와 같이 미세 천공판-공동 흡음 기구에 대한 임피던스 측정 실험으로 가진 음압에 따른 음향 임피던스 변화를 살펴보았다.

실험을 위해 아래와 같이 미세 구멍 면적이 260 mm × 260 mm인 2종의 미세 천공판(알루미늄 합금 박판)을 제작하였다.

이들과 깊이 90 mm의 직육면체 공동을 이용하여 미세 천공판-공동 흡음 기구를 구성하였다. 참고로 Table 1의 두 미세 천공판은 식 (2), (3)을 이용하여 이론적으로 계산한 흡음률 선도가 매우 유사하도록 공극률을 결정하였다. 이론적으로 MPP1의 경우 381 Hz에서 1.0의 흡음률, MPP2의 경우 375 Hz에서 0.99의 흡음률 가지게 된다.

임피던스 측정을 위해 한 변의 길이가 260 mm인 정사각형 단면을 가지는 덕트를 이용하여 임피던스 튜브(impedance tube)를 제작하고, 두 개의 마이크로폰을 이용하여 미세 천공판-공동 흡음 기구의 표면 음향 임피던스를 측정하였다<sup>(6)</sup>. 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. 가진 음압으로는 이론적인 흡음률 피크 주파수(381 Hz

및 375 Hz)가 속해 있는 400 Hz 1/3 옥타브 밴드 SPL(sound pressure level)을 사용하였고, 75 dB부터 122 dB까지 총 10회에 걸쳐 가진 레벨을 변경하여 각각에 대한 정규화된 비음향 임피던스 및 수직 입사 흡음률을 구하였다.

먼저 두께 1.0 mm인 MPP2를 이용한 미세 천공판-공동 흡음기구의 음압에 따른 수직 입사 흡음률, 정규화된 비음향 레지스턴스 및 리액턴스 측정 결과와 Maa(식 (2),(3))에 의한 결과를 Figs. 7~9에 나타내었다.

Fig. 7을 보면 음압이 증가함에 따라 흡음률이 감소함을 알 수 있고, 흡음률의 최대 주파수의 변화는

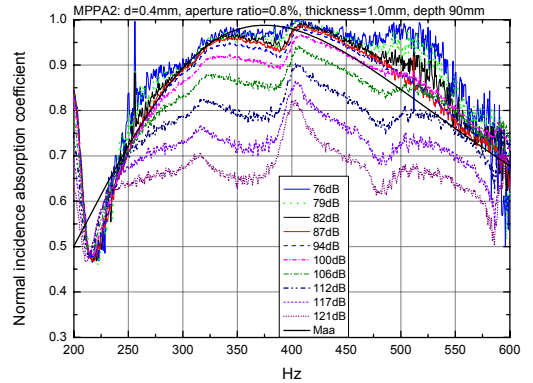


Fig. 7 Measured normal incidence absorption coefficient of MPPA( $t=1$  mm,  $d=0.4$  mm, aperture ratio=0.8 %,  $D=90$  mm) according to excitation level

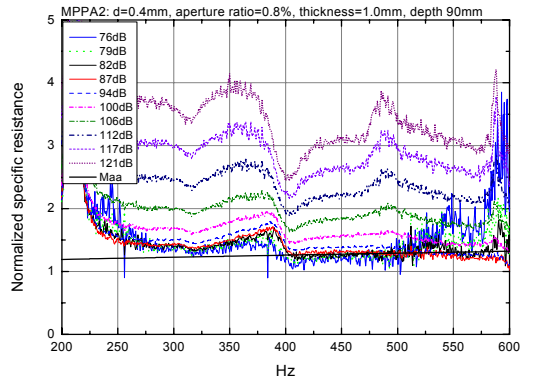


Fig. 8 Measured normalized specific acoustic resistance of MPPA( $t=1$  mm,  $d=0.4$  mm, aperture ratio=0.8 %,  $D=90$  mm) according to excitation level

Table 1 Microperforated panels for experiments

ID	Thickness, $t$ (mm)	Hole diameter, $d$ (mm)	Aperture ratio, $\sigma$ (%)
MPP1	0.5	0.4	0.5
MPP2	1.0	0.4	0.8

무시할 수 있음을 확인할 수 있다. 가진 음압이 증가하는 경우 흡음률이 감소하는 이유는 Fig. 8에 보여진 바와 같이 음향 레지스턴스가 증가하기 때문이다. 가진 음압의 증가에 따라 음향 레지스턴스가 증가하는 원인은 Ingard 등<sup>(7-9)</sup>에 의하여 실험적으로 연구된 바 있는데, 가진 음압이 증가할수록 관내 유속이 증가하여 관내 난류(turbulence)층이 형성되어 점성이 증가하고, 음향 순환(acoustic circulation), 소용돌이(vortex) 및 제트(jet) 발생에 의해 음향 에너지가 소산되어 임피던스의 비선형 항이 크게 증가하기 때문이다. 음향 레지스턴스의 증가시 흡음률의 감소 경향은 Fig. 10에 나타낸 바와 같다. 정규화된 비음향 레지스턴스가 1 이상이 되는 경우 그 값이 증가할수록 흡음률 피크가 감소하는 것을 볼 수 있으며, Fig. 8의 정규화된 비음향 레지스턴스의 증가가 흡음률 선도에 반영됨을 알 수 있다. 한편 Fig. 7의 200 Hz 부근에서 보이는 흡음률의 피크는 유한한 크기의 미세 천공 판넬의 진동에 의한 박판-공동계의 흡음 특성<sup>(10)</sup>이 반영된 것이다.

가진 음압이 증가할 때 레지스턴스가 증가하는 것과는 달리, 리액티브(Fig. 9)는 크게 변화하지 않았다. 이는 Ingard 등<sup>(8,9)</sup>의 실험적 결과에서도 보여지는데, 가진 음압이 증가할수록 관내 유효 길량이 감소하여 음향 리액티브가 감소하지만 그 감소량은 본 논문에서 다루는 음압 범위에서는 크지 않고, 미세 천공판-공동 흡음 기구의 흡음률 대역폭이 넓기 때문에 흡음률 선도에서 주목할 만한 변화를 찾아보

기는 어렵다. 따라서, 가진 음압 증가시 흡음률 최대 주파수, 즉 미세 천공판-공동 흡음 기구의 공진 주파수의 변화는 주어진 형상 및 가진 레벨 내에서는 무시할 수 있음을 알 수 있다.

한편 좀 더 얇은 MPP(MPP1, 두께 0.5 mm)의 경우 수직 입사 흡음률 및 정규화된 비음향 레지스턴스의 측정 결과를 Fig. 11 및 Fig. 12에 나타내었다. 음압이 크지 않은 경우에는 두께 1.0 mm인 MPP2를 사용한 결과와 유사한 흡음률 선도를 보이지만 음압이 증가할수록 레지스턴스가 좀 더 크게 증가하여, 흡음률이 좀 더 감소함을 알 수 있다. 참고로 Ingard<sup>(7)</sup>의 연구에서도 구멍의 두께가 얇아질수록 레지스턴스의 비선형 항의 증가가 두드러짐이 보고된 바 있다.

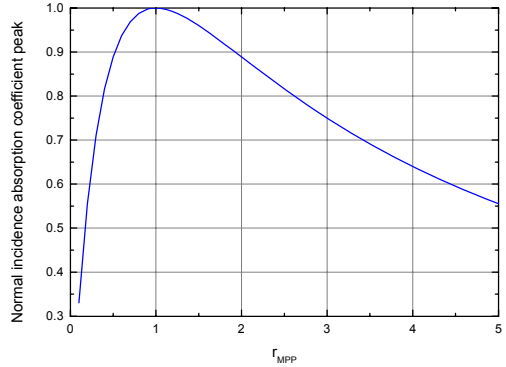


Fig. 10 Peak of absorption coefficient according to the normalized specific acoustic resistance

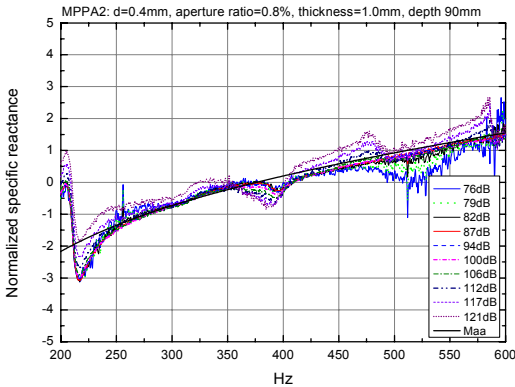


Fig. 9 Measured normalized specific acoustic reactance of MPPA( $t=1$  mm,  $d=0.4$  mm, aperture ratio=0.8 %,  $D=90$  mm) according to excitation level

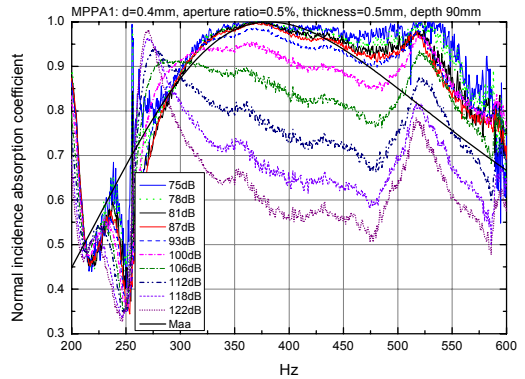


Fig. 11 Measured normal incidence absorption coefficient of MPPA( $t=0.5$  mm,  $d=0.4$  mm, aperture ratio=0.5 %,  $D=90$  mm) according to excitation level

미세 천공판-공동 흡음기구의 음향 레지스턴스의 비선형 특성을 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 평균값을 취하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$r_b(SPL) = r_{L,b} + r_{NL,b}(SPL) \quad (6)$$

앞서 살펴본 두 개의 미세 천공판-공동 흡음기구에 대하여 가진 음압에 따라 변하는  $r_{NL,b}$ 을 구해보면 Fig. 13과 같다. Fig. 7 및 11에서 알 수 있듯이 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. 결과를 보면 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. 이와 같은 비선형 레지스턴스의 특성은 Ingard 등의 연구 결과<sup>(8,9)</sup>에서도 확인할 수 있다.

따라서, 미세 천공판-공동 흡음기구의 설계시 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 가능하다.

#### 4. 결론

미세 천공판-공동 흡음기구의 설계에 있어 미세 구멍 직경, 공극률 및 공동의 깊이에 따른 흡음률 선도의 변화를 살펴보고, 설계 선도를 이용하여 요구되는 흡음률 선도를 얻기 위한 설계 인자를 결정하는 방법을 제시하였다. 또한 높은 입사 음압하에서 미세 천공판-공동 흡음기구의 흡음 특성의 변화를 실험적으로 파악하였다. 입사 음압이 증가할수록 레지스턴스가 점진적으로 증가하여 흡음률이 감소하지만, 상대적으로 리액턴스의 변화량은 크지 않아서 흡음률 피크 주파수의 변화는 무시할 수 있음을 알 수 있었다. 실험 결과에 따르면 입사 음압이 증가할 때 흡음률 피크는 다소 감소하지만 흡음 대역이 유지되므로 높은 입사 음압 조건 및 청정도의 유지가 필요한 우주 발사체 내부의 소음 제어(특히 중주파수 대역)에 적용 가능성이 높다고 판단된다.

#### 참고 문헌

(1) Park, S.-H., Seo, S.-H., Jeong, H.-K., Jang, Y.-S., Yi, Y.-M. and Cho, G.-R., 2006, "Lift-off Vibro-acoustic Analysis of the Upper Stage of Small

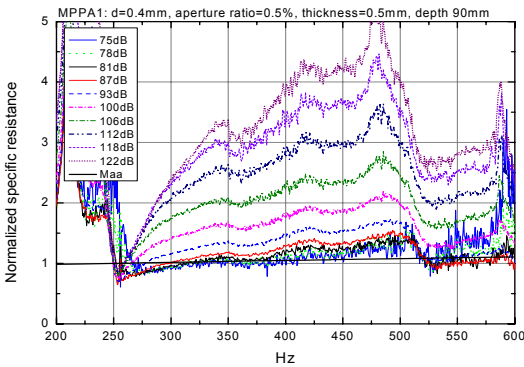


Fig. 12 Measured normalized specific acoustic resistance of MPPA( $t=0.5$  mm,  $d=0.4$  mm, aperture ratio=0.5 %,  $D=90$  mm) according to excitation level

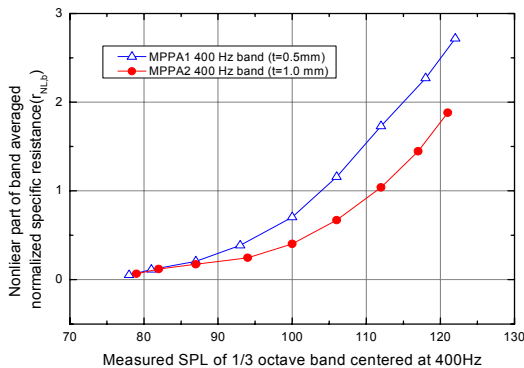


Fig. 13 Nonlinear part of band averaged normalized specific resistance according to excitation pressure level

Launch Vehicle,” ICSV 13, Vienna, Austria.

(2) Troclet, B., Chemoul, B., Roux P., Gely D. and Elias, G., 1999, “Synthesis of Vibroacoustic Studies Performed during Ariane 5 Program,” 1er Colloque European sur la Technologie des Lanceurs “Vibration des Lanceurs” Toulouse, France.

(3) Park, S.-H., Seo, S.-H. and 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.

(4) Maa, D.-Y., 1998, “Potential of Microperforated Panel Absorber,” J. Acoust. Soc. Am., Vol. 104, No. 5, pp. 2861~2866.

(5) Crandall, I. B., 1926, “Theory of Vibrating Systems and Sound,” D. Van Nostrand Company, NewYork, pp. 229~241.

(6) Seybert, A. F. and Ross, D. F., 1977, “Experimental Determination of Acoustic Properties

Using a Two-microphone Random-excitation Technique,” J. Acoust. Soc. Am, Vol. 61, No. 5, pp. 1362~1370.

(7) Ingard, U., 1953, “On the Theory and Design of Acoustic Resoantors,” J. Acoust. Soc. Am, Vol. 25, No. 6, pp. 1037~1062.

(8) Ingard, U. and Labate, S., 1950, “Acoustic Circulation Effects and the Nonlinear Impedance of Orifices,” J. Acoust. Soc. Am, Vol. 22, No. 2, pp. 211~218.

(9) Ingard, U. and Ising, H., 1967, “Acoustic Nonlinearity of an Orifice,” J. Acoust. Soc. Am, Vol. 42, No. 1, pp. 6~17.

(10) Lee, Y. Y., Lee, E. W. M, and Ng, C. F. 2005, “Sound Absorption of a Finite Flexible Micro-perforated Panel Backed by an Air Cavity,” Journal of Sound and Vibration, Vol. 287, No. 1/2, pp. 227~243.