

가진 음압 및 설계 인자에 따른 미세 천공판 흡음 기구의 흡음 특성 Absorption Characteristics of Micro-perforated Panel Absorber According to Incident Pressure Magnitude and Its Geometric Parameters

박순홍†·서상현*

Soon-Hong Park, Sang-Hyun Seo

Key Words : Acoustic impedance (음향 임피던스), Micro-perforated panel (미세 천공판), High incident sound pressure (높은 입사 음압), Acoustic absorber (흡음 기구), Launch vehicle (발사체)

ABSTRACT

The micro-perforated panel absorber (MPPA) is one of promising noise control elements because of its applicability to extreme environments where general porous materials cannot be used. Since the MPPA is inherently non-porous sound absorber, it can be a good candidate of acoustic protection system of a space launcher. The overall sound pressure level inside payload fairings of commercial launch vehicles is so high (around 140 dB OASPL) that the conventional linear impedance model cannot be directly applied to the design of the acoustic protection systems. In this paper an acoustic impedance models of a micro-perforated panel absorber at high sound pressure environment were reviewed and the use of the impedance on the practical design of MPPAs was addressed. The variation of absorption characteristics of MPPA was discussed according to the design parameters, e.g., perforation ratio, the minute hole diameter, the thickness of MPP and the incident sound pressure level.

1. 서 론

우주 발사체 설계에 있어 추진 기관 및 음향 하중은 탑재된 위성체 및 전자 탑재체의 손상 및 오작동을 야기할 수 있어⁽¹⁾ 상용 발사체는 이를 저감하기 위한 다양한 흡음 기구를 탑재하고 있다.⁽²⁾ 위성 발사체에 적용되는 흡음 기구는 매우 높은 입사 음압하에 놓이게 되며^(1,3) 설계시 입사 음압이 매우 중요한 인자가 된다. 페어링 내부 공간의 음향 모드 제어에 위해서는 헬름홀쯔 공명기 형태의 배열이 사

용되며, 모드 밀도가 높은 200~300 Hz 이상의 주파수 대역에서는 음향 블랑켓(acoustic blanket) 등이 사용되고 있으나 제작성, 취급성 및 중량 등에 단점이 있다.⁽⁴⁾

음향 블랑켓을 대체할 수 있는 제어 요소 중의 하나로 검토되고 있는 미세 천공판-공동 흡음 기구(micro-perforated panel absorber)는 얇은 판넬에 지름 1 mm 미만의 미세 구멍을 천공판 형태로 가공하고 그 후면에 공동을 형성하여 공명형 흡음기의 역할을 수행하도록 할 수 있어, 음향 블랑켓이 가진 여러 단점을 동시에 해소할 수 있을 것으로 기대된다. 사실 우주 발사체의 음향 하중 저감에 있어 미세 천공판-공동 흡음기구의 적용의 성패는 높은 음압에서의 흡음 성능에 달려 있다고 하여도 과언이 아니다.

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

* 한국항공우주연구원 발사체연구본부

최근 미세 천공판-공동 흡음 기구의 우주 발사체에 대한 적용성이 검토된 바 있고,⁽³⁾ 음압이 증가할수록 음향 레지스턴스(resistance)가 급격히 증가함을 확인하였다. 이는 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 음향 임피던스(impedance)의 비선형 항이 크게 증가하기 때문이다.⁽⁵⁾ 즉, Maa⁽⁶⁾에 의해 제안된 선형 음향 임피던스 식은 음압이 증가할 때는 잘 적용되지 않기 때문에 높은 음압에서 좋은 흡음 성능을 갖는 미세 천공판-공동 흡음 기구를 설계하기 위해서는 음향 임피던스에 가진 음압이 반영되어야만 한다.

이러한 시도는 몇몇 연구자들^(7,8,9)에 의해 이루어진 바 있다. 먼저 Maa⁽⁷⁾는 미세 천공판의 비선형 임피던스(nonlinear impedance)를 미세 구멍 내 속도의 마하수(Mach number) 및 공극률(perforation ratio)의 함수로 표현한 바 있으며, Tayong 등⁽⁸⁾은 미세 천공판의 기하학적 설계 인자를 포함한 비선형 임피던스를 제시하였다. 두 임피던스 모델의 단점은 모든 설계 인자를 고려하지 못하고 있으며, 직접 측정이 어려운 미세 구멍 내의 속도를 비선형 임피던스에 포함하고 있어 설계에 직접적으로 적용하는데 어려움이 있다는 점에 있다. 한편 Park 등⁽⁹⁾에 의해 최근 가진 음압 및 모든 기하학적 설계 인자(공극률, 미세 구멍 직경, 천공판 두께)를 포함하는 비선형 음향 임피던스의 실험적 모델이 제안되었다. 음향 레지스턴스의 모델링을 위해 다수의 미세 천공판을 제작하여 음향 임피던스를 측정하고 이 데이터들을 토대로 가진 음압 및 기하학적 인자의 변화가 음향 임피던스, 특히 음향 레지스턴스에 미치는 영향을 파악하였다. 이를 이용하여 주어진 가진 레벨에 대해 최대 흡음률을 얻을 수 있는 미세 천공판의 기하학적 인자를 결정할 수 있었으며 검증 실험을 통해 기존의 모델보다 더 정확한 음향 레지스턴스의 예측이 가능함을 알 수 있었다.

본 논문에서는 현재까지 제안되었던 비선형 임피던스 모델을 살펴보고, 이를 이용하여 높은 음압에서 최적의 흡음률을 가지는 미세 천공판-공동 흡음 기구의 설계 방법 및 공극률 및 구멍 직경에 따른 흡음 특성의 변화를 논하였다. 높은 음압 환경에서

최대 흡음률 및 흡음 대역폭을 가지는 공극률 및 미세 구멍 직경의 조합은 낮은 음압에서의 결과⁽³⁾와는 크게 달라짐을 보였다.

2. 높은 음압에서의 미세 천공판의 음향 임피던스 모델

2.1 낮은 입사 음압에서의 음향 임피던스 ⁽⁶⁾

두께가 t , 균일한 간격인 미세 구멍의 직경이 d , 그 간격이 l 인 미세 천공판에 후면에 깊이 D 인 공동을 형성하여 구성한 미세 천공판-공동 흡음 기구 표면에서의 정규화된 비 음향 임피던스(normalized specific acoustic impedance)는 음압이 낮은 경우(약 100 dB 이하)⁽⁶⁾ 다음 식과 같다.

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

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

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

와 같이 표현할 수 있고, x_{lin} 는 정규화된 비 음향 리액턴스(normalized specific acoustic reactance)로서 미세 천공판에 의한 이너턴스(inertance)와 공동에 의한 컴플라이언스(compliance)를 포함하며 다음과 같이 표현된다.

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

여기서 η 는 공기의 점성 계수(coefficient of viscosity of air), c_0 는 공기중의 음속(speed of sound in air), ρ_0 는 공기의 밀도(density of air)을 나타내며, σ 는 공극률(perforation ratio)로서 미세 천공판 전체 면적 대비 미세 구멍의 총 면적의 비($\pi d^2/4l^2$)로 정의된다. 또한 k_p 는 무차원수로 식(4)와 같이 정의되며, 미세 구멍의 반경에 대한 미세 구멍내의 점성 경계면 두께의 비를 의미한다. 참고로 식(2),(3)은 $1 < k_p < 10$ 의 경우 유효하다.⁽¹⁰⁾

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

22 가진 음압을 고려한 음향 임피던스

한편 가진 음압이 증가하는 경우에는 음향 레지스턴스가 크게 증가함⁽⁵⁾이 잘 알려져 있는데, 음향 레지스턴스의 증가에 의해 흡음률의 최대값이 변화하게 된다. Ingard 등⁽¹¹⁾은 음향 레지스턴스가 천공 내의 입자 속도에 비례하여 증가함을 밝힌 바 있다. 한편 가진 음압의 증가는 미세 천공 내의 유속을 증가시켜 음향 이너턴스(inertia)를 감소시키므로 흡음률이 최대가 되는 주파수는 증가하는 경향을 보이게 된다.

Maa⁽⁷⁾는 높은 음압에서의 음향 레지스턴스를 식(5)와 같이 표현하였다.

$$r_{nl, Maa} = r_{lim} + u_0 / c_0 \sigma \quad (5)$$

여기서 u_0 는 천공 내의 유속을 나타낸다. 사실 식(5)에서 가진 음압 증가에 따른 레지스턴스의 증가분은 Ingard 등⁽¹¹⁾이 1개의 구멍이 있는 천공관을 이용하여 실험하여 제안한 결과와 동일하며, 주기적으로 천공된 미세 구멍의 직경 및 공극률과 같은 설계 인자는 고려하지 못하였다. 한편 Tayong 등⁽⁸⁾이 제안한 비선형 임피던스는 미세 구멍 내 유속 뿐만 아니라 공극률 및 미세 구멍 직경을 고려할 수 있다는 장점이 있으나, 또 하나의 중요한 설계 인자인 미세 천공관의 두께는 고려되지 못한다는 단점이 있으며, 미세 천공관의 재질 및 구멍의 가공 방법에 크게 의존하는 상수들이 포함되어 있어 재질 및 가공 방법이 달라지는 경우에는 현장에서의 적용이 불가능하다. 또한 두 임피던스 모델 모두 직접 측정이 어려운 미세 구멍 내의 속도를 비선형 임피던스에 포함하고 있어 설계에 직접적으로 적용하는데 어려움이 있다.

따라서, 현장에서의 적용, 구체적으로는 우주 발사체에 대한 적용을 염두에 둔다면, 설계를 위한 음향 임피던스 모델은 실제 사용될 소재 및 가공 방법을 고려하여 제작한 다수의 시편에 대한 실험에 근거한 모델링이 최선의 방법이라 할 수 있다. 최근 저자들에 의해 제안된 미세 천공관-공동 흡음 기구의 비선형 임피던스 모델⁽⁹⁾은 가진 음압 및 모든 기

하학적 인자를 설계 변수로 포함하고 있으며, 구체적으로 설명하며 다음과 같다.

비선형 음향 임피던스 모델링을 위해 다양한 기하학적 변수를 가지는 총 27개의 미세 천공관을 제작하였다. 구체적으로는 두께가 1.0 mm 인 미세 천공관을 18개, 두께가 2.0 mm 인 미세 천공관을 9개 제작하였으며, 미세 구멍의 직경은 0.4 mm에서 1.0 mm 까지, 공극률은 0.2 %에서 5 %까지의 변화를 가지도록 하였다. 각각의 미세 천공관 시편에 70~100 mm 깊이의 공동을 후면에 배치하고, 임피던스 튜브 및 2개의 마이크로폰을 이용하여 음향 임피던스를 측정하였다. 본 실험 전 보정을 위한 실험 단계에서 마이크로폰이 표면에 삽입된 10 mm 두께의 철판(steel plate)를 튜브 끝단에 부착하고 고음압용 혼 드라이버에 연결된 파워 앰프의 노브를 조절하면서 전압과 이에 해당하는 가진 음압을 측정하였다. 관심 주파수 영역인 250 Hz 이상에서 약 800 Hz까지의 1/3 옥타브 밴드 스펙트럼은 2 dB 이내의 범위에서 주파수 대역별로 균등하게 가진하고 있음을 알 수 있었고, 최대 가진 레벨은 137 dB로서 충분히 우주 발사체 페어링 내부의 음향 하중을 모사할 수 있음을 확인하였다. 최종적으로 9 단계의 가진 레벨을 설정하고, 이에 대하여 모든 시편에 대한 음향 임피던스를 측정하였다.

측정 결과를 이용하여 모델링할 가진 음압에 따른 비선형 음향 임피던스 중 실수항에 해당하는 레지스턴스는 식(6)과 같이 일반적으로 강체 다공 물질(rigid porous material)에 적용되는 모델⁽¹²⁾을 사용하였다.

$$r_{nl} = r_{lim}(B + C_0(\sigma, d, t)u_0) \quad (6)$$

여기서 B 는 낮은 음압에서 측정된 음향 레지스턴스와 이론치(식(2))의 차이를 고려하기 위한 상수이며, 미세 구멍 가공면의 특성에 따라 달라지는 값이다. 한편 $C_0(\sigma, d, t)$ 는 미세 천공관의 기하학적 설계 인자를 고려하기 위한 함수로서 실험적 방법으로 규명할 수 있다. Ingard 등⁽¹¹⁾은 유속 측정 실험에서 특정 음압 이하에서는 관 내의 유속이 압력에 선형적으로 비례함($p \sim u_0$)을 보였다. 이에 해당하는 음압은 정현파 기준으로 140 dB 이하이며, 유속으로는 약 10 m/s 에 해당한다. 우주 발사체의 경우 가진 음압이 이 영역에 해당하므로 음압 레벨을 SPL(dB)

이라 할 때, 임피던스 모델에서 u_0 는 일반성을 해치지 않고 $10^{0.05SPL}$ 의 형태로 표현할 수 있다. 한편 레지스턴스는 두께 및 공극률이 클수록 증가량이 작고, 직경이 작을수록 증가량이 커짐을 실험 결과들로부터 확인할 수 있었고, 이를 반영한 음향 레지스턴스는 식(7)과 같이 표현될 수 있다.⁽⁹⁾

$$\left(\frac{r_{nl}-r_0}{r_{lin}}\right)\sigma\frac{t}{d}=C_210^{0.05(SPL-SPL_0)} \quad (7)$$

여기서 $r_0 = Br_{lin}$ 을 나타내고, SPL_0 는 1/3 옥타브 밴드의 가진 음압을 SPL_0 는 상수로서 94 dB의 값을 가진다. Fig.1에 다양한 설계 인자 및 가진 음압의 변화에 대한 식(7)의 값을 도시하였다.

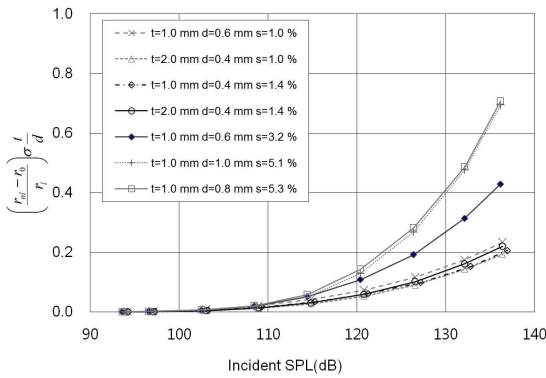


Fig. 1 The dependence of C_2 on the perforation ratio. The ordinate represents the value of Eq.(7) From this figure the constants C and n can be obtained by a curve fitting. (t : the thickness of MPP, d : the diameter of hole, s : the perforation ratio)

Fig. 1로부터 알 수 있듯이 C_2 는 공극률의 함수임을 알 수 있고, 이를 $C_2 = C\sigma^n$ 로 표현하면, 음향 레지스턴스는 다음과 같이 표현될 수 있다.⁽⁹⁾

$$r_{nl} = r_{lin} \left(B + C\sigma^{-0.62} \frac{d}{t} 10^{0.05(SPL-SPL_0)} \right) \quad (8)$$

여기서, 상수 n 및 C 는 곡선 맞춤으로부터 $n=0.38$, $C=1.45e-2$ 으로 구할 수 있다. 이 식을 이용하면 가진 음압이 주어졌을 때 최대 흡음률을 가지도록 하는 기하학적 설계 인자를 결정할 수 있다. 예를 들면 최대 흡음률은 음향 리액턴스가 0일 때이므로

$\alpha = 4r_{nl}/(1+r_{nl})^2$ 로 결정되고, $r_{nl}=1.0$ 일 때 최대가 된다. 따라서, 1/3 옥타브 밴드의 가진 음압 (SPL)이 주어지고, 미세 구멍 직경 및 미세 천공판 두께가 주어진다면 최대 흡음률을 얻기 위한 공극률은 식(8)을 이용하면 결정할 수 있다. 여기서 주목하여야 하는 사실은 상수 B 및 C 값은 시편의 차이 및 측정 오차 등에 의해 그 값에 분산을 가지며, 실험 결과에서는 시편별로 B 는 1.4~1.9, C 는 $1.43e-2 \sim 1.47e-2$ 범위에 있었다. 만약 상수 B 및 C 값의 변화에 따라 추정되는 기하학적 인자가 매우 크게 변화한다면 설계 지표로서의 가치를 잃을 것이다. 이를 검증하기 위해 상수 B 및 C 값을 변화시키면서 공극률을 예측해 보았다. Fig. 2는 두께 1.0 mm, 미세 구멍 직경 1.0 mm 인 MPP가 최대 흡음률을 가지도록 하는 공극률 예측 결과를 보여주고 있다. 결과를 보면 $B=1.69$, $C=1.45e-2$ 일 때 예측되는 4.5%의 공극률 값이 B 및 C 값을 약 25% 변화시켜도 공극률 예측치는 10% 내의 변화에 그침을 알 수 있다. 즉, 상수 B 및 C 값의 변화에 따라 추정되는 기하학적 인자의 변화가 민감하지 않음을 알 수 있고, 최대 흡음을 위한 설계 지침으로 사용될 수 있음을 알 수 있다.

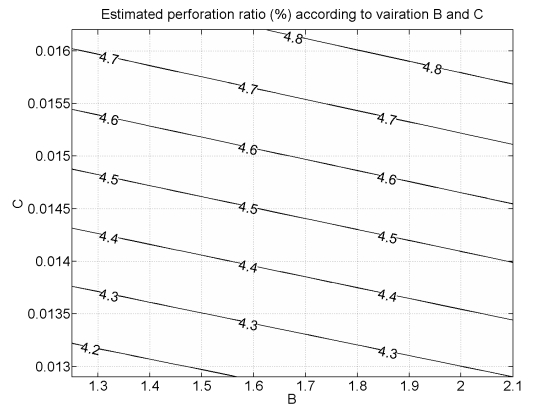


Fig. 2 Perforation ratio estimation for the variation of constants B and C . The perforation ratio is estimated at 137dB SPL (thickness=1.0 mm, hole diameter=1.0 mm)

한편, 음향 리액턴스(reactance)는 Maa(7)에 의한 제안된 식(9)가 실험 결과에 잘 부합되는 것을 확인하였고, 이를 그대로 준용하였다.

$$x_{nl} = \frac{\omega}{c_0} \frac{t}{\sigma} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{9 + k_p^2/2}} + 0.85 \frac{d}{t} \left(1 + \frac{u_0}{\sigma c_0} \right)^{-1} \right) - \cot \left(\frac{\omega D}{c_0} \right) \quad (9)$$

Fig. 3은 제안된 비선형 임피던스 모델의 성능을 보여주는데, 식 (8) 및 (9)를 이용하여 예측한 흡음률과 측정 결과를 비교하고 있다. 흡음률 측정을 위한 미세-천공판 공동 시편은 두께 1.0 mm, 구멍 직경 1.0 mm, 공극률 5.14%의 CFRP 미세 천공판과 100 mm 깊이를 가지는 공동으로 구성하였다. 가진 음압은 1/3 옥타브 밴드 기준으로 137 dB이며, 식 (8) 및 (9)에 의한 예측 결과와 측정 결과를 비교하였다. 참고로 Maa의 선형 및 비선형 모델에 의한 결과도 동시에 비교하였다. 예측 결과를 보면 제안된 임피던스 모델이 측정 결과를 잘 모사하는 것을 볼 수 있다.

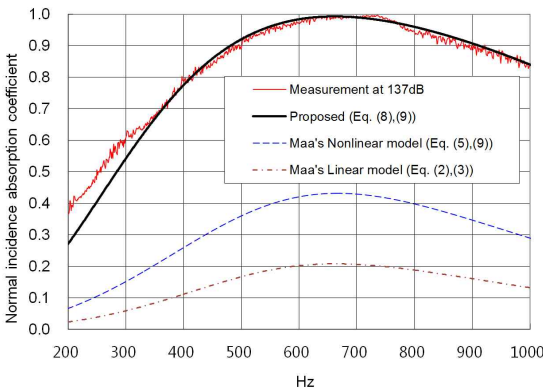


Fig.3 Normal incidence absorption coefficient comparison of measured and estimated results. The results are estimated at 137 dB. (MPPA thickness=1.0 mm, hole diameter=1.0 mm, perforation ratio=5.14 %, depth of cavity=100 mm)

3. 가진 음압에 따른 최적 설계 인자의 변화

최대 흡음 주파수 및 흡음 주파수 대역 등의 제어 목표가 주어졌을 때 이를 설계하기 위한 미세 천공판의 설계 인자는 이미 참고 문헌 (3)에서 다룬 바 있으나, 음압이 낮은 경우에 유효하다. 가진 음

압이 커서 더 이상 선형 임피던스 관계식을 사용할 수 없는 경우에는 식(8) 및 (9)를 이용하여 설계 인자의 변화에 따른 흡음률 특성 변화를 파악할 필요가 있다. 미세 천공판의 두께의 영향은 식(8) 및 (9)로부터 유추해 볼 수 있는데, 두께가 두꺼워 질수록 가진 음압이 증가할 때 음향 레지스턴스의 증가량이 작아져 음압에 따른 흡음률의 변화도 감소할 것임을 예측해 볼 수 있다. 이는 물리적으로 미세관의 길이가 긴 경우 낮은 음압에서의 레지스턴스는 길이가 짧은 경우보다는 크지만 (관 내부 면적에 의해), 음압이 증가할수록 오리피스 끝단에서 일어나는 비선형 현상에 의한 증가치의 상대적인 값은 오리피스 길이가 짧은 경우 더 커서, 음향 레지스턴스의 증가에 더 크게 기여하는 것으로 생각할 수 있다. 그리고, 공동의 깊이는 참고 문헌 (3)에서 이미 언급한 바와 같이 흡음률이 최대가 되는 주파수와 관련이 있으며, 깊이가 깊어질수록 흡음률이 최대가 되는 주파수가 낮아진다.

한편 가진 음압에 따라 최대 흡음률 및 최대 대역폭을 나타내는 미세 구멍의 직경과 공극률의 변화를 살펴보기 위해 식(8) 및 (9)의 비선형 음향 임피던스를 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 실제 우주 발사체 내부에 대한 적용을 고려하여 미세 천공판의 두께는 1.0 mm, 공동의 깊이는 100 mm로 고정하였다. 가진 음압에 따른 차이를 파악하기 위하여 1/3 옥타브 밴드 가진 음압 115 dB, 135 dB 의 두 경우에 대하여 미세 구멍의 직경 및 공극률의 변화에 따른 최대 흡음률 및 그 대역폭, 최대 흡음률을 갖는 주파수를 살펴보았다.

먼저 Fig. 4 및 Fig. 5는 미세 천공판-공동 흡음 기구의 입사 음압이 각각 115 dB 및 135 dB 일때 최대 흡음률이 관측되는 주파수를 보여주고 있다. 미세 구멍의 직경 및 공극률이 같을 때 입사 음압을 증가시키면 좀 더 높은 주파수에서 최대 흡음률을 얻게 됨을 보여준다. 이 결과는 미세 천공판-공동 흡음 기구의 음향 리액턴스의 영향을 보여주고 있으며, 물리적으로는 가진 음압이 커질수록 관내의 음향 이너턴스가 작아지기 때문에 발생하는 현상이라 할 수 있다.

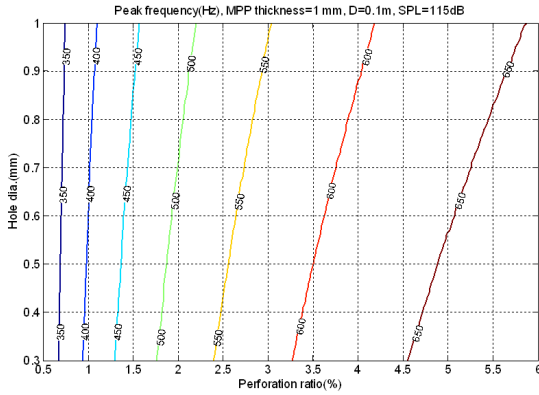


Fig. 4 Variation of MPPA resonant frequency according to hole diameters and perforation ratio at 115 dB ($t=1.0\text{mm}$ CFRP, $D=100\text{mm}$)

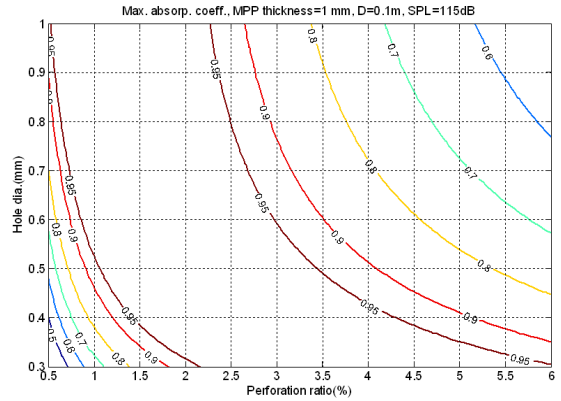


Fig. 6 MPPA Maximum absorption coefficient (for normal incidence) according to hole diameters and perforation ratio at 115 dB ($t=1.0\text{mm}$ CFRP, $D=100\text{mm}$)

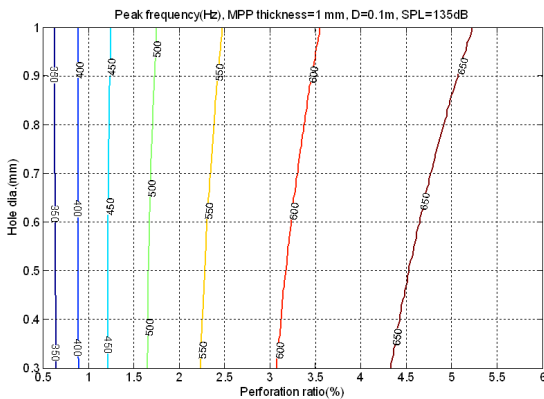


Fig. 5 Variation of MPPA resonant frequency according to hole diameters and perforation ratio at 135 dB ($t=1.0\text{mm}$ CFRP, $D=100\text{mm}$)

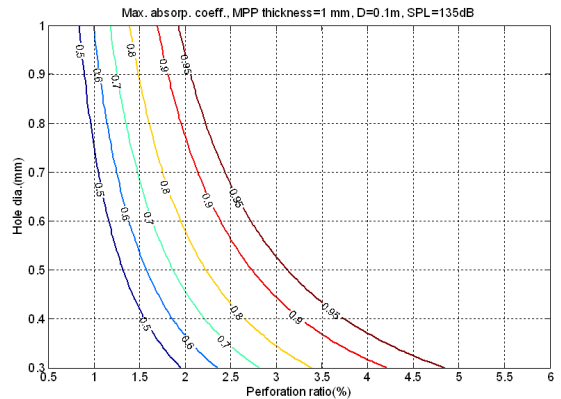


Fig. 7 MPPA Maximum absorption coefficient (for normal incidence) according to hole diameters and perforation ratio at 135 dB ($t=1.0\text{mm}$ CFRP, $D=100\text{mm}$)

Fig. 6 및 Fig. 7은 입사 음압이 각각 115 dB 및 135 dB 일때 구멍 직경 및 공극률 변화에 따라 기대할 수 있는 최대 흡음률 값을 보여 준다. 주목할 만한 점은 가진 음압이 낮은 경우 0.95 이상의 흡음률을 얻을 수 있는 공극률보다 가진 음압이 높은 경우 0.95 이상의 흡음률을 얻을 수 있는 공극률의 값이 더 크다는 점이다. 이는 선형 음향 임피던스를 사용하여서는 얻을 수 없는 결과이다.

물리적으로는 미세 구멍 직경이 커질수록 가진 음압의 증가에 의한 음향 레지스턴스의 증가가 작기 때문에 특성 임피던스와의 매칭이 수월하기 때문이라 볼 수 있다.

그러나, 또 하나의 중요한 설계 요소인 흡음 대역폭(흡음률이 0.5 이상인 주파수 대역)을 살펴보면 Fig. 8 및 9에서 알 수 있듯이 미세 구멍 직경이 작을수록 넓은 흡음 대역폭을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

다만 Fig. 9에서 볼 수 있듯이 가진 음압이 크게 증가하는 경우에는 그 민감도가 감소하여 넓은 기하학적 인자 범위에서 좋은 흡음 대역폭을 얻을 수 있고, 이는 높은 음압 환경하에서 미세 천공판-공동 흡음기구를 적용할 경우 흡음 기구 설계에 있어서 큰 장점이 될 수 있다.

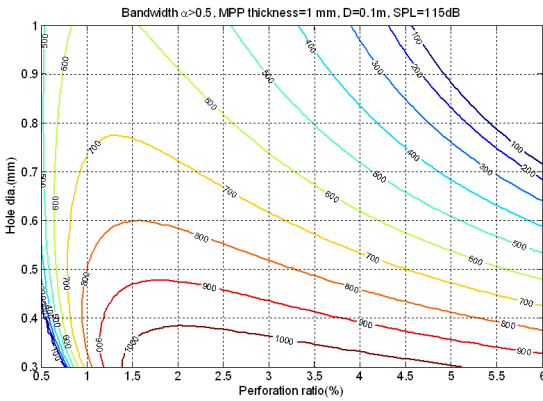


Fig.8 MPPA frequency bandwidth of absorption coefficient curve whose value is over 0.5 (for normal incidence) according to hole diameters and perforation ratio at 115 dB ($t=1.0\text{mm}$ CFRP, $D=100\text{mm}$)

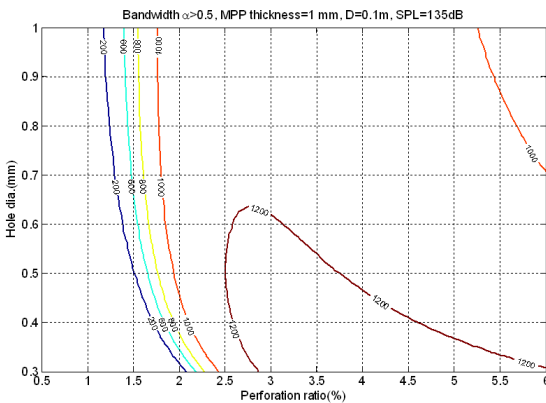


Fig.9 MPPA frequency bandwidth of absorption coefficient curve whose value is over 0.5 (for normal incidence) according to hole diameters and perforation ratio at 135 dB ($t=1.0\text{mm}$ CFRP, $D=100\text{mm}$)

4. 결 론

높은 음압 환경 하에서의 미세 천공판-공동 흡음 기구의 설계시 미세 구멍 직경 및 공극률 변화에 따른 흡음 특성을 파악하기 위한 실험적 비선형 임피던스 모델을 살펴보았다. 기존의 비선형 임피던스 모델에 비하여 본 논문에서 사용된 비선형 임피던스 모델은 실제 현장에서의 적용을 위해 음압 레벨을 주 변수로 하고, 미세 천공판-공동 흡음 기구의 설

계에 필요한 모든 기하학적 변수를 고려하였다. 입사 음압이 높아지면 최적의 흡음률 특성을 줄 수 있는 기하학적 인자는 음압이 낮은 경우에 비해 공극률은 높게, 미세 구멍 직경은 미세 천공판의 한계인 1.0 mm 근방까지 커지는 것이 유리함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- (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 Launch Vehicle," ICSV 13, Vienna, Austria.
- (2) Troclet, B., Chemoul, B., Roux P., Gely D., 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., Jang, Y.-S., 2010, "Design of a Micro-perforated Panel Absorber at High Incident Sound Pressure," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 10, pp 983-990.
- (4) 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.
- (5) Ingard, U. and Labate S. 1950, "Acoustic Circulation Effects and the Nonlinear Impedance of Orifices," J. Acoust. Soc. Am, Vol. 22, pp. 211-218.
- (6) Maa, D.-Y., 1998, "Potential of Microperforated Panel Absorber," J. Acoust. Soc. Am., Vol.104, No.5, pp. 2861~2866.
- (7) Maa, D.-Y., 1994, "Microperforated panel at high sound intensity," Proceedings of Inter noise 94, Yokohama, Japan.
- (8) Tayong, R., Dupont, T., Leclaire, P., 2010, "On the Variation of Acoustic Absorption Peak with Particle Velocity in Micro-perforated Panels at High Level of Excitation," J. Acoust. Soc. Am., Vol.127, pp. 2875~2882.

(9) Park, S.-H., Seo, S.-H., 2011, "An Experimental Investigation on the Acoustic Impedance of a Micro-perforated Panel Absorber at High Sound Pressure Environment," Submitted to J. Acoust. Soc. Am.

(10) Crandall, I. B., 1926, "Theory of Vibrating Systems and Sound," D. Van Nostrand Company, New York. pp. 229-241.

(11) Ingard, U. and Ising H. 1967, "Acoustic Nonlinearity of an Orifice," J. Acoust. Soc. Am, Vol. 42, pp. 6-17.

(12) Auregan, Y. and Pachebat, M., 1999, "Measurement of the Nonlinear Behavior of Acoustical Rigid Porous Materials," Phys. Fluids, Vol. 11, pp. 1342-1345.