

# Triple leaf Micro-Perforated Panel absorber를 이용한 광대역 흡음재 성능개선에 관한 연구

## A Study on Improving wide band absorption performance using Triple leaf Microperforated panel absorbers

임상철† · 백광현\*

Sangcheol Lim, Kwanghyun Baek

### 1. 서 론

미세 천공판은 천공의 직경이 1mm 이하인 천공 판으로써 천공판의 흡음역대를 저주파수로 낮추기 위하여 연구되기 시작했다<sup>(1)</sup>. 하지만 천공판 시스템은 협소역대 흡음을 하기 때문에, 흡음역대를 넓히기 위해서 이중 미세 천공판(DLMPP)시스템에 대해서도 많은 연구가 진행되었다<sup>(2-4)</sup>. 본 논문에서는 Zwicker 와 Kosten<sup>(5)</sup>의 실험식을 바탕으로 한 Maa<sup>(1)</sup>의 음향임피던스를 기반으로 한 흡음계수 계산식을 이용하여, 삼중 미세 천공판(TLMPP)이 동일한 부피에서 최적의 성능을 나타내는 조합을 찾아내는 것을 연구하였다.

### 2. 관련이론

삼중 미세 천공판 시스템은 Figure. 1과 같이 세 장의 미세 천공판이 평행으로 설치되며  $D_i$ 만큼의 간격을 두고 있으며, 입사음은 미세 천공판에 평면파가 수직으로 입사된다고 가정하였다. 각각의 미세 천공판의 매개변수는 구멍의 직경( $d$ ), 천공률( $\sigma$ ), 판의 두께( $t$ ), 판의 단위면적당 질량( $m$ )이 된다.

Figure 1의 시스템을 전기음향적 등가회로로 만들면 Figure 2와 같이 나타낼 수 있으며, MPP1에서의 삼중 미세 천공판의 총 표면임피던스  $Z_{total}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_{total} = Z_1 + (Z_4^{-1} + Z(D_4)^{-1})^{-1} \tag{1}$$

$$Z_i = ((R_i - i\omega M_i)^{-1} - i\omega m_i^{-1})^{-1} \text{ for } i = 1, 2, 3 \tag{2}$$

$$Z_4 = Z_2 + \{(Z_3 + Z(D_3))^{-1} + Z(D_2)^{-1}\}^{-1} \tag{3}$$

$$R_i = \frac{32\eta}{\sigma_i \rho c} \frac{t_i}{d_i^2} \left( \sqrt{1 + \frac{x_i^2}{32}} + \frac{\sqrt{2} x_i d}{32 t_i} \right) \tag{4}$$

$$M_i = \frac{t_i}{\sigma_i c} \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{x_i^2}{2}}} + 0.85 \frac{d_i}{t_i} \right) \tag{5}$$

$$Z(D_i) = -i \cot \left( \frac{\omega D_i}{c} \right) \tag{6}$$

$$x_i = \frac{d_i}{2} \sqrt{\frac{\rho \omega}{\eta}} \tag{7}$$

$\eta$ 는 공기의 점성계수이며, 흡음계수  $\alpha$ 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\alpha = \frac{4Re[Z_{total}]}{(1 + Re[Z_{total}])^2 + Im[Z_{total}]^2} \tag{8}$$

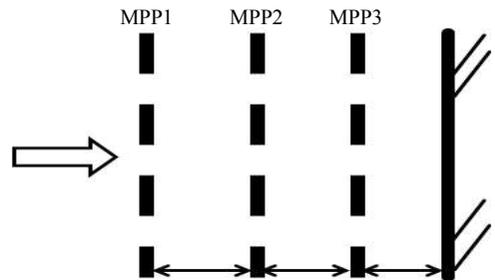


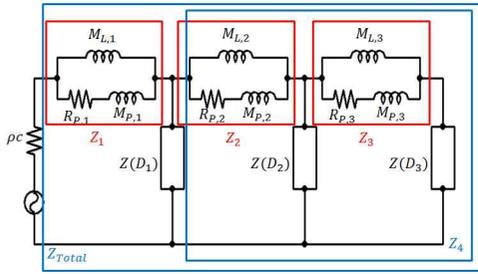
Figure 1 Model of a TLMPP for theoretical analysis

† 단국대학교 기계공학과

E-mail : wwkdhef07@nate.com

Tel : 031-8005-3526 , Fax : 031-8021-7215

\* 단국대학교 기계공학과

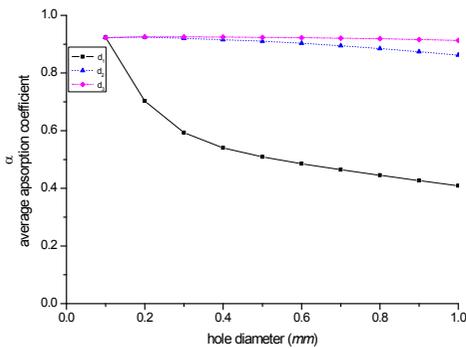


**Figure 2** Schematic electro-acoustical equivalent circuit of TLMP

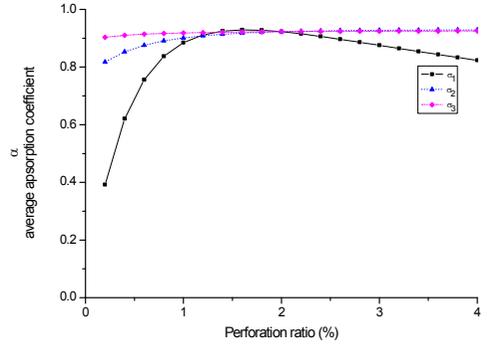
### 3. 결 과

기본 조건을  $D_{1,2,3} = 100mm$ ,  $d_{1,2,3} = 0.1mm$ ,  $\sigma_{1,2,3} = 1.8\%$ ,  $t_{1,2,3} = 0.1mm$ ,  $m_{1,2,3} = 0.2kg/m^2$  으로 하여 각 매개변수가 흡음계수  $\alpha$  에 어떤 영향을 미치는지 보았다. 다음 그래프의 y축은 89.1~1410Hz의 평균흡음계수를 구하였다. 이 때 평균 흡음계수는 에너지 관점에서 모든 주파수의 음에너지가 동일하게 입사된다고 가정하여 계산하였다.

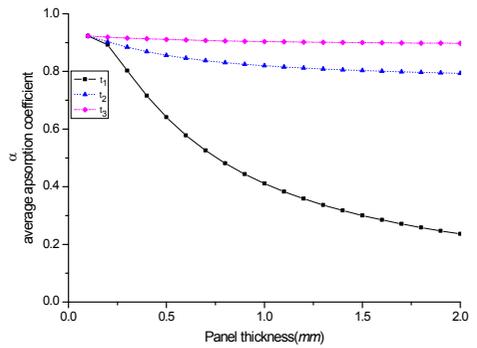
Figure 3(a),(b),(c)는 각각의 매개변수에 따라 평균흡음계수가 어떻게 달라지는지에 관한 그래프이고, (d)는 총 간격을 300mm로 고정하였을 때, 각 미세천공판의 간격이 변화할 때에 관한 그래프이다. 하나의 선은  $D_1$ 의 길이가 고정적이고,  $D_2$ 의 길이가 변화할 때 평균흡음 계수의 변화에 대한 그래프이다.(ex:  $D_1 = 100mm$ 인 선에서,  $D_2 = 60mm$ 인 지점의  $D_3 = 140mm$ 이다.)



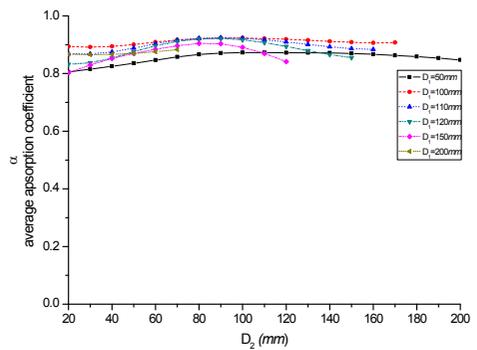
**Figure 3(a)** The average absorption coefficient relative to hole diameter



**Figure 3(b)** The average absorption coefficient relative to perforation ratio



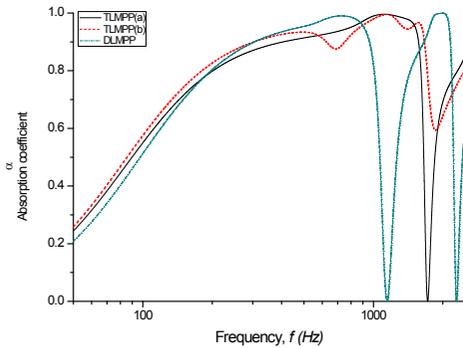
**Figure 3(c)** The average absorption coefficient relative to panel thickness



**Figure 3(d)** The average absorption coefficient relative to distance between each panels,  $D_1 + D_2 + D_3 = 300mm$

#### 4. 결 론

(1) 천공 면적이 같다면 구멍의 직경이 작을수록 더 많은 양의 음 에너지를 흡수하며, (2) 첫 번째 판이 흡음에 미치는 영향이 다른 두 판에 비하여 크고, (3) 천공률이 약 2% 정도에서 평균 흡음률이 가장 좋으며, (4) 판의 두께가 얇을수록 흡음력이 올라가게 된다.



**Figure 4** Comparison Absorption coefficient

- (a): standard TLMPP condition,  
 (b): Best TLMPP combination of average for energy,  
 (c): standard DLMPP:  $D_{1,2} = 150mm$

위의 결론을 토대로, 기본 조건과 에너지 관점에서 평균 흡음계수가 가장 높을 때, 그 결과 공진에 의한 영향이 적은 상태로 좋은 흡음성능을 나타내는 조건을 찾을 수 있었으며, 같은 부피의 이중 미세 천공판과 비교하였을 때, 흡음대역이 넓어지는 것을 확인할 수 있었다.

#### Reference

- (1) Dah-You Maa, 1998, Potential of micro-perforated panel absorber, J. Acoust. Soc. Am., Vol.104, No.5, pp.2861~2866  
 (2) Kang J, Fuchs HV., 1999, Predicting the absorption of open weave textiles and microperforated membranes backed by an air space. J Sound Vib 1999, Vol. 220, No. 5, pp.905~920

(3) Sakagami, Kimihiro, Masayuki Morimoto, and Wakana Koike., 2006, A numerical study of double-leaf microperforated panel absorbers., Applied acoustics, Vol. 67, No. 7, pp. 609-619.

(4) Lee. D, Seo. S, Hong. B, and Song. H, 2005, A Study on the Improvement of Acoustic of Multiple Layer Perforated Panel Systems, KSNVE, Vol. 15, No. 5, pp. 571~577

(5) C. Zwikker and C. W. Kosten, 1949, Sound Absorbing Materials, Elsevier, New York