

다공판 설계변경에 따른 머플러 소음성능해석

Muffler analysis associated with the design changes of the perforated plate

배경원* · 박정필* · 정의봉† · 안세진**

Kyeong-Won Bae, Jeong-Pil Park, Weui-Bong Jeong, Se-Jin Ahn

1. 서 론

차량이나 중장비에서 소음의 원인이 되는 요인 중 하나가 엔진에서 발생하는 소음이고, 이러한 엔진 소음을 줄이는데 아주 큰 비중을 차지하는 것이 머플러이다. 머플러는 투과되는 음향에너지를 줄여 줌으로써 소음을 저감시키는 원리인데, 머플러의 내부 형상에 따라서 머플러의 효과가 달라지게 된다.

이러한 머플러의 효과에 영향을 미치는 요인으로 머플러의 입·출구 단면적과 확장관의 단면적비, 다공판의 유무, 격벽의 유무, 흡음재의 유무 등이 있다. 단순확장관에서의 이러한 요인들이 미치는 영향에 대해서는 어느정도 연구되어 왔다. 하지만 실제 사용하는 머플러는 단순확장관 내부에 다른 요인들이 복합되어 있는 형태이고, 복잡한 모델에서 각 요소가 미치는 영향에 대한 연구는 아직 미비하다. 따라서, 본 연구에서는 복잡한 모델을 이용하고, 특히 여러 가지 요인 중에서 다공판의 설계변경에 따른 소음저감 효과를 분석하여 경향을 살펴보고자 한다.

2. 이론적 배경

머플러의 성능을 평가하는 지표는 투과손실 (transmission loss, TL)을 이용한다. 투과손실은 입사음향파위 (W_i)와 투과음향파위 (W_t)를 식 (2)을 이용하여 계산하고, 이것의 비를 dB로 나타낸 것으로 식 (1)와 같이 나타낼 수 있다.

$$TL = 10\log_{10} \frac{W_i}{W_t} = 20\log_{10} \left| \frac{p_i}{p_t} \right| + 10\log_{10} \frac{S_i}{S_o} \quad (dB) \quad (1)$$

$$W_i = \frac{p_i^2}{\rho c} S_i, \quad W_t = \frac{p_t^2}{\rho c} S_o \quad (2)$$

ρ 는 밀도, c 는 음속, p_i 는 입사파 음압, S_i 는 입구 단면적, p_t 는 투과파 음압, S_o 는 출구 단면적이다.

그리고 다공판은 구멍이 많기 때문에 머플러를 모델링 할 때 구멍을 모두 모델링 하지 않고 해석 소프트웨어에서 다공판 영역에 어드미턴스(admittance)를 주어서 계산을 한다. 이 값을 계산하는 것은 Mechel's formula를 이용하였다. 어드미턴스(admittance)를 구하기 위한 임피던스(impedance)의 계산식은 다음과 같다.

$$Z_p = R_p + jX_p \quad (3)$$

$$R_p = \frac{1}{\epsilon} \sqrt{8\omega\eta\rho_o} \left(1 + \frac{l}{2a} \right) \quad (4)$$

$$X_p = \frac{1}{\epsilon} \omega\rho(l + 2\Delta l) \quad (5)$$

Z_p 는 impedance, R_p 는 Resistance, X_p 는 Reactance, η 는 동점성계수, ϵ 는 공극률, a 는 구멍의 반지름, l 은 다공판 두께, $w(=2\pi f)$ f 는 주파수이다.

아래의 Fig. 1과 Fig. 2는 다공판 구멍의 배열, 크기, 거리를 나타낸 것이다.

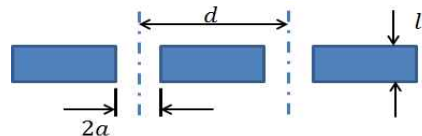


Fig. 1 Hole of perforated plate

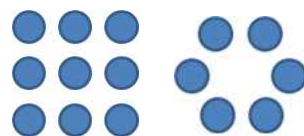


Fig. 2 Arrangement of hole (Square, Hexagonal)

† 교신저자: 부산대학교 기계공학부
E-mail : wbyeong@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-2337, Fax : (051)517-3805
* 부산대학교 대학원 기계공학부
** 위덕대학교 기계전기공학부

여기서 Δl 은 구멍의 배열에 따른 값으로, (7),(8) 식으로 계산된다.

square배열일 경우

$$\epsilon = \frac{\pi a^2}{d^2} \quad (6)$$

$$\Delta l = \begin{cases} 0.85a \left(1 - 2.34 \frac{a}{d}\right), & 0 < \frac{a}{d} < 0.25 \\ 0.668a \left(1 - 1.9 \frac{a}{d}\right), & 0.25 < \frac{a}{d} < 0.5 \end{cases} \quad (7)$$

hexagonal배열일 경우

$$\epsilon = \frac{2\pi a^2}{\sqrt{3} d^2} \quad (8)$$

$$\Delta l = \begin{cases} 0.85a \left(1 - 2.52 \frac{a}{d}\right), & 0 < \frac{a}{d} < 0.25 \\ 0.668a \left(1 - 2.0 \frac{a}{d}\right), & 0.25 < \frac{a}{d} < 0.5 \end{cases} \quad (9)$$

3. 해석결과

해석은 sysnoise를 이용하여 음향 유한요소법 (acoustic FEM)으로 하였다. 머플러의 입구단에는 주파수 대역에서 1m/s의 속도를 주었고, 출구단에는 공기의 임피던스 ρc 를 주어 무반사단 처리를 하였다. Fig. 3은 머플러 형상과 유한요소모델이고, 왼쪽 그림에서 진하게 나타낸 부분이 다공판에 해당한다. Fig. 4, Fig. 5는 각각 다공판의 구멍 배열이 hexa와 square일 때의 결과이다. 각 그래프는 다공판의 공극률(ϵ)이 일정할 때 구멍의 반지름(a)과 간격(d)이 (4mm,20mm), (8mm,40mm), (16mm,80mm)의 세 가지 경우를 비교하여 나타낸 그래프이다.

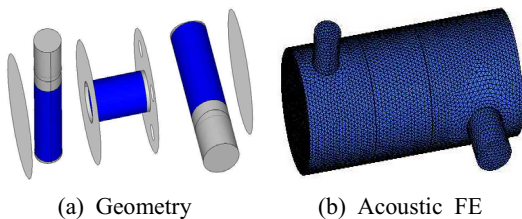


Fig. 3 Muffler model

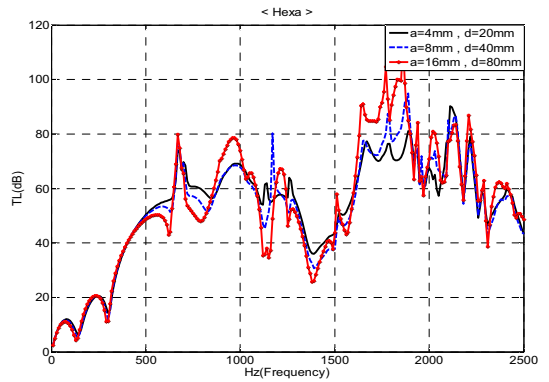


Fig. 4 Result of hexa arrangement

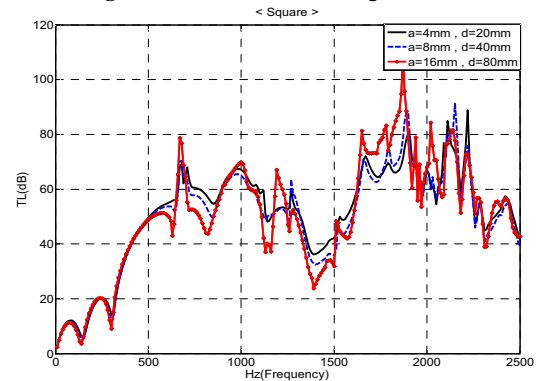


Fig. 5 Result of square arrangement

해석 결과로 구멍의 배열에 관계없이 구멍의 사이즈에 따라서 특정 주파수에서 투과손실이 달라지는 특성을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 다공판 설계 변경에 따른 머플러의 투과손실(TL)을 비교해 보았다. 비교결과 다공판의 구멍배열이 hexa, square배열 일 때 모두 같은 경향을 보였다. 공극률을 유지하면서 구멍의 크기와 간격을 변경해 보았을 때, 500Hz~800Hz 구간에서는 구멍의 크기가 작을 때 소음저감 효과가 더 좋았고, 1600Hz~1900Hz 구간에서는 구멍의 크기가 클 때 소음저감 효과가 더 좋은 것으로 보였다.

따라서, 저주파 소음을 줄이려면 구멍이 작은 것이 유리하고, 고주파 소음을 줄이려면 구멍이 큰 것이 유리하다는 것을 알았다. 이러한 방법으로 다른 머플러에 적용하여 같은 경향이 발견 된다면, 머플러를 설계할 때 유용한 정보가 될 것으로 기대된다.