

# 열과 유동을 고려한 음장해석을 통한 머플러의 설계

## Muffler Design using Transmission Loss considering Heat and Flow

김현수† · 강상규\* · 임윤수\* · 한학손\*\*  
Hyunsu Kim, Sang-kyu Kang, Yun-soo Lim and Hak-son Han

### 1. 서 론

머플러에서 소음을 저감하는 방식에는 크게 반응형 (reactive) 방식과 에너지 소실형 (dissipative) 방식이 있다. 반응형 방식은 소리가 경계 면에서 반향되는 특성 때문에 생기는 위상 차이를 이용하여 특정한 주파수대역을 저감하는 방식으로, 대표적으로 헬름홀쯔 공명기, 1/4파장 공명기, 단순확장형 공명기와 이것들의 변형된 형태들이 많이 있다. 소실형 방식은 소리에너지의 소멸(dissipation) 효과를 이용한다. 이 방식에는 흡음재를 사용하여 소리에너지를 흡수하는 방법과 소리가 파이프 혹은 격막(baffle)에 타공되어 있는 다공홀(perforation)을 통과할 때 생기는 소리 에너지의 손실을 이용하는 방법이 있다. 후자의 방법은 소음저감에는 유리하지만, 배기가스가 통과할 때 같은 원리로 생기는 유압손실 (hydraulic loss) 때문에 배압이 많이 발생할 수 있다.

유체가 작은 홀(orifice)을 통과할 때 생기는 유압에너지의 감쇠 효과는 작은 홀 주변에서 발생하는 난류 (turbulence)로 설명될 수 있다. 이 현상을 모델링 하면 지배방정식

$$\underbrace{p_i - p_o}_{\text{pressure}} = \underbrace{l_{eq} \frac{du_r}{dt}}_{\text{inertia}} + \underbrace{C_M \rho_0 u_r |u_r|}_{\text{convection}} + \underbrace{C_\tau u_r}_{\text{shear}} \quad (1)$$

이 되고, 여기서 난류는 대류(convection)항으로 모델링이 된다. 식(1)에서 유속( $u_r$ )의 증가에

따라 대류항의 크기는 유속의 제곱에 비례해서 커지게 된다. 식 (1)을 재정리하면

$$p_i - p_o = \rho_0 l_{eq} \frac{du_r}{dt} + Ru_r \quad (2)$$

이 되고 이 식에서 에너지손실을 의미하는 감쇠항  $R$  이 대류항을 포함하고, 유속의 증가에  $R$  이 증가됨을 보인다. 이는, 홀을 통과하는 유체의 동적에너지의 감소를 의미하고, 바로 (감쇠에 의한) 소음저감 원리가 된다.

따라서, 머플러를 설계함에 있어 유체의 흐름은 매우 중요한 인자이며, 그 특성을 반드시 고려해야 한다. 본 연구에는 실제 머플러가 쓰일 때 발생하는 열과 유동을 영향을 고려한 전달손실계수 (Transmission Loss, TL)를 이용하여 머플러를 설계하였다. 홀을 통과하는 유체의 특성을 이해하여, 유체의 흐름을 크게 방해하지 않으며 (배압 저감), 유동이 홀을 통과할 때 생기는 소음 저감 원리를 활용한 정숙형 (quiet-sound)머플러와 (b) 헬름홀쯔 공명기<sup>(2)</sup>를 활용한 스포티사운드형 머플러를 제안하고자 한다.

### 2. 본 론

본 논문에서는 배압이 유리하고, 형상이 비교적 간단하며, (a)정숙형 사운드 (quiet-sound) 와 (b) 스포티 사운드 (sporty-sound)를 구현하는 두 개의 머플러를 제안한다. 머플러를 설계하고, 그 성능을 예측하기 위해 GT-power를 사용하였다. 기존 양산 차량의 머플러의 TL을 해석하였고, 그 머플러의 TL과 배압을 타겟으로 하여 두 가지 안을 선택하였다. 이런 해석을 통해 선정된 두 머플러를 제작하여 차량에 장착, 평가하였으며, 머플러 토출 소음과 실내에 유입되는 소음을

† 김현수; 정회원, 현대자동차 파워트레인소음진동팀

E-mail : hkim@hyundai.com

Tel : 031-8036-1938, Fax : 031-368-6095

\* 현대자동차 파워트레인소음진동팀

\*\* 현대자동차 언더바디사시설계팀

비교하였고 TL 해석과 일치함을 검증하였다. 마지막으로, 간단한 배압 측정 장치를 통해 배압을 평가하였다.

### 2.1 머플러 모델링과 해석 결과

GT-power 를 이용하여, 여러 개의 머플러의 형상을 해석하여, 그 중 가장 좋은 TL 과 배압을 보여주는 두 개의 머플러 (7D, 4B)가 선정 되었고, Fig.1 에 대략적인 형상이 나타나 있다. 유동과 열을 고려한 TL 특성은 Fig.2 에서 보여준다.

- (1) 정속형(7D) 머플러
- (2) 스포티(4B) 머플러 (하이브리드 머플러<sup>(2)</sup>).

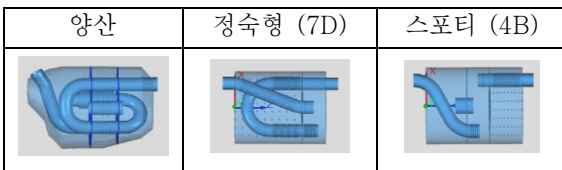


Fig. 1 Schematics of muffler models

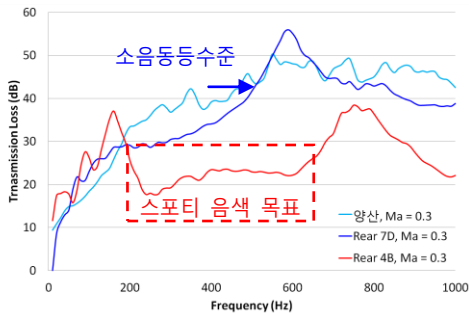


Fig.2 Comparison of TL

### 2.2 차량평가결과

Fig.3 은 3가지 머플러를 각각 장착한 후, 실내소음을 1/3<sup>rd</sup> 옥타브 밴드로 나타낸 그림이다. Fig.2 의 전달손실계수에서 보여진 대로 스포티 (4B)는 저주파수 (250 - 500 Hz) 대역에서 더 높은 음압레벨을 보여 주고 있고, 이는 스포티한 느낌을 주는 효과가 있다. 정속형(7D)은 양산과 비슷한 레벨을 보여주며, 이 또한 전달손실계수에서 나타난 특성과 동일하다. 이는 열과 유동을 고려한 전달손실계수를 이용하면, 쉽고 정확하게 머플러의 성능을 예측할 수 있다는 것을 보여 준다.

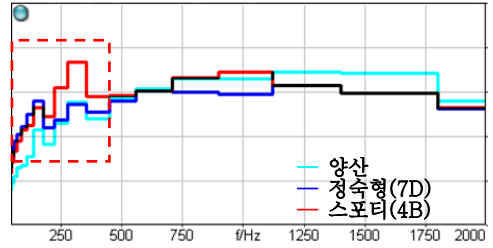


Fig. 8 Comparison of 1/3 octave band noise (measured at passenger left ear)

위 세가지 머플러에 대한 배압은 간단한 배압 측정장치를 이용하여 측정하였고 Table 1에 표시되어 있다. 제안된 머플러 (7D, 4B) 모두 양산 머플러보다 배압이 낮으며, 연비 향상이 기대된다.

Table 1 Measured back pressure

	양산	정속형(7D)	스포츠(4B)
배압	27.8 kPa	22 kPa	16.3 kPa

### 3. 결 론

전달손실계수(Transmission loss)는 머플러의 소음 저감 특성 (characteristics)을 나타내는 값이며 열과 유동을 고려하는 것은 매우 중요하다. 이를 고려한 해석을 통해 최적의 머플러를 설계/평가하여 방법을 검증하였다.

### 참고문헌

- (1) H. Kim, “ Transmission Loss of Silencers with Flow from a Flow-Impedance Tube using Burst Signals”, Ph.D. Dissertation, The Ohio State University, 2011.
- (2) L. Champney, N. T. Huff, I. J. Lee, A. Selamet, “ Mufflers with Enhanced Acoustic Performance at Low and Moderate Frequencies”, US Patent 7,281,605 B2.