

# 목표 투과 손실과 압력 손실을 만족하는 머플러 설계

## Muffler Design to Achieve Target Values of Transmission Loss and Pressure Loss

이진우† · 장강원\*

Jin Woo Lee and Gang-Won Jang

### 1. 서 론

관(pipe) 내를 흘러가는 유체의 소음을 줄이기 위해 널리 사용되는 반사형 머플러(Reactive muffler)의 소음 저감 성능을 높이기 위한 최적 설계 방법에 대한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다. Barbieri와 Barbieri<sup>(1)</sup>는 형상 최적 설계 기법을 이용하여 입구와 출구에 삽입된 격벽의 길이를 조절하여, 목표한 주파수 대역에서 높은 투과 손실(transmission loss) 값을 갖는 설계법을 제시하였다. Lee와 Kim<sup>(2)</sup>은 위상최적화 기법을 이용하여, 설계자의 과거 경험과 직관에 의존하지 않는 체계적인 머플러 설계 기법을 제시하였다. 이를 더욱 발전 시켜서, Lee와 Jang은 투과 손실뿐만 아니라 압력 손실을 고려한 머플러 설계 기법<sup>(3)</sup>을 제시하였다.

이런 설계 기법이 실제 산업체에서 사용되기 위해서는 산업체의 머플러 설계 제한 조건이 좀 더 고려될 필요가 있다. 특정 주파수에서 지나치게 높은 투과 손실 값을 갖는 경우, 그 이외의 주파수 대역의 투과 손실이 낮아질 수 있다. 이 경우에, 단순 확장방 머플러 사용시 문제가 되지 않았던 주파수 대역의 유동 소음 성분이 전체 소음 레벨에 크게 기여할 수 있다. 또한, 과도한 투과 손실은 압력 손실의 증가로 이어져, 유체 기계의 효율을 떨어뜨릴 수 있다.

본 연구에서는 지나친 압력 손실과 목표 주파수 이외의 주파수 대역에서의 투과 손실 값의 저감을 막기 위한 머플러 설계 기법을 제시한다. 체계적인 머플러 설계를 위해 정식화 될 위상 최적화 문제에서, 목적 함수와 제한 조건을 적절히 선정하였다. 정식화된 설계기법은 입/출구의 중심이 일치하지 않

는 확장방 머플러(Fig. 1)에 적용하여 설계 기법의 타당성을 검토하였다. 투과 손실과 압력 손실을 계산하기 위해, 유한 요소 모델을 사용하였다.

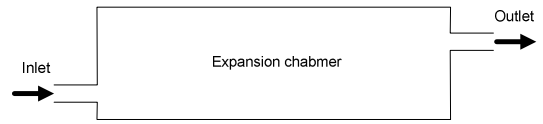


Fig. 1 Expansion chamber used for muffler design

### 2. 위상 최적 설계 문제 정식화

가능한 간단한 내부 구조를 가지면서 목표한 투과 손실 값과 압력 손실 값을 갖는 머플러를 설계하기 위해, 식 (1)~(3)과 같은 위상 최적화 문제를 정식화 하였다.

$$\text{Min} \sum_n \chi_n \quad (1)$$

$$TL_{f=f_i} \geq TL_{\text{target}} \quad (2\text{-a})$$

$$\Delta P \leq \Delta P_{\text{target}} \quad (2\text{-b})$$

$$1/\rho_n(\chi_n) = 1/\rho_{\text{air}} + \chi_n(1/\rho_{\text{rigid}} - 1/\rho_{\text{air}}) \quad (3\text{-a})$$

$$1/K_n(\chi_n) = 1/K_{\text{air}} + \chi_n(1/K_{\text{rigid}} - 1/K_{\text{air}}) \quad (3\text{-b})$$

$$\gamma_n(\chi_n) = \gamma_{\text{fluid}} + (\gamma_{\text{fluid}} - \gamma_{\text{fluid}})\chi_n \frac{1+q}{\chi_n+q} \quad (3\text{-c})$$

식 (1)의  $\chi_n$ 은 각 유한 요소 모델에 부여하는 설계 변수로서, 설계 변수 값이 1이 되어 격벽을 형성하는 강제 요소 수의 합을 목적 함수로 선정하였다. 식 (2)의 제한 조건은 각각 목적 주파수에서의 목표 투과 손실 값과 압력 손실 값에 관한 수식이다. 식 (3)의 보간 함수는 설계 변수의 함수로서, 최적화 동안 각 유한 요소의 상태를 나타낸다. 설계 변수는 0과 1 사이에서 변화하며, 최종 수렴해에서는 1 또는 0의 값을 갖는다.

† 교신저자; 정회원, 아주대학교 기계공학부

E-mail : jinwoolee@ajou.ac.kr

Tel : 031-219-3659, Fax : 031-219-1611

\* 세종대학교 기계항공우주공학부

### 3. 수치 예제

아래 조건에 대하여, 2 절에서 정식화된 위상최적화 문제의 해를 구하였다. 최적화 과정에서의 투과 손실 값은 세 점 계산법(three-point method)<sup>(4)</sup>을 이용하여 계산하였고, 최적화 알고리즘은 MMA(Method of Moving Asymptotes)<sup>(5)</sup>를 사용하였다.

$$TL_{\text{target}} = 10 \text{ dB}$$
$$\Delta P_{\text{target}} = 8.5 \text{ Pa}$$
$$f_t = 350 \text{ Hz}$$

Fig. 2는 위 조건에 대하여 구한 최적 위상을 보여주고 있고, Fig. 3에서는 최적 위상의 투과 손실 곡선을 단순 확장방 머플러의 투과 손실 곡선과 비교한다. .

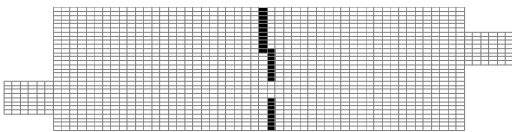


Fig. 2 Optimal topology

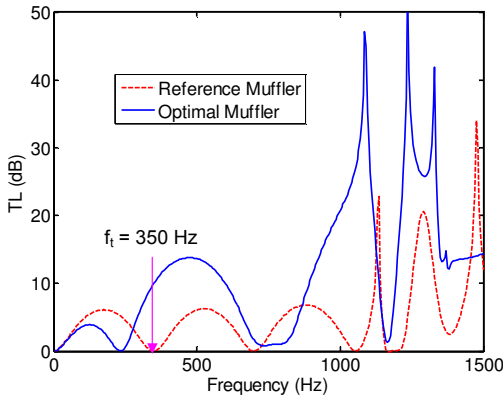


Fig. 3 Transmission loss curve of the optimal topology in Fig. 2.

### 4. 결론

본 논문에서는 산업체의 머플러 설계 제한 조건을 좀 더 고려한 위상 최적화 기반 머플러 설계 기법을 제시하고 그 타당성을 확인하였다.

### 후 기

이 논문은 2011학년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2011-0005830). 또한, 본 연구는 2011학년도 아주대학교 일반연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

### 참 고 문 헌

- (1) Barbieri R. and Barbieri, N., 2006, "Finite element acoustic simulation based shape optimization of a muffler," *Applied Acoustics*, Vol. 67, pp. 346~357.
- (2) Lee, J. W. and Kim, Y. Y., 2009, "Topology Optimization of Muffler Internal Partitions for improving acoustical attenuation performance," *International Journal for Numerical Methods and Engineering*, Vol. 80, No. 4, pp. 455~477.
- (3) Lee, J. W. and Jang, G., in review, "Topology design of reactive mufflers for enhancing their acoustic attenuation performance and flow characteristics simultaneously," *International Journal for Numerical Methods and Engineering*.
- (4) Wu, T. W. and Wan, G. C., 1996, "Muffler Performance Studies Using a Direct Mixed-Body Boundary Element method and a Three-point Method for Evaluating Transmission Loss ," *ASME Journal of Vibration and Acoustics*, Vol. 118, No. 3, pp. 479~484.
- (5) Svanberg K., 1987, "The Method of Moving Asymptotes: a New Model for Structural Optimization," *International Journal for Numerical Methods and Engineering*, Vol. 24, No. 2, pp. 359~373.