

위상 최적화를 이용한 반전 흐름 머플러 설계 Design of reversal flow muffler by topology optimization

이진우† · 장강원*
Jin Woo Lee and Gang-Won Jang

1. 서 론

배관을 흐르는 유체의 유동 소음을 줄이기 위해 보편적으로 사용되는 확장방형 머플러(expansion chamber muffler)는 장착되는 위치에 따라 몇 가지 종류로 분류된다⁽¹⁾. 곧게 뻗은 배관에 장착될 경우에는 입/출구의 중심이 일치하지만, 배관의 배치와 유로에 따라 평행인 경우, 수직 경우인 경우 등이 있다. 일반적으로 입구와 출구가 서로 다른 쪽에 위치하지만, 유로가 180 도로 회전하는 배관 부위에 장착되는 머플러는 입구와 출구가 같은 쪽에 존재하게 된다. 이와 같은 머플러를 반전 흐름 머플러(reversal flow muffler)라고 부른다.

Chu et al.⁽²⁾은 3 차원 모드가 반전 흐름 머플러의 음향 특성에 미치는 영향을 고찰하였다. Selamet 과 Ji⁽³⁾는 확장방의 길이-지름비와 입/출구의 상대적인 위치에 따른 반전 흐름 머플러의 음향 성능 변화를 고찰하였다. 그러나, 아직 내부 격벽 설계를 위한 연구는 활발히 진행되지 못하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 위상최적화 기법⁽⁴⁾을 이용하여 원하는 주파수 대역의 소음 저감 능력이 우수한 반전 흐름 머플러의 내부를 설계하고자 한다.

2. 머플러 최적 설계 문제 정식화

본 설계 문제에서는, 계산 시간을 줄이기 위해 폭이 아주 좁은 반전 흐름 머플러를 해석 모델로 선정하였으며, 그 단면을 Fig. 1에 나타내었다. 입구로 들어온 유체가 큰 손실없이 출구로 흘러나갈 수 있도록 비설계 영역(non-design domain)을 설정하였

고, 나머지 확장방의 영역을 설계 영역으로 선정하였다. 내부 격벽의 최적 설계를 위해, 식 (1)~(3)과 같은 위상 최적화 문제를 정식화 하였다. 설계에 사용된 구체적인 치수는 Table 1에 정리하였고, 수식에 사용된 문자 및 기호는 이전 연구⁽⁴⁾의 표기법을 따랐다.

$$Max \quad TL_{f=f_i} \quad (1)$$

$$\sum_n \chi_n / R \leq V_r \quad (2)$$

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

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

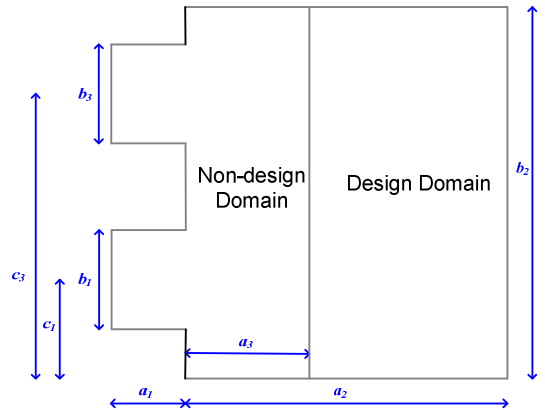


Fig. 1 Analysis model of a reversal flow muffler for optimization

Table 1 Specific values of muffler geometry

Symbols	value	unit
a_1	0.06	m
a_2	0.10	m
a_3	0.04	m
b_1	0.04	m
b_2	0.15	m
b_3	0.04	m

† 교신저자; 정회원, 아주대학교 기계공학과부

E-mail : jinwoolee@ajou.ac.kr

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

* 세종대학교 기계항공우주공학부

3. 최적 설계 결과

다양한 격벽의 부피비(V_r)와 목적 주파수(1500Hz)의 투과 손실을 높이는 데 대하여, 전 절에서 정식화 된 최적 설계 문제를 풀어서 최적의 내부 구조를 얻었다.

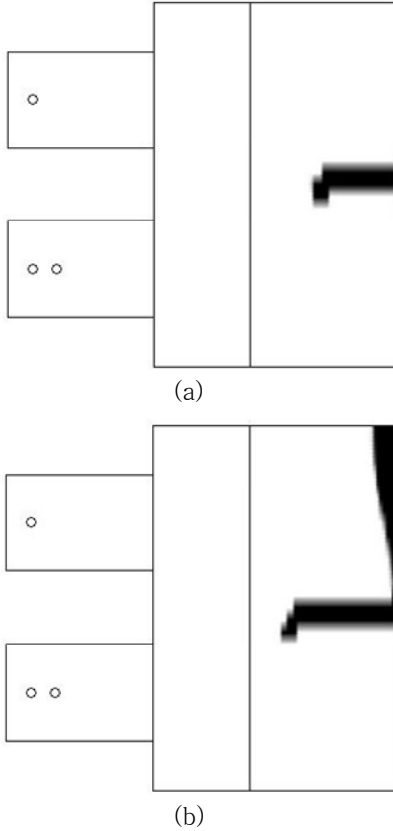


Fig. 2 Optimal topologies for two different values of the allowed volume ratio: (a) $V_r = 0.04$; and $V_r = 0.10$.

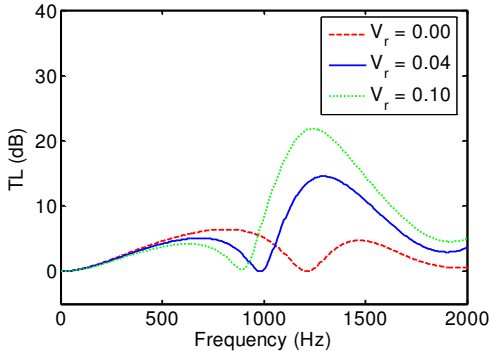


Fig. 3 Comparison of two optimal mufflers and the reference muffler.

Fig. 2는 두 개의 격벽 부피비에 대하여 얻은 최적 위상을 보여주고 있고, Fig. 3에서는 이렇게 얻은 최적 머플러와 기준 머플러의 투과 손실 곡선을 비교하였다. 목적 주파수 대역에서 투과 손실 값이 크게 증가하였음을 알 수 있다. 본 최적화에서는 Comsol⁽⁵⁾이 사용되었다.

3. 결 론

본 연구에서는 목적 주파수에서 소음 저감 능력을 효과적으로 높일 수 있도록, 반전 흐름 머플러(reversal flow muffler)의 내부를 효과적으로 설계하는 방법론을 제시하였고, 수치예제를 통해 제시한 방법의 타당성을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2011학년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업임 (No. 2011-0005830). 또한, 본 연구는 2011학년도 아주대학교 일반 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- (1) Munjal, M. L., Behera, B. K. and Thawani, P. T., 1998, "Transfer matrix model for the reverse-flow, three-duct, open end perforated element muffler," *Applied Acoustics*, Vol. 54, pp. 229~238.
- (2) Chu, C. I., Hua, H. T. and Liao, I. C., 2009, "Effects of three-dimensional modes on acoustic performance of reversal flow mufflers with rectangular cross-section," *Computers and Structures*, Vol. 79, No. 4, pp. 883~890.
- (3) Selamat, A. and Ji, Z. L., 1998, "Acoustic attenuation performance of circular flow-reversing chambers," *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 104, No. , pp. 2867~2877.
- (4) 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.
- (5) Olesen, L. H., Okkels, F. and Bruus, H., 2006, "A high-level programming-language implantation of topology optimization applied to steady-state Navier-Stokes flow," *International Journal for Numerical Methods and Engineering*, Vol. 65, No. *, pp. 975~1001.