

확장형 머플러 내부의 천공판 형상 최적화

Shape optimization of a perforated plate in an expansion chamber muffler

최동욱† · 이진우*
Dong Wook Choi and Jin Woo Lee

1. 서 론

머플러는 환기용 또는 내연기관의 흡배기용 덕트(duct)내의 유체 소음을 줄이기 위하여 설계되는 음향장치이다. 일반적으로 주파수 대역에서 도시되는 투과 손실 곡선으로 머플러의 소음 저감 능력을 나타낸다. 원하는 주파수 대역에서 투과손실(TL: Transmission Loss)을 높이기 위해 머플러 내부에 단순 격벽이나 다공성 격벽을 삽입한다.

특히, 다공성 격벽(perforated plate)은 유동압력 손실이 적고, 상대적으로 좋은 소음저감 특성을 갖는다는 장점 때문에 자동차 배기 머플러 등에 많이 사용되고 있고, 이에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. Munjal은⁽¹⁾ 천공요소가 투과 손실에 미치는 영향을 전달 행렬법을 이용하여 예측하였고, Luo 등은⁽²⁾ 머플러 내부에 부분적으로 천공요소가 위치할 때, 전달 손실에 미치는 영향을 분석하였다. 이들의 연구결과는 천공요소의 분포가 전달 손실에 미치는 영향을 분석하였지만, 효과적인 설계안을 제시하지는 못했다.

Change 과 Chiu 는⁽³⁾ 천공요소 머플러에 대해서 형상 최적화를 진행하였지만, 천공요소의 분포가 모두 균일하였다. 이성현과 이정권은⁽⁴⁾ 천공요소의 불규칙한 배열이 전달손실에 미치는 영향에 대하여 분석하였지만 최적 설계 개념을 사용하지는 않았다. 따라서, 본 연구는 형상 최적화 방법을 이용하여 확장형 머플러 내부에 삽입되는 다공성 격벽의 설계 기법을 제안한다. 관심 주파수대역에서 투과 손실을 높이기 위한 설계 문제와 상대적으로 떨어진 두 주파수 대역의 투과 손실을 함께 높여야 하는 문제를 다룬다.

2. 본 론

Fig. 1과 같이, 천공요소를 가지는 입/출구의 중심이 일치하는 2차원 확장형 머플러를 해석 모델로 선정하였다. 동일한 천공률(천공요소의 구멍 개수와 크기는 일정)에 대한 천공 요소의 최적 분포를 얻기 위해, 격벽을 몇 개의 구간으로 나누고, 각 구간 안의 구멍과 구멍 사이의 길이는 동일하게 하였다.

가중함수 방법(Weighting function method)⁽⁵⁾을 사용하여 식(1)과 (2)와 같이 다중 목적 함수 최적화 문제를 정의하였다. 식 (1)과 같이, 서로 떨어진 두 주파수 대역의 투과 손실값을 목적함수로 선정하였고, 천공판의 길이에 식(2)와 같은 제한 조건을 부여하였다.

$$\frac{1}{N_1} \sum_{i=1}^{N_1} TL_{f_i} = TL_1, \quad \frac{1}{N_2} \sum_{j=1}^{N_2} TL_{f_j} = TL_2$$

Minimize $-(w_1 \cdot TL_1 + w_2 \cdot TL_2)$ (1)

subject to $k^L \leq k_1 + k_2 + k_3 + k_4 \leq k^U$ (2)

식 (1)에서, k_i 는 각 구간의 길이를 나타내고 $\sum w_i$ 은 1이며 식 (2)에서 k^L, k^U 는 각각 $\sum k_i$ 의 하한값과 상한값을 나타낸다.

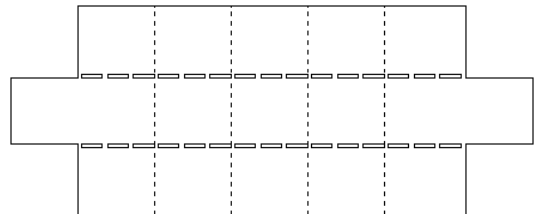


Figure 1 Expansion chamber muffler with perforated plates

† 최동욱; 아주대학교, 기계공학부
 E-mail : 1dwchoi@gmail.com

Tel : (031) 219-2939

* 아주대학교 기계공학부

3. 최적화 결과

다음 두 주파수 대역에 대하여 정식화한 최적화 문제의 해를 구하였다. 최적화 과정에서 사용된 알고리즘은 MMA(Method of Moving Asymptotes)⁽⁶⁾이다.

$$f_i = 1200 - 1300 \text{ Hz}, f_j = 1850 - 1950 \text{ Hz}$$

Fig. 2는 가중치 w_1 를 0~1까지 0.1 간격으로 부여하여 정식화된 최적화 문제를 풀어서 얻은 결과 (TL_1, TL_2)를 나타낸다. Fig. 3은 $w_1 = 0.9, w_2 = 0.1$ 일 때, 가중함수 방법을 이용하여 구한 최적 다공성 격벽의 분포이다. Fig. 4는 최적 설계된 머플러, 단순 확장방 머플러, 천공 요소의 균일하게 분포된 머플러의 투과 손실 특성을 비교한다.

4. 결 론

본 연구에서는 다공성 격벽을 갖는 확장형 머플러의 내부 격벽을 효과적으로 설계하는 방법을 제시하였다. 가중함수방법을 이용한 형상 최적화를 수행하여 원하는 주파수 대역에서, 천공요소의 최적 분포를 제시하였고, 이는 균일하게 설계하는 것 보다 높은 투과손실을 얻을 수 있다는 것을 3 절에서 확인하였다. 이를 통해, 설계자의 요구에 맞는 천공 요소 설계치를 선택할 수 있도록 하였다.

후 기

이 논문은 2012학년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업 임(No. 2012-0004079). 또한, 본 연구는 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술인력 양성사업에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

(1) M. L. Munjal, K. N. Rao and A. D. Sahasrabudhe., 1987, "Aeroacoustic Analysis of Perforated Muffler Components," *Journal of Sound and Vibration*, Vol.114, No.2, pp.173-188.

(2) H. Luo, C. C. Tse and Y. N. Chen., 1995, "Modeling and Applications of Partially Perforated Intruding Tube Mufflers," *Applied Acoustics*, Vol.44, pp.99-116.

(3) Ying-Chun Chang and Min-Chie Chiu., 2008, "Shape optimization of one-chamber perforated plug/non-plug mufflers by simulated annealing method,"

International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol.74, pp.1592-1620

(4) Seong-Hyun Lee and Jeong-Guon Ih., 2008, "Effect of non-uniform perforation in the long concentric resonator on transmission loss and back pressure," Vol.311, pp.280-296

(5) Singiresu S. Rao저 박한영 외 3명 번역., 2011, "공학최적화 : 이론과 실제" *홍릉과학출판사*, pp.736-737

(6) Wu, T. W. and Wan, G. C., 1996, "Moving Asymptotes : a New Model for Structural Optimization," *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol.24, No.2, pp.359-373

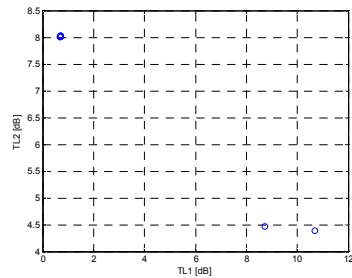


Figure 2 TL1 and TL2 of optimized mufflers depending on the a pair of weighting factors

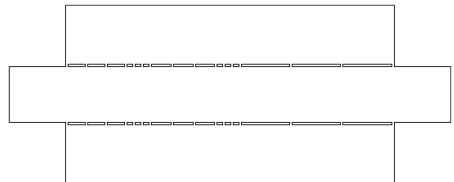


Figure 3 Expansion chamber muffler with optimal perforated plates

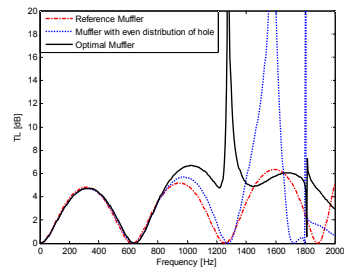


Figure 4 Transmission loss curves of reference muffler, conventional muffler, the optimal muffler