

# 공명기의 주기적 배치에 의한 팬 소음 저감

## Fan noise reduction using periodic resonators

허용호 · 임은옥 · 이정권†

Yong-Ho Heo, Eun-Ok Yim, and Jeong-Guon Ih

### 1. 서 론

공명기가 주기적으로 배열된 관로에서는 주기성에 의해 나타나는 Bragg 저지대역과 공명기의 공명에 의해 나타나는 공명 저지대역의 두 가지 소음 전파 저감대역이 나타난다<sup>(1,2)</sup>. 이러한 저지대역을 이용한 소음저감의 선행연구로는 고속 전철의 충격파를 감쇠시키기 위해 터널에 헬름홀쯔 공명기를 배열하는 연구<sup>(3)</sup>, 반복형 주름을 갖는 주기 관에서의 소음 저감을 위해 설계변수를 조절한 사례<sup>(4)</sup>들이 있다.

본 연구에서는 측지 공명기가 주기적으로 배열되어 있는 관로를 이용하여 팬의 날개통과주파수와 같은 특정 주파수와 그 고조파에서 반사계수를 높여서 소음 저감 설계를 하고자 하였다. 음향 전파 저지대역은 공명기의 길이와 주기길이, 배열된 공명기의 개수에 의해 영향을 받으므로, 이 설계 변수들을 조정하여 원하는 주파수 대역에 저지대역을 형성시키고자 하였다.

전체 계의 소음 저감 성능인자로는 전달 손실을 이용하였고, 이를 계산하기 위한 방법으로는 전달행렬법을 이용하였으며, 공명기로는 측지 공명기를 사용하였다. 측정된 환풍기 팬 소음 스펙트럼으로부터, 소음저감을 위해서 팬의 회전 주파수와 날개통과주파수의 주파수 대역 및 그 고조파수를 지정하였다. 측지 공명기가 주기적으로 배열되어있는 주기관을 이용하여 주기관을 통과하는 단순화된 팬소음의 저감 가능성을 삽입손실을 이용하여 연구하였다.

그림 1 은 측지 공명기를 주기로 하는 주기관의 예를 나타낸다.

### 2. 본 론

#### 2.1 삽입손실의 계산

측지 공명기가 주기적으로 배열되어 있는 주기관에서 무한히 반복되는 길이  $d$ 를 갖는 셀에 의한

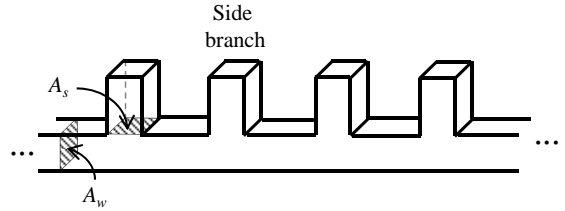


그림 1. 측지 공명기가 주기적으로 배열된 주기관

분산관계식은 Bloch 파수,  $k_B$ , 와 파수  $k$ 와의 관계로 표현되며<sup>(2)</sup>, 이 때 관로의 벽이나 점성에 의한 손실은 없고, 단순 매질, 시간조화 특성을 갖는 관로를 가정한다. 이 때의 분산 관계식은 다음과 같다.

$$k_B d = \cos^{-1} \left[ \cos(kd) - \frac{1}{2} \frac{A_s}{A_w} \tan(kl) \sin(kd) \right] \quad (1)$$

여기서  $A_s$ 는 측지 공명기의 면적,  $A_w$ 는 주기관의 면적,  $l$ 은 측지 공명기의 음향학적 길이이다. 분산관계식은 복소수로 나타나며, 그 실수 부분은 하나의 셀을 통과하는 음파의 위상 변화를, 허수 부분은 크기의 변화를 나타낸다.

$n$  개의 셀을 통과한 후의 음향의 전달 매트릭스가 다음과 같을 때,

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ U_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_n \\ U_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

삽입손실은<sup>(5)</sup>,

$$IL(dB) = 20 \log_{10} \left| \frac{T_{11} Z_r + T_{12} + T_{21} Z_s Z_r + T_{22} Z_s}{L_{11} Z_r + L_{12} + L_{21} Z_s Z_r + L_{22} Z_s} \right| \quad (3)$$

으로 구해지며, 여기서  $T$ 는 주기관의 전달 매트릭스의 요소,  $L$ 은 동일한 길이의 직관의 전달 매트릭스의 요소,  $Z_r$  은 종단에서의 방사 임피던스,  $Z_s$  는 음원의 임피던스이다. 시뮬레이션에서  $Z_r$  은 같은 크기의 무한 배플위의 강체 피스톤의 방사 임피던스를,  $Z_s$  는 무반사 조건을 가정하여 계산을 진행하였다.

† 이정권; 정회원, 한국과학기술원 소음진동연구센터  
E-mail : J.G.Ih@kaist.ac.kr

## 2.2 목표 환풍기의 소음 측정

컴퓨터의 쿨링 팬 (AP9225Round) 으로부터 방사되는 소음을 측정하였다. 해당 팬은 50 Hz 로 회전하며, 7 개의 블레이드를 가짐으로써 350 Hz 의 정수배에 해당하는 주파수들에서 주된 소음이 방사된다. 이로부터 방사되는 소음은 1/4" 용 마이크로폰 (B&K 4935)과 윈드스크린 (WQ 1133)을 이용하여 환풍기로부터 100 mm 떨어진 거리에서 측정하였다. 측정된 소음의 주파수 스펙트럼은 그림과 같다. 날개 통과 주파수인 350 Hz의 정수배에 해당하는 주파수 및 회전 주파수인 50 Hz에서 소음의 피크 성분이 관찰되었다.

## 2.3 소음 저감을 위한 설계

소음 저감의 목표 주파수는 팬의 회전속도 50 Hz 와 팬의 첫 번째 2개의 날개 통과 주파수 350, 700 Hz로 설정하였다. 주기관의 설계 변수를 조정하여 측지 공명기의 저지대역이 회전 주파수 50 Hz의 소음을 저감하도록, 그리고 주기성에 의하여 발생하는 Bragg 저지대역이 날개 통과 주파수의 350과 700 Hz의 에서 소음을 저감하도록 하였다. 이때, 주기관이 10개의 셀로 이루어진 경우의 삽입손실을 그림 2에 나타냈으며, 목표 주파수인 50, 350, 700 Hz에서 각각 100, 34, 12 dB 의 값을 나타낸다. 실제로 주기관을 소음저감을 위해 구성할 시, 시뮬레이션에서 고려되지 않은 다른 감쇠의 영향으로 큰 삽입손실 값을 가지는 각 밴드가 넓어지며, 피크 값이 작아짐으로 인해 각 주파수에서 위의 성능보다는 소음 저감 성능이 떨어질 것으로 예측가능하나, 시뮬레이션 결과로부터 소음 저감의 가능성은 관찰할 수 있었다. 더 큰 삽입손실을 얻고자 할 때는 더 많은 관들을 주기적으로 배열함으로 가능하다.

측정된 팬 소음의 측정결과와 주기관내에 동일한 팬이 있을때의 음원 강도를 계산한 결과를 그림 3에 나타냈으며, 목표한 주파수들에서 소음이 저감된 것을 결과로부터 관찰 가능하다.

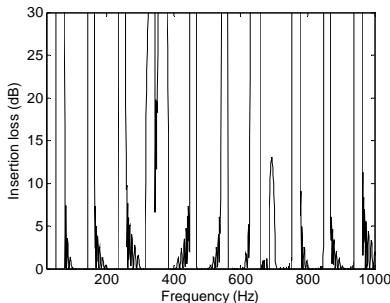


그림 2. 주기관의 삽입손실

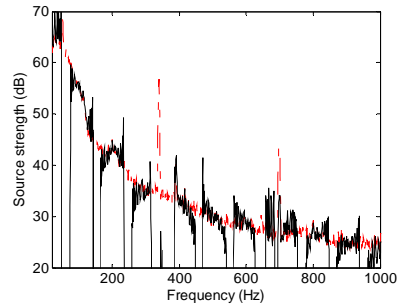


그림 3. 음원 강도; --- 팬(AP9225Round) 소음 측정, — 주기관내에 동일한 팬이 있는 경우 예측.

## 3. 결론

측지 공명기가 주기적으로 배열되어있는 주기관 에서 공명기와 주기적 배열에 의해 발생하는 두 저지대역을 이용하여 팬으로부터 방사되는 소음을 저감하고자 하였다. 측지 공명기의 관의 길이 및 배열된 주기 길이를 조정함으로써 팬소음에서 나타나는 회전 주파수 소음과 축회전 주파수 (BPF) 소음을 줄일 수 있는 설계를 제시하였으며, 삽입손실을 구하여 소음저감 성능을 관찰하였다.

## 후 기

본 연구는 BK21과 P3DigiCar NCRC (NRF 2011-0018242)로부터 일부 지원을 받았습니다.

## 참 고 문 헌

- (1) Brillouin, L., 1946, Wave propagation in periodic structures, Dover publications, New York, pp.1~59, 172~186.
- (2) Bradley, C. E., 1994, Time harmonic acoustic Bloch wave propagation in periodic waveguides. Part. I. Theory, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 96, pp.1844~1853.
- (3) Sugimoto, N. and Horioka, T., 1995, Dispersion characteristics of sound waves in a tunnel with an array of Helmholtz resonators, Journal of the Acoustical Society of America, Vol 97, pp.1446~1459.
- (4) Kim, H. S., Kim, J. S., Kim, B. K., Kim, S. R., and Lee, S. H., 2011, An analysis of the sound stopband in periodically corrugated 2-D Ducts (in Korean) on the CD-ROM: Korea, November 10-11, Proceedings of Acoustical Society of Korea.
- (5) Munjal, M. L., 1987, Acoustics of Ducts and Mufflers, John Wiley & Sons, pp.75~85.