

# 고차모드를 고려한 덕트 내 음파 분리 방법 연구

## Study of Sound Wave Separation considering Higher-order Mode in a Duct

전수홍\* · 정의봉†

SooHong Jeon and Weuibong Jeong

### 1. 서 론

공조 시스템을 구축하기 위하여 덕트를 많이 사용하고 있다. 엔진이나 발전 시스템 등에서 발생한 소음은 덕트를 통하여 외부로 전달되며, 이를 해결하기 위하여 다양한 소음기를 사용하고 있다. 이러한 소음기의 성능을 평가하기 위해서는 투과손실 및 삽입손실이 주로 사용되고 있다. 투과손실 및 삽입손실을 사용하기 위하여 일반적으로 덕트를 통과하는 음파는 평면파로 가정하게 되는데, 산업용 덕트는 단면적이 매우 넓기 때문에 단순히 평면파로만 가정할 수는 없다. 따라서 평면파에만 주로 사용되는 음파분리 방법을 확장하여 진행파와 반사파를 고차모드 영역에서도 분리할 수 있는 방법이 필요하다. 본 연구에서는 평면파 이후의 고차 모드를 가지는 경우에도 소음기의 성능을 더욱 정확하게 예측하기 위한 음파분리 방법을 제시하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 음파 분리 이론

사각 단면을 가지는 덕트는 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다. 사각 단면의 길이는 각각  $L_x$ 와  $L_y$ 이다. 옆면은 강체 벽이며,  $z = 0$ 인 지점에서 평면파 형태의 음원이 발생하여 정상파의 형태를 가지면서  $z$  축 방향으로 진행한다고 가정한다.

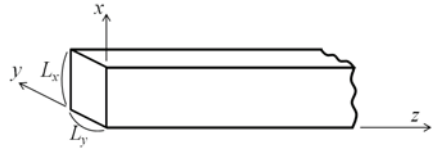


Fig. 1 Rectangular cross-section duct

이 때, 덕트 내부의 진행파와 반사파를 고려한 음압은 식 (1)과 같다.

$$p(x, y, z) = \sum_{l=0}^L \sum_{m=0}^M (P_{lm} e^{-jk_{lm}z} + Q_{lm} e^{jk_{lm}z})$$

$$k_{lm} = \sqrt{\left(\frac{\omega}{c}\right)^2 - \left(\frac{l\pi}{L_x}\right)^2 - \left(\frac{m\pi}{L_y}\right)^2}$$

$$l = 0, 1, 2, \dots, L$$

$$m = 0, 1, 2, \dots, M \quad (1)$$

여기서  $L$ 은  $x$ 방향의 모드차수이며,  $M$ 은  $y$ 방향의 모드차수이다. 그리고  $c$ 는 음속이며,  $P_{lm}$ 과  $Q_{lm}$ 은 각각 진행파와 반사파의 크기이다.

덕트 내부의 진행파를 평면파라고 가정하면  $L = 0, M = 0$ 이며 2지점의 측정값으로부터 진행파와 반사파를 분리해낼 수 있다. 두 지점의 위치를 각각  $z = z_1, z = z_2$ 로 설정하고, 측정 위치별 음압을 행렬식으로 나타내면 식 (2)와 같다.

$$\begin{bmatrix} e^{-jk_{00}z_1} & e^{jk_{00}z_1} \\ e^{-jk_{00}z_2} & e^{jk_{00}z_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{00} \\ Q_{00} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서  $p_1, p_2$ 는 각 위치에서 측정된 음압이다.

이를 확장하여 높은 모드차수를 가지는 음파를 분리하기 위한 행렬식을 다음과 같이 구성할 수 있다.

† 교신저자; 정희원, 부산대학교 기계공학부  
E-mail: wbjeong@pusan.ac.kr  
Tel : 051-510-3088, Fax : 051-517-3805  
\* 부산대학교 대학원 기계공학부

