

정현파 형상을 갖는 2차원 덕트내의 음파해석

An analysis of sound propagation in two-dimensional duct with sinusoidally varying boundary

김현실† · 김재승*, 김봉기*, 김상렬*, 이성현*

Hyun-Sil Kim, Jae-Seung Kim, Bong-Ki Kim, Sang-Ryul Kim and Sung-Hyun Lee

at $z = h\{1 + \epsilon \sin(k_1 x + \theta)\}$: upper plate

1. 서 론

경계가 주기적으로 변하는 덕트내를 지나는 파동은 파장과 주기가 일정한 관계식을 만족하면 에너지가 전파하지 못하는 차단주파수(stopband)가 존재한다는 것이 알려져 있다. 차단주파수의 중심주파수는 Bragg의 주파수로 알려진 음속/(2 x 주기)에서 발생하며 이외에도 Non-Bragg 주파수도 매우 중요한 역할을 한다. 본 논문에서는 2차원 사각형 단면을 갖는 덕트의 경계가 주기적으로 변할 때 음파의 차단현상을 해석하였는데 BEM해석결과와 실험에서 측정된 덕트의 삽입손실을 비교하였다.

해를 먼저 단순해로 다음과 같이 전개한다.

$$\phi = \phi_0 + \epsilon \phi_1 + \dots$$

해를 구하면 분모가 제로가 되는 조건(resonance condition)이 다음과 같이 주어진다.

$$k_m = \pm(k_n \pm k_1)$$

여기서 $k_m = k^2 - (m\pi/h)^2$. Multiple scaling method를 사용하여 resonance 조건에서도 유효한 해를 구하기 위해 다음과 같이 해를 전개한다.

$$\phi = \phi_0(x_0, x_1, z) + \epsilon \phi_1(x_0, x_1, z) + \dots$$

2. 차단주파수 해석

덕트의 단면이 주기적으로 변할 때 음파의 전파 방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} + k^2 \phi = 0 \quad (1)$$

높이가 h 인 이차원 덕트에서 상변과 하변이 각각 다음 식과 같이 주기적으로 변하는 경계조건을 생각한다.

at $z = \epsilon h \sin(k_1 x)$: lower plate

여기서 $x_0 = x$ 는 short scale을 나타내고, $x_1 = \epsilon x$ 는 long scale을 나타낸다. 해가 존재하기 위한 조건에서 두 파가 반대방향으로 전파하는 경우 Bragg resonance의 중심주파수와 밴드폭은 다음과 같이 주어진다.

$$k_0^2 = \frac{k_w^2}{4} + \beta_n^2$$

$$\Delta f = f_2 - f_1 = \frac{c\Delta}{\pi} = \frac{c\delta_0 k_{n0}}{2\pi k_0}$$

Non-Bragg resonance의 중심주파수와 밴드폭은 다음과 같이 주어진다.

$$k^2 = \beta_n^2 + \frac{(k_w^2 + \beta_m^2 - \beta_n^2)^2}{4k_w^2}$$

$$\Delta f = f_2 - f_1 = \frac{c\Delta}{\pi} = \frac{c\delta_0 k_{n0} k_{m0}}{\pi k_0 (k_{n0} + k_{m0})}$$

† 김현실; 한국기계연구원
E-mail : hskim@kimm.re.kr
Tel : (042) 868-7461, Fax : (042) 868-7440

* 한국기계연구원

본 논문에서는 2가지 단면형상을 갖는 덕트를 고려하였는데 단면의 평균 높이는 100 mm이고 모델 1은 단면이 직각으로 변하는 경우이고 모델 2는 단면이 삼각함수로 변하는 경우인데 두 경우 모두 주기는 150 mm이다.

$$\begin{aligned} \text{Model 1 : } z = 10, \quad 0 \leq x \leq 90 \\ z = -10, \quad 90 \leq x \leq 150 \\ \text{Model 2: } z = 10\sin(2\pi x/150) \end{aligned}$$

단, Model 1과 2 모두 하단 경계면은 상단보다 40 mm 낮게 변하며 단위는 mm이다. Fig. 2와 3에는 모델 1에 대해 BEM으로 해석한 결과와 측정된 결과를 비교하였고 Fig. 4에는 모델 2에 대해 BEM 해석결과를 나타냈다. Fig. 2와 3에서 Bragg 주파수인 $980 \text{ Hz} < f < 1290 \text{ Hz}$ 에서 차단주파수를 확인할 수 있고 $1630 \text{ Hz} < f < 1910 \text{ Hz}$ 의 Non-Bragg 주파수대역을 발견할 수 있다. Fig. 4에서는 $3290 \text{ Hz} < f < 3680 \text{ Hz}$ 의 Non-Bragg 2차 차단주파수대역을 발견할 수 있다.

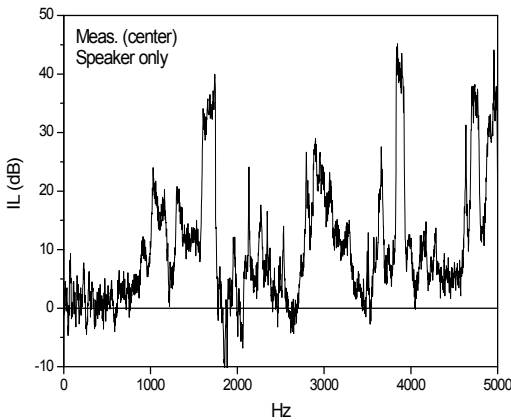


Fig. 2 Measured attenuation (Model 1)

3. 결 론

차단 주파수와 밴드폭은 해석적인 결과와 양호하

게 일치하나 BEM에서는 이상적인 2D를 구현할 수 있으나 실제 측정에서는 3차원 효과가 나타남을 피할 수 없으며 이는 오차의 원인이 된다.

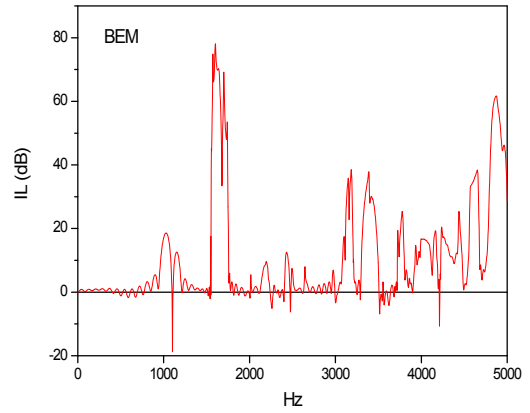


Fig. 3 IL by BEM (Model 1)

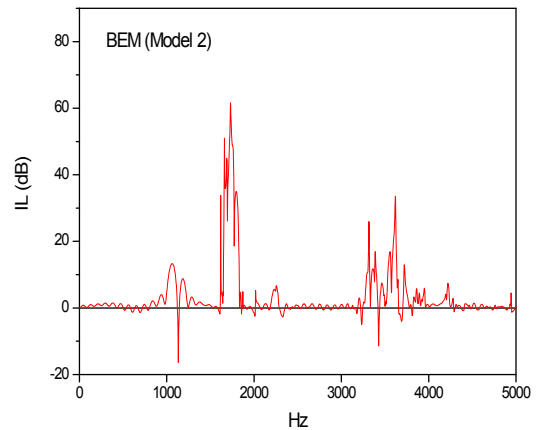


Fig. 4 IL by BEM (Model 2)

후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 차세대 고부가가치선박의 기반기술개발과제와 한국기계연구원 창의형과제의 지원을 받아 수행한 연구과제이다.