

# 주기적 압전 단위 구조체를 가지는 진동-음향 도파관의 가변 밴드갭

## Tunable bandgap of vibro-acoustic waveguide with periodic piezoelectric unit cell

이두호\* · 권병진\* · 조충희\* · 박광춘\*\*\* · 오일권†

Dooho Lee, Byung-Jin Kwon, Choonghee Jo, Kwang-Chun Park and Il-Kwon Oh

### 1. 서 론

음향 메타물질은 입사파의 파장보다 작은 단위 구조체를 주기적으로 배치한 인공적인 물질로서 밴드갭과 같이 자연계에 존재하지 않는 특이 파동전파 특징을 나타내어 음파를 조작하고 제어하는데 사용된다. 헬름홀츠 공명기와 같은 단위 구조체를 주기적으로 배치한 음향 메타물질에서도 이러한 특징이 나타나는데 형상이 고정되면 밴드갭 주파수를 바꾸기는 힘들다는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 단위 구조체에 압전재를 사용한 능동형 음향 메타물질이 이론적으로 해석되었다<sup>(1,2)</sup>. 본 논문에서는 압전재의 구조적 공진과 셉트회로의 공진이 커플링 된 단위 구조체를 도파관에 주기적으로 배치하여, 밴드갭 주파수를 변화시키거나 밴드갭 차단 능력을 강화할 수 있음을 보였다.

### 2. 진동-음향 메타물질

#### 2.1 음향 메타물질의 구성 및 이론적 해석

진동-음향-전기가 커플링 된 메타물질에서 파동전파 특성을 알아보기 위해 그림 1(a)와 같이 셉트회로가 연결된 압전재를 단위 구조체로 하는 도파관을 구성하였다. 이 단위 구조는 Lumped Parameter Method (LPM)를 이용하여 그림 1(b)와 같은 등가

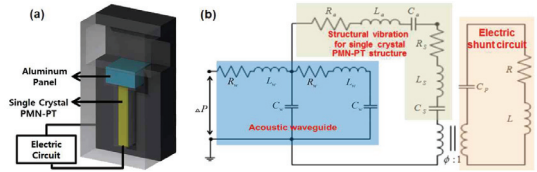


Fig. 1 Structure of 1D vibro-acoustic waveguide with piezoelectric material: (a) configuration of a piezoelectric unit cell and (b) vibro-acousto-electric coupled equivalent circuit for a unit cell.

회로로 나타낼 수 있으며 음향, 기계 및 전기 영역으로 나누어진다. 등가회로를 이용해 단위 구조체의 전체 임피던스를 구하여 이론적 해석을 수행하였다.

$$Z_t = R_W + \frac{\rho_W L s}{2A_W} + \frac{\left( \frac{A_W L R_W s}{2B_W} + 1 \right) Z_s}{\left( \frac{A_W L R_W s}{2B_W} + 2 \right) \left( \frac{A_W L s}{2B_W} Z_s + 1 \right) - 1}$$

$Z_s$ : 구조적 진동과 셉트 회로에 의한 임피던스  
 $A_W$ : 도파관의 단면적,  $B_W$ : 물의 체적 탄성률

진동-음향-전기 커플링은 등가 어디미던스를 통해서 확인 할 수 있는데 전체 임피던스로 어디미던스를 계산하여 공진 주파수가 수치적 결과와 잘 맞음을 확인하였다. 또한 셉트 회로의 공진 주파수를 조정함에 따라 어디미던스의 주파수 응답이 변화됨을 확인 할 수 있었다.

#### 2.2 가변 밴드갭 주파수

진동-음향 메타물질에서 셉트 회로의 공진 주파수를 조정함으로써 밴드갭 주파수를 변화시킬 수 있음을 그림 2를 통해서 알 수 있다. 도파관을 통해 입사되는 음파의 주파수에 맞추어 셉트 회로의 공진

† 교신저자; 정회원, 한국과학기술원 기계항공시스템공학부 해양시스템전공  
 E-mail : ikoh@kaist.ac.kr  
 Tel : (042) 350-1520, Fax : (042) 350-1510

\* 한국과학기술원 기계항공시스템공학부 해양시스템전공

\*\* Department of Aerospace Engineering Sciences, University of Colorado at Boulder

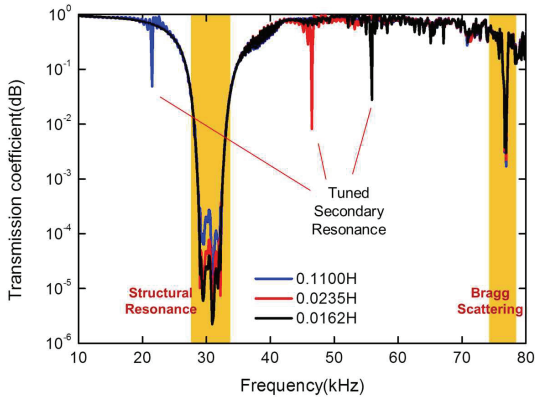


Fig. 2 Transmission coefficients by electric resonance of shunt circuit with the variations of inductance showing multi-bandgap.

주파수를 조정하면 음파의 간섭이 일어나고 그 주파수에서 밴드갭이 만들어진다.

### 2.3 밴드갭 차단 능력 강화

진동-음향 메타물질의 또 다른 장점은 셉트 회로의 공진주파수를 조정함으로써 그림 3과 같이 밴드갭 능력을 조절 할 수 있다는 점이다. 셉트 회로의 공진주파수를 단위 구조체의 공진 주파수와 일치시키면 구조체 진동의 크기가 증가된다. 진동의 크기가 증가함에 따라 전파되는 음파에 더 큰 영향을 주어 음파의 에너지는 감소하고 차단 능력이 강화됨을 알 수 있다.

## 3. 결론

진동-음향-전기가 커플링 된 단위 구조체의 배열로 이루어진 도파관에서 LPM을 이용하여 계산한 어드미턴스와 수치적 결과가 잘 맞음을 확인함으로써 본 연구가 이론적으로 타당함을 보였다. 또한 셉트 회로의 공진 주파수를 변화시키는 비교적 간단한 방법으로 밴드갭 주파수를 조정할 수 있을 뿐 아니라 밴드갭의 차단 능력을 조절 할 수 있음을 보여주었다.

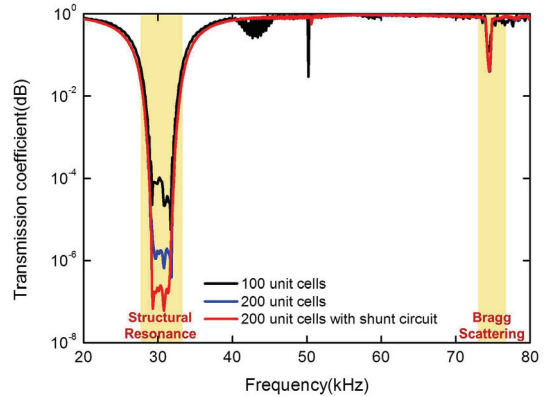


Fig. 3 Transmission coefficients by electric resonance matching with structural resonance showing tunability of transmission loss level.

## 후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소(계약번호 UD110096DD)의 연구비 지원에 의한 연구 결과임.

## 참고문헌

- (1) W. Akl and A. Baz, 2011, Stability analysis of active acoustic metamaterial with programmable bulk modulus, Smart Mater. Struct. Vol. 20, 125010
- (2) W. Akl and A. Baz, 2010, Multi-cell Active Acoustic Metamaterial with Programmable Bulk Modulus, Journal of intelligent material systems and structures Vol. 21