

# 주기적 압전 분기를 가지는 진동-음향 메타물질의 파동 전파 특성

## Characteristics of wave propagation of vibro-acoustic metamaterials with periodic piezoelectric shunt circuits

권병진\* · 조충희\* · 박광춘\*\*\* · 오일권†

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

### 1. 서 론

음향 메타물질은 파장보다 훨씬 작은 크기의 단위 구조로 구성된 물질로서 체적탄성률과 밀도가 조절되어 자연계에 존재하지 않는 파동전파 특성을 나타낸다. 헬름홀츠 공명기가 주기적으로 배치된 도파관이 이러한 특성을 갖는데, 도파관에 파동이 진행될 때 단위 구조의 공진주파수 부근에서 음의 유효 동적 탄성률이 나타나는 것을 확인하였다. 또한 헬름홀츠 공명기가 있는 경우와 없는 경우의 도파관에 대해서 체적 탄성률이 압전재의 강성과 입력 전압의 변화에 따라 조절되는 능동형 음향메타물질이 이론적으로 해석되었다.<sup>(1,2)</sup> 본 논문에서는 압전재의 구조적 공진과 선트회로의 공진이 커플링 된 단위 구조가 주기적으로 배치된 음향 메타물질에서의 파동 전파 특성을 Lumped Parameter Method (LPM)를 이용하여 살펴보았다.

### 2. Vibro-Acoustic Metamaterials

#### 2.1 압전재를 가지는 음향 메타물질 설계

압전재와 선트회로가 커플링된 음향 메타물질에서 파동전파 특성을 알아보기 위해 그림 1과 같이 단위 구조로 이루어진 도파관을 구성하였다. 단위 구조에서 압전재의 형상에 의한 구조적 공진과

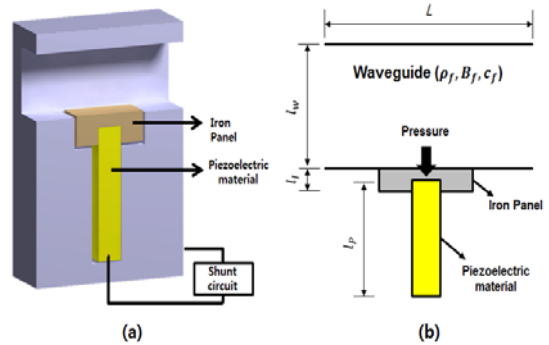


Fig. 1 (a) Schematic diagram of single cell in the 1D acoustic metamaterials. (b) Configuration of the acoustic metamaterials with iron panel and piezoelectric material.

압전재와 연결된 선트회로가 가지는 전기적 공진으로 인해 파동이 차단되는 현상을 보여준다. 단위 구조의 크기는 압전재가 공진할 때의 파장보다 작은 길이(L)를 가지며 모두 동일한 크기를 가지고 있다. 도파관과 압전재의 크기와 임피던스에 사용된 변수들이 Table 1에 나타나 있다.

Table 1 The structure parameters

|                        | Parameters           | Value                      |
|------------------------|----------------------|----------------------------|
| Waveguide              | Area                 | 10e-4mm <sup>2</sup>       |
|                        | Length               | 10mm                       |
| Piezoelectric Material | Width                | 5mm                        |
|                        | Length               | 20mm                       |
|                        | Thickness            | 3mm                        |
|                        | Coupling factor      | 0.41                       |
|                        | Dielectric const.    | 2550                       |
|                        | Piezoelectric charge | -240×10 <sup>-12</sup> m/V |
|                        | Young's modulus      | 84.67 GPa                  |
|                        | Density              | 7500kg/m <sup>3</sup>      |

† 교신저자: 정희원, 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

## 2.2 Electrical-acoustic analogy에 따른 파동전파 분석

진동-음향 메타물질에서의 파동특성을 알아보기 위해 LPM을 이용하여 임피던스의 동적 특성을 살펴 보았다. 진동-음향 메타물질의 단위구조는 그림 2와 같은 등가회로로 나타낼 수 있으며 도파관, 압전재 영역으로 나뉜다. LPM를 이용하여 단위구조의 전체 임피던스를 구할 수 있으며 임피던스의 정의에 의해 유효 동적 탄성률을 구할 수 있다.

$$Z = Z_{Lf} + \frac{Z_{RS}Z_{PM}Z_{Cf}}{Z_{PM}Z_{Cf} + Z_{RS}Z_{Cf} + Z_{RS}Z_{PM}}$$

$Z_{Lf}$ : 도파관의 인덕턴스 임피던스

$Z_{Cf}$ : 도파관의 캐패시턴스 임피던스

$Z_{RS}$ : 도파관의 오른쪽 부분 임피던스

$Z_{PM}$ : 압전재의 임피던스

그림 3은 200개의 단위구조로 이루어진 음향메타물질에 대한 임피던스를 나타내고 있으며 압전재의 형상에 의한 공진주파수(LR) 영역과 다중모드 선트회로에 의한 두 개의 공진주파수(SR) 영역을 보여 주고 있다. 도파관의 임피던스와 함께 형상에 의한 공진주파수와 선트회로에 의한 공진주파수가 동시에 나타나므로 구조 진동과 전기 회로, 그리고 음향이 커플링 되었음을 알 수 있다. 그리고 200개의 단위 구조가 주기적으로 배치된 구조로 인해 브래그 산란(Bragg Scattering) 현상이 나타나는 것을 임피던스를 통해 알 수 있다. 또한 모든 주파수 영역에 대해 임피던스 크기가 증가한 것을 확인할 수 있으며 임피던스 증가로 인해 음파가 차단되는 정도가 증가된다는 것을 알 수 있다.

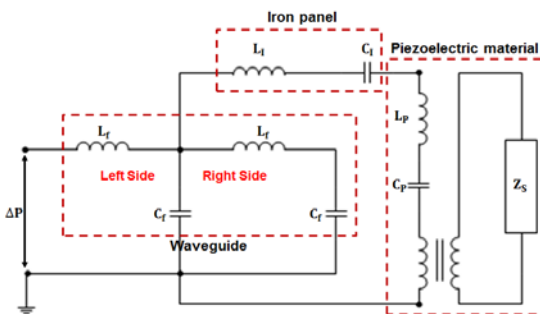


Fig. 2 Electrical analogy of unit cell in the acoustic metamaterials

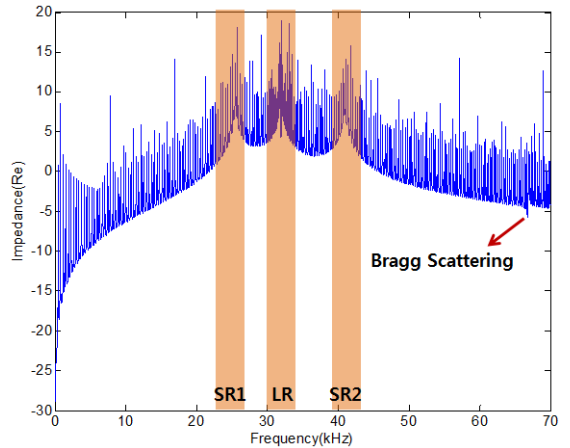


Fig. 3 Impedance of structure having 200 number unit cells

## 3. 결 론

압전재와 선트회로로 구성된 단위구조가 주기적으로 배치된 1차원 음향 메타물질에서 LPM을 이용하여 구한 전체 임피던스를 통해 형상에 의한 공진주파수, 다중모드 선트회로에 의한 공진주파수 영역의 밴드갭을 확인할 수 있다.

## 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